



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

CLAYTON AMORAS SILVA

GESTÃO EFICAZ REDUZ ACIDENTES EM INDÚSTRIA

BELÉM
2020

CLAYTON AMORAS SILVA

GESTÃO EFICAZ REDUZ ACIDENTES EM INDÚSTRIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial – PPGEI, do Instituto de Tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará – UFPA, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial, na área de Projetos Industriais

Orientador: Prof. Dr. Alessandro de Castro Corrêa

BELÉM
2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S586g Silva, Clayton Amoras
Gestão eficaz reduz acidentes em indústria / Clayton Amoras
Silva. — 2020.
75 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Alessandro de Castro Corrêa
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Industrial, Instituto de Tecnologia, Universidade
Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Ferramentas de gestão. 2. Acompanhamento. 3.
Estatística. 4. Software R. I. Título.

CDD 620

CLAYTON AMORAS SILVA


GESTÃO EFICAZ REDUZ ACIDENTES EM INDÚSTRIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial. Área de concentração: Projetos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro de Castro Corrêa

Data de Aprovação: 30 de setembro de 2020.

Banca examinadora:


Prof. Dr. Alessandro de Castro Corrêa (IFPA) - Orientador/Presidente
PPGEI/UFPA


Prof. Dr. Laércio Gouvêa Gomes (IFPA) - Membro Interno
PPGEI/UFPA


Prof. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes - Membro Externo
PPGEP-CAA/UFPE

A minha esposa e filha, sem as quais, esta pesquisa não teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Esta produção científica é fruto da contribuição de muitas pessoas, cuja paixão e esforços pelo saber, somados aos do autor, possibilitou por meio de suas incomensuráveis experiências e vivências acadêmico-profissionais, materializa-la, as quais, com gratidão, faço questão de mencionar.

Ao meu orientador, o Professor Dr. Alessandro Corrêa e aos demais Professores Doutores, Laércio Gouvêa, Carmen Dias e José Quaresma, que me colocaram diante de um horizonte de possibilidades no mundo acadêmico-científico, as quais, jamais imaginei existir.

A Arlene Baiôco, Secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, pela atenção e acertados direcionamentos ao longo do curso.

“A incerteza é um conceito fundamental tanto no desempenho quanto na gestão de riscos”.

(THEKDI; AVEN, 2019)

RESUMO

O estudo se propôs a avaliar a eficácia da gestão de riscos de uma indústria de mineração e metais presente na região norte do Brasil, a partir do comportamento relacional entre suas ferramentas de gestão de riscos e suas ocorrências de acidentes – indicadores proativos e reativos, respectivamente, uma vez que conhecer a significância dessas relações, é relevante para avaliar a existência de causalidade ou acaso dos resultados obtidos por suas métricas de gestão. Para isso, foi analisada com base nos dados históricos de dez anos das ferramentas de gestão de riscos, variáveis independentes, e das ocorrências de acidentes, variáveis dependentes, a existência de relação de associação e interferência entre elas, sendo obtido o resultado de redução das ocorrências de acidentes ao longo do período analisado, constando-se que a indústria é eficaz na gestão de riscos e reduz os acidentes progressivamente, por efeito de causalidade da variável independente sobre a variável dependente.

Palavras-chave: Ferramentas de gestão. Acompanhamento. Estatística. Software R.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the effectiveness of risk management in a mining and metals industry present in the northern region of Brazil, based on the relational behavior between its risk management tools and its occurrences of accidents - proactive and reactive indicators, respectively, once knowing the significance of these relationships, it is relevant to assess the existence of causality or chance of the results obtained by its management metrics. For this, it was analyzed based on the historical data of ten years of the risk management tools, independent variables, and of the occurrences of accidents, independent variables, the existence of an association and interference relationship between them, being obtained the result of reduction of the accident occurrences over the analyzed period, showing that the industry is effective in risk management and progressively reduces accidents, due to the causal effect of the independent variable on the dependent variable.

Keywords: Management tools. Follow-up. Statistics. Software R.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Falhas que antecedem os acidentes	19
Figura 2 – Matriz de gradação de riscos	21
Figura 3 – PDCA da Gestão de Segurança.....	24
Figura 4 – Aplicação do conceito do PDCA na Solução de Problemas	25
Figura 5 – Dinâmica dos acidentes.....	25
Figura 6 – Revoluções industriais	27
Figura 7 – Evolução da cultura de segurança	34
Figura 8 – Fluxo de aprendizagem	42
Figura 9 – Fluxograma da metodologia da pesquisa	47
Figura 10 – Gráfico ilustrativo de intervalo de confiança e região crítica de probabilidade ...	51
Figura 11 – Associação entre as variáveis estudadas	57
Figura 12 – Associação e coeficiente de correlação entre os grupos de variáveis estudadas...	59
Figura 13 – Gráfico de regressão com destaque da região do intervalo de confiança	62
Figura 14 – Gráfico de normalidade dos resíduos da regressão $FGR \sim ACD$	63
Figura 15 – Gráfico de homocedasticidade dos resíduo versus valores ajustados	64
Figura 16 – Gráfico de independência dos resíduos padronizados versus valores ajustados...	64
Figura 17 – Gráfico de distância de Cook's dos resíduos padronizados versus alavanca.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correlação (r) e significância (p) entre variáveis não-agrupadas	58
Tabela 2 – Correlação (r) e significância (P) entre variáveis agrupadas	60
Tabela 3 – Resultados da análise de regressão linear CPR ~ FGR	60
Tabela 4 – Resultados da análise de regressão linear CDR ~ FGR.....	61
Tabela 5 – Resultados da análise de regressão linear ACD ~ CPR.....	61
Tabela 6 – Resultados da análise de regressão linear ACD ~ CDR	62
Tabela 7 – Regressão linear ACD ~ FGR	63
Tabela 8 – Pressupostos do modelo de regressão linear ACD ~ FGR	65

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACD	Acidente
ACDR	Ação de tratamento para Condição de Risco
ACH	Análise de Confiabilidade Humana
ACPR	Ação de tratamento para Comportamento de Risco
ACT	Análise Cognitiva do Trabalho
AM	Aprendizagem de Máquinas
AM	Aditivo Manufatura
ARP	Avaliação de Risco Probabilidade
ASP	Avaliação de Segurança Probabilística
CDR	Condição de Risco
CPR	Comportamento de Risco
CR	Causas-Riscos
DS	Diálogo de Segurança
ER	Engenharia de Resiliência
FGR	Ferramentas de Gestão de Riscos
FMD	Fatores de Modelagem de Desempenho
GSS	Grupo Setorial de Segurança
IA	Inteligência Artificial
IdC	Internet das Coisas
IDRF	Identificação por Radiofrequência
IIdC	Internet Industrial das Coisas
IS	Inspeção de Segurança
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
NBR	Norma Brasileira
OC	Observação Comportamental
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
PDCA	Plan Do Check Action
PGR	Programa de Gerenciamento de Riscos
RS	Reunião de Segurança
SCPCF	Sistemas Completos de Produção Ciber-físicos
SdS	Sistema de Sistema
SGS	Sistema de Gerenciamento de Segurança
SSMA	Saúde, Segurança e Meio Ambiente
SSO	Saúde e Segurança Ocupacional
SST	Segurança e Saúde do Trabalho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	15
1.2 Problema	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivo Específico	17
1.4 Hipóteses.....	17
1.5 Delimitação da pesquisa.....	17
1.6 Estrutura do Trabalho	18
2 GESTÃO DE RISCOS	19
2.1 Indicadores reativos	22
2.2 Indicadores proativos.....	23
2.3 Ferramentas de Gestão	23
3 SEGURANÇA INDUSTRIAL	26
3.1 Transformações na indústria.....	26
3.2 Sistemas Complexos	31
3.3 Cultura de Segurança.....	33
3.3.1 Confiabilidade Humana.....	36
3.3.2 Engenharia de Fatores Humanos	38
3.4 Processos de Aprendizagem.....	42
3.4.1 Engenharia Cognitiva	42
3.4.2 Engenharia de Resiliência	43
3.4.3 Disciplina Operacional	45
4 MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1 Local do estudo	48

4.1.1 Modelo de Gestão	48
4.1.2 Programa de Gerenciamento de Riscos	48
4.2 Objeto de estudo	50
4.3 Delineamento.....	50
4.4 Detalhes	50
4.5 Análise dos dados.....	51
4.5.1 Estatística com o Software R.....	51
4.5.2 Significância dos indicadores estatísticos.....	51
4.5.3 Padronização dos dados.....	52
4.5.4 Normalidade dos dados	52
4.5.5 Correlação de Pearson entre as variáveis	52
4.5.6 Regressão MMQO entre as variáveis	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1 Associação entre as variáveis estudadas.....	57
5.2 Relação funcional entre as variáveis estudadas.....	60
5.3 Efeito conjunto das Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) sobre os acidentes.....	62
5.4.1 Pressuposições dos resíduos da regressão FGR ~ ACD.....	63
5.4 Insight da gestão de riscos do caso estudado.....	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Indústrias tem focado cada vez mais na melhoria contínua da segurança de suas plantas, desenvolvendo medidas para controlar riscos¹ em meio a transformação digital pela qual o segmento vem passando de forma cada vez mais acelerada. Com soluções inteligentes que incluem automação e internet industrial e considerando aspectos de confiabilidade humana, engenharia de fatores humanos, engenharia cognitiva e engenharia de resiliência, acidentes podem ser evitados, mesmo diante do possível e, por vezes, inevitável erro humano. Mudanças que demandam aprendizagem para a aquisição de conhecimentos e competências necessárias ao desenvolvimento de uma cultura e disciplina resistentes a riscos, capazes de proporcionar maior assertividade em processos decisórios, aliada a tecnologias que possibilitam trabalho, especialmente quando perigosos², fora de zonas de risco.

Nesse sentido, entendendo que a melhoria contínua dos resultados depende de métricas para o balizamento da gestão, as indústrias adotam indicadores expressos em taxas de frequência para medir seus desempenhos, com base no estimador. Por vezes, muitas delas se limitam a adoção apenas de indicadores reativos. Ou seja, registro e tratativa de acidentes ocorridos, sem a adoção de mecanismos de interposição a eles, como balizadores proativos que possibilitem a tomada de decisão e ações para a eficácia da gestão de riscos.

Com gestão visionária, indústria do segmento de mineração e metais presente na região norte, atuando de forma sistêmica e científica baseada na cultura de gerenciamento da qualidade total, adotou indicadores de desempenho proativas e reativas para medir seus resultados de segurança industrial, compondo os indicadores proativos, as taxas de frequência das ferramentas aplicadas na gestão de riscos e as taxas de frequência dos desvios identificados, enquanto que os indicadores reativos, são compostos das taxas de frequência das ocorrências de acidentes registrados. A partir do seu relatório de controle dos indicadores, a indústria estudada elabora seu plano anual, propondo metas de segurança para o ano seguinte, com base na performance do ano subsequente.

A avaliação quantitativa dos indicadores de desempenho, constituem importante instrumento para a segurança industrial, uma vez que a incerteza, deve ser tratada com grande

¹ A OIT defini risco como sendo a possibilidade ou a probabilidade de que uma pessoa fique ferida ou sofra efeitos adversos na sua saúde quando exposta a um perigo, ou que os bens se danifiquem ou se percam.

² A OIT defini perigo como sendo a propriedade intrínseca ou potencial de um produto, de um processo ou de uma situação nociva, que provoca efeitos adversos na saúde ou causa danos materiais.

relevância na gestão de riscos. (THEKDI; AVEN, 2019). Assim, em matéria de segurança industrial, saber o que medir e medir com ferramentas quantitativas que possam apoiar processos decisórios, são fundamentais para o sucesso da gestão. (BORGONOVO et al., 2018).

Entretanto, apesar da relevância das taxas como métrica de gestão de riscos, a avaliação de eficácia com base unicamente no estimador, não dá a gestão, visão do comportamento relacional entre os indicadores, para possibilitar melhor compreensão dos mesmos e descarte do acaso dos resultados obtidos pela organização, por ser a associação e/ou mesmo a interferência entre variáveis, critério importante para pôr a prova e julgar os seus resultados com base em parâmetros que possam dar credibilidade a eles.

É esperado que haja associação entre as variáveis “Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR)” e as variáveis “Acidentes (ACD)” e que a mesma seja negativa, pelo fato de as ferramentas serem concebidas com o propósito de aplicação delas para identificar e tratar os desvios que levam a ocorrência dos acidentes. Razão pela qual, acredita-se na existência de relação de interferência das ferramentas de gestão de riscos sobre os acidentes. Variáveis independentes e variáveis dependentes, respectivamente.

Uma vez que a incerteza é aspecto de relevante atenção em matéria de gestão de riscos e que a ausência de acidentes ou mesmo a redução deles pode não representar a presença de segurança, representando risco ainda maior em operações industriais, principalmente em sistemas complexos e potencialmente perigosos, contínua avaliação e análise da sistemática e das ferramentas de gestão de riscos deve ser feita, para identificar, caso ocorra, ineficácia sistêmica e possível estabilização das taxas de acidentes por esgotamento da capacidade da gestão ao longo do tempo, de identificar, diagnosticar e tratar desvios que possam levar a ocorrências de acidentes. O que justifica, por sua relevância, a pesquisa inovadora do tema ainda não explorado no âmbito da avaliação da “eficácia da gestão de riscos” com base em análise de associação entre as variáveis “ferramentas de gestão de riscos” e “ocorrências de acidentes” e de possível relação de interferência entre elas. Os trabalhos científicos acerca do tema, limitam-se a análise de formalidades documentais – pesquisas de caráter descritivo – e não do caso prático operacionalizado no dia-a-dia, para a identificação de riscos e tomadas de ação que visam a eliminação dos mesmos e, conseqüentemente, possibilitam prevenir acidentes.

1.2 Problema

A indústria estudada é eficaz na gestão dos riscos de acidentes das suas operações?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficácia da gestão de riscos de indústria do segmento de mineração e metais, presente na região norte do Brasil.

1.3.2 Objetivo Específico

Analisar a relação entre as ferramentas de gestão de riscos da indústria estudada e as suas ocorrências de acidentes.

1.4 Hipóteses

- a) Hipótese nula (H0): A gestão de riscos na indústria estudada não é eficaz na redução dos acidentes.
- b) Hipótese alternativa (H1): A gestão de riscos na indústria estudada é eficaz na redução dos acidentes.

1.5 Delimitação da pesquisa

Para a realização da pesquisa, foi escolhida uma indústria do segmento de mineração e metais, que possui mais de mil trabalhadores, por ser o seguimento, atividade econômica com elevado grau de risco e cuja dinâmica de gestão para a prevenção de acidentes, se faz de extrema relevância, sobretudo, no tocante aos seus indicadores de desempenho de segurança industrial. Métricas provenientes da aplicação de ferramentas de gestão de riscos, das causas de acidentes e dos acidentes, razão pela qual, foi o foco da produção acadêmico-científica da pesquisa realizada, considerando aspectos de confiabilidade humana, engenharia de fatores humanos, engenharia cognitiva e engenharia de resiliência, com discreta consideração retrospectiva³ da memória de onde viemos no tocante a segurança industrial, não sendo foco do estudo, abordar

³ “Conhecer a saga do conhecimento na área em que trabalhamos dá mais sentido ao pedaço da caminhada que nos propomos a fazer. Ajuda-nos, também, a valorizar mais o lugar em que estamos hoje, e a vislumbrar melhor onde queremos chegar. E não deixa de ser, também, um método profilático contra a atenção de ‘reinventar a roda’ ou de agir como se tudo estivesse começado agora, e conosco [...]” Cf. MENDES, René. Patologia do Trabalho, 1995, p. 5.

aspectos normativos, e sim, práticas de gerenciamento de riscos, por serem o primeiro, conceitos básicos já consolidados.

1.6 Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 do trabalho, a Introdução, apresenta o contexto e o problema da pesquisa, juntamente com os objetivos gerais e específicos, a hipótese teórica, a delimitação e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2, Gestão de Riscos, inicia a revisão bibliográfica, com uma abordagem sucinta de sistemáticas de gestão de riscos comumente empregadas para a prevenção de acidentes nas indústrias e dá ênfase nas ferramentas de gestão de riscos, tidas como métricas para os indicadores de desempenho de segurança industrial do caso estudado.

O capítulos 3, Segurança Industrial, dá seguimento na revisão bibliográfica, abordando sobre relevantes aspectos da segurança industrial, juntamente com importantes temas a ela relacionados, como confiabilidade humana, engenharia de fatores humanos, engenharia cognitiva, engenharia de resiliência e outros a eles correlatos.

O capítulo 4, Materiais e Métodos, apresenta o estudo de caso, realizado em uma indústria do segmento de mineração e metais, descrevendo o objeto de estudo, o delineamento da pesquisa, os procedimentos específicos e análise dos dados.

O capítulo 5, Resultados e Discussão, apresenta os resultados obtidos nas análises realizadas com linguagem de programação aberta R, com o Software R e os discute a luz das inferências estatísticas correspondentes as hipóteses formuladas acerca da eficácia da gestão de riscos do caso estudado.

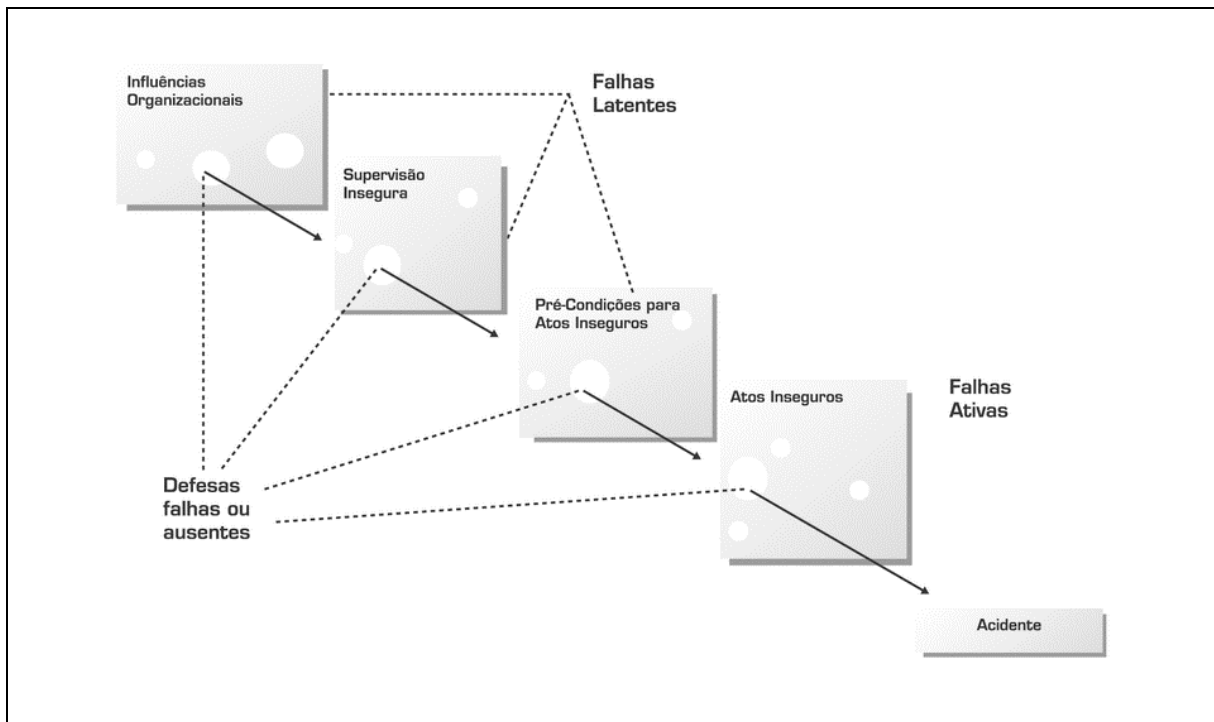
O capítulo 6, Considerações Finais, apresenta a consolidação da pesquisa e abre espaço para possibilidades de estudos futuros.

2 GESTÃO DE RISCOS

Riscos existem em todas as atividades industriais. Assim, se falar em um ambiente industrial livre deles, é fantasioso. Por isso, o gerenciamento dos riscos existentes nos ambientes industriais, ou dele decorrentes, é uma necessidade que não pode ser ignorada, haja vista, os seus potenciais efeitos, sobretudo, em sistemas complexos e potencialmente perigosos, requerendo a atenção devida, com a antecipação e ações necessárias em tempo de se prevenir perdas. Estudos buscam combinar questões de segurança para reduzir perdas causadas por acidentes em potencial. (JUNG; LEE, 2019). Para isso, a criação de ferramentas quantitativas para apoio à decisão, são essenciais. (BORGONOVO et al., 2018).

A maioria dos acidentes resulta da combinação da ocorrência de um acontecimento perigoso com a falha de uma barreira de segurança. Assim, é essencial compreender de que forma as barreiras de segurança podem falhar, para que seja assegurada uma elevada disponibilidade das barreiras de segurança, como demonstrado na figura 1 abaixo, bem como uma elevada confiabilidade dos seus componentes, a fim de manter os riscos dentro de limites aceitáveis. (REASON, 1990; SOBRAL; GUEDES SOARES, 2019).

Figura 1 – Falhas que antecedem os acidentes



Fonte: Adaptado de Reason (1990)

Entretanto, minimizar riscos, por vezes, irá requerer assumir outros riscos. O que demonstra a complexidade do tema. Acerca, Amalberti dá o exemplo em um cenário de risco na aviação, não incomum em outros segmentos industriais complexos e perigosos, como em refinarias, operações de mineração, entre outras. O risco pode ser suprimido de formas que podem ser consideradas confusas, pois, em muitos casos, embora ele seja minimizado, acaba se fazendo necessário assumir outros riscos. Há riscos que são inerentes a tarefa e há riscos ligados as limitações cognitivas. Por vezes, quando surge uma situação de risco, é preciso elaborar hipóteses sobre como o cenário de risco pode evoluir e sintetizar os resultados a serem encarados. Entretanto, o tempo para chegar ao resultado da ação a ser tomada pode ser muito curto, e a pressão para se obter uma resposta rápida é, por si só, um novo risco. (AMALBERTI, 1992). Morel et al. (2019), exemplifica o caso dos marinheiros, no qual, por mais que estes assumam um risco excessivo em sua profissão, estudos mostram a elevada capacidade de resistência que lhes permite impedir muitos ferimentos e acidentes em cenários hostis, demonstrando um admirável modelo de segurança e resiliência.

A antecipação e a ação constituem as premissas essenciais de um modelo de gestão de riscos, onde, o comportamento ativo justifica a antecipação, sem o qual, a mesma não tem valor. Segundo Amalberti (1992) “o modelo reativo, devido a limitações de recursos, é limitado ao mínimo: aplicar a resposta preparada e escapar, libertando tempo para otimizar a resposta.”

Esse formato de gestão de riscos possui características comuns em outras situações de controle de processos. O ser humano é capaz, em situações de controle de processo, de trabalhar horas sem fadiga intolerável e depois voltar para um modo mais dispendioso quando o momento requer mais raciocínio analítico. Quando acidentes ocorrem, as pessoas são propensas a mudar o seu comportamento e seguir regras mais firmemente. (AMALBERTI, 1992).

O tratamento de acidentes que não geram danos, classificados como quase acidentes, é de fundamental importância para o gerenciamento de riscos, uma vez que o não tratá-los, impede ações para identificar, diagnosticar e neutralizar os riscos que levam as ocorrências e recorrências de acidentes. Razão pela qual, o registro dos acidentes, a investigação para o entendimento das causas e as ações de segurança para tratá-las, constitui elementos-chave de procedimentos e sistemáticas de gestão comumente presentes nas organizações. (ACCOU; RENIERS, 2019).

A segurança pode sofrer influência em função da forma como são relacionadas a avaliação de riscos, o comportamento de risco e a experiência da lesão. O comportamento de risco pode levar a violação de procedimentos na realização de uma tarefa de trabalho, ou mesmo,

ser reflexo da falta de conhecimento para realiza-la, ou ainda, da falta dos recursos necessários para realizar o trabalho. (RUNDMO, 1996).

Houve um significativo aumento da contribuição humana para a ocorrência de acidentes, alcançando níveis de 70-80%. Há dois principais motivos o significativo aumento, como, o refinamento de componentes eletrônicos e mecânicos, a elevada fiabilidade e sistemas complexos. (CACCIABUE, 2000, CHOUDHRY; FANG, 2007, CHOUDHRY, 2014).

Mesmo que lapsos do ser humano possam levar a acidentes, a concepção de projetos mais seguros contribui para preveni-los e/ou minimizar os seus impactos em grande parte. (SRINIVASAN et al., 2019).

Muitas instituições introduzem soluções técnicas de engenharia como meio de medir e mitigar riscos para influenciar práticas gerenciais seguras, sendo a gradação de riscos por meio de matriz de riscos (Figura 2), um exemplo dessa prática. A redução de riscos e as ações para reduzir a chances de que eventos indesejáveis e seus efeitos aconteçam, representam uma etapa inicial a ocorrência de situações de risco e sua consequência no que tange a gestão de riscos. (ZHAO et al., 2016). É fundamental que as organizações sejam intolerantes a negação dos riscos e apoiem a detecção deles, para então, reduzir os acidentes. (BESCO, 2004).

Figura 2 – Matriz de gradação de riscos

MATRIZ DE RISCOS		FREQÜÊNCIA					
		2	3	5	8	13	
SEVERIDADE	PESOS	PESOS	REMOTA	POUÇO PROVÁVEL	OCASIONAL	PROVÁVEL	FREQÜENTE
			Uma ocorrência ao longo da vida útil da instalação	Uma ocorrência ao longo de 100 anos	Uma ocorrência ao longo de 10 anos	Uma ocorrência ao longo de um ano	Mais de uma ocorrência ao longo de um ano
32	CATASTRÓFICA	Acidente resultando em mais de 01 (uma) fatalidade	64	96	160	256	416
16	CRÍTICA	Acidentes incapacitantes permanentes ou 01 (uma) fatalidade	32	48	80	128	208
8	GRAVE	Acidentes com afastamento.	16	24	40	64	104
4	MODERADA	Acidentes sem afastamento (com restrição, com tratamento médico)	8	12	20	32	52
2	LEVE	Acidentes que demandam somente primeiros socorros	4	6	10	16	26
		NÍVEL DE RISCO	MEDIDAS DE CONTROLE				
		MUITO ALTO (> 160)	Ação (ões) a ser (em) definida (s) pela organização e adequada (s) ao nível de risco determinado				
		ALTO (80 à 128)	Ação (ões) a ser (em) definida (s) pela organização e adequada (s) ao nível de risco determinado				
		MÉDIO (26 à 64)	Ação (ões) a ser (em) definida (s) pela organização e adequada (s) ao nível de risco determinado				
		BAIXO (10 à 24)	Ação (ões) a ser (em) definida (s) pela organização e adequada (s) ao nível de risco determinado				
		MUITO BAIXO (4 à 8)	Ação (ões) a ser (em) definida (s) pela organização e adequada (s) ao nível de risco determinado				

Fonte: Nexus PQSE (2006)

“Na análise de cenários, a questão da exaustividade e exclusividade dos cenários também tem relevância prática, com diferentes campos convergindo para diferentes soluções, dependendo do problema em questão. Por exemplo, nos estudos de avaliação de risco de sistemas complexos tecnológicos, modelos sofisticados são construídos para capturar o maior número possível de cenários[...] a análise se preocupa principalmente com uma descrição dos

cenários tão refinada e completa quanto possível, de modo a tornar o “outro” cenário o mais restrito possível.” (BORGONOVO et al., 2018).

Nesse sentido, medir o desempenho para melhorar resultados, é uma premissa na gestão de riscos. Sem métricas para balizamento de ações, esforços para promover a segurança de operações industriais podem ser perdidos. Por isso, o estabelecimento de indicadores e de métricas para medir, analisar e avaliar a eficácia da segurança na indústria ao longo do tempo, constituem-se elementos fundamentais na verificação sistemática dos padrões estabelecidos para o processo de gestão de riscos, no qual, indicadores proativos e reativos, são essenciais.

2.1 Indicadores reativos

No âmbito da pesquisa, as métricas reativas consistem em medidas das perdas relativas à segurança industrial. Conjunto retrospectivo de métricas que são baseadas em acidentes que se encontram no limiar da gravidade, que devem ser relatados como parte da métrica de segurança de processo nas indústrias. Quantidade de acidentes e suas implicações em termos de custo. São indicadores diretamente ligados ao desempenho da segurança, que podem ser facilmente coletados, interpretados e comparados, possibilitando de forma prática, avaliar tendências.

Registrar, tratar e informar as ocorrências de acidentes aos órgãos competentes, é obrigação legal em vários países que possuem legislação voltada para a segurança no trabalho. No Brasil, a norma regulamentadora NR-4 do Ministério da Economia, estabelece a obrigatoriedade do cálculo da taxa de gravidade (TG) e da taxa de frequência (TF) de acidentes, como indicadores de caráter reativo.

Gestão de segurança baseada em indicadores reativos de desempenho, é muito comum. As experiências negativas do ser humano com os acidentes, os levam a aprendizados que o possibilitam lidar melhor com os cenários de riscos já vivenciados e com seus possíveis erros, possibilitando superar condições de perigo antes desconhecidas. (AMALBERTI, 1992; RASMUSSEN et al., 1994). A incerteza é aspecto de relevante atenção na gestão de riscos. (THEKDI; AVEN, 2019). Por isso, a antecipação para identificar e/ou reconhecer cenários que possam ser ameaças de acidentes, se faz tão necessária.

A ausência de acidentes, mesmo que por longo período, não significa a presença de segurança. Nesse caso, o desempenho medido pelas taxas pode não ser um indicador que expresse a condição real da segurança industrial. (LINDSAY, 1992).

Estudos apontam aspectos negativos acerca dos indicadores negativos, por serem aleatoriamente oscilantes e por medirem as falhas e não o sucesso (BEA, 1998; 1999; SHAW; BLEWETT, 2000; REASON, 2000).

2.2 Indicadores proativos

Os indicadores proativos, são métricas que indicam o desempenho dos principais processos de trabalho, disciplina operacional ou camadas de proteção que previnem acidentes na indústria. Em outras palavras, refletem a efetividade das ações para a promoção da segurança nos ambientes de trabalho antes da ocorrência de acidentes (BEA, 1998). Sendo, por isso, importante indicador na gestão de riscos, já que os indicadores reativos, espelham ocorrências passadas, sobre as quais, resta esforço para impedir recorrências (SHAW; BLEWETT, 1995; REASON, 1997; WREATHALL, 2006).

Como indicadores proativos, a National Occupational Health and Safety Commission – NOHSC (1999) sugere o número de auditorias de segurança realizadas, a taxa de não conformidades identificadas e corrigidas em consequência de uma auditoria de segurança e a taxa de trabalhadores treinados em segurança do trabalho.

2.3 Ferramentas de Gestão

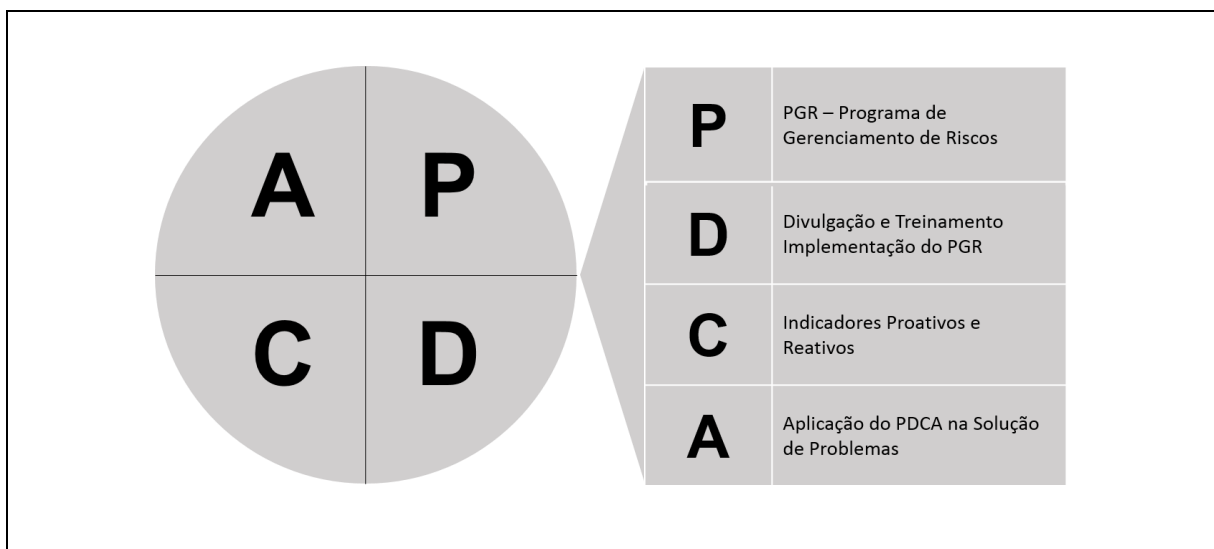
No processo de gestão de segurança, as ferramentas de gestão constituem instrumentos fundamentais para a melhoria sistêmica da segurança industrial, uma vez que elas são o meio de coleta dos indicadores que possibilitam medir o desempenho da gestão e estabelecer ações para melhorá-la, a partir do conhecimento das oportunidades de melhoria e/ou não conformidades registradas quando da aplicação das ferramentas de gestão.

Normalmente, as ferramentas de gestão de riscos são parte integrante de programas de gestão para a prevenção de acidentes, concebidas para suportar políticas de gestão de segurança de indústrias dedicadas a promoção da segurança de suas plantas industriais. Em geral, as indústrias empregam inúmeras ferramentas concebidas para a gestão de segurança de seus processos. São ferramentas para a verificação de conformidade de requisitos legais, ferramentas para a análise de cenários de riscos de tarefas rotineiras e não rotineiras, ferramentas para treinar e disseminar conhecimentos de segurança e ferramentas para observação comportamental e inspeção de ambientes de trabalho.

Estudos apontam ferramentas comumente empregadas para a verificação de conformidade legal, como o International Safety Rating System – ISRS (EISNER e LEGER, 1988), o Tripod Delta (HUDSON et al., 1994), o Safety Element Method – SEM (ALTEREN e HOVDEN, 1997), o SMAS – Safety Management Assessment System (BEA, 1998), o Method For Industrial Safety And Health Activity Assessment – MISHA (KUUSISTO, 2001), o Safety Performance Measurement Tool – SPMT (AHMAD e GIBB, 2004), o Complete Health And Safety Evaluation – CHASE (CHASE, 2006), o Sistema DuPont de Gestão de Segurança de Processo (DUPONT, 2006) e o ARAMIS (HALE et al., 2006). Ferramentas, que, apesar da contribuição, não possuem aplicação específica no âmbito da gestão de riscos na rotina operacional prática do dia-a-dia, onde as situações estão efetivamente sendo vivenciadas. As ferramentas de análise de riscos, por outro lado, são ferramentas de planejamento com antecipação de cenários, que também não apuram as ocorrências das rotinas de trabalho.

O presente estudo, por sua vez, tomou como base, indicadores de desempenho obtidos por meio de ferramentas de gestão de riscos aplicadas nas rotinas operacionais de uma indústria de mineração e metais, que integram o seu programa de gerenciamento de riscos. A indústria adotou a sistemática de gestão de riscos pela melhoria contínua dos processos, com base no método do PDCA (Figura 3), sendo as responsabilidades, bem definidas, tendo o gerente como o responsável pela gestão da segurança, cuja responsabilidade, a organização considerada indelegável.

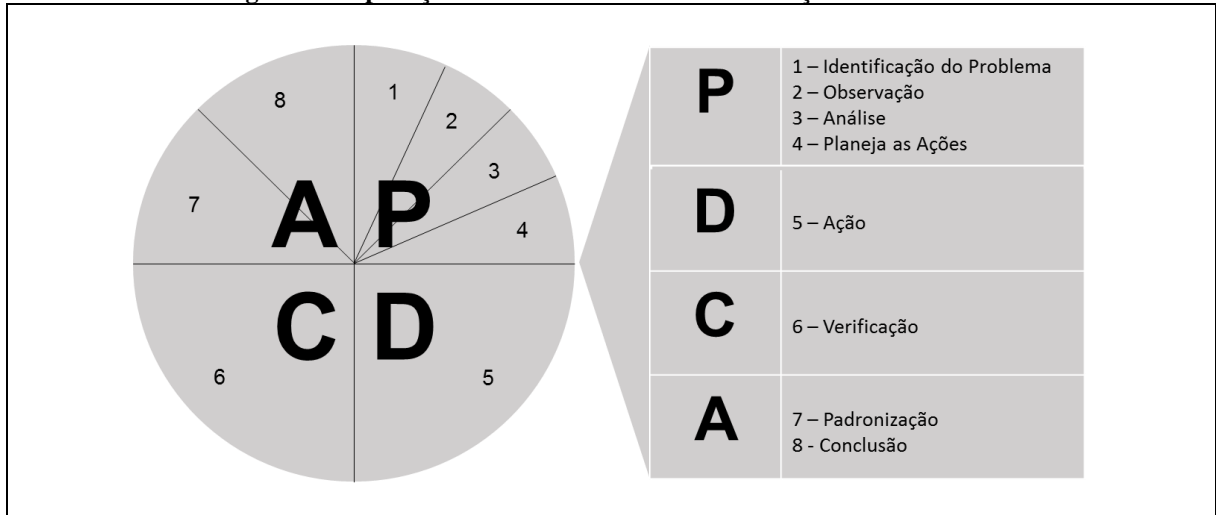
Figura 3 – PDCA da Gestão de Segurança



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O modelo, cria condições propícias para resultados de sucesso, por ser a abordagem, o que faz a diferença na prevenção de acidentes, e não, as ferramentas em si. Cultura resistente a riscos que indústria dissemina maciçamente, pela qual todos na organização, contribuem para promover segurança no trabalho, sendo o fluxo do processo de melhoria contínua do PDCA na solução de problemas, melhor sintetizado na figura 4.

Figura 4 – Aplicação do conceito do PDCA na Solução de Problemas

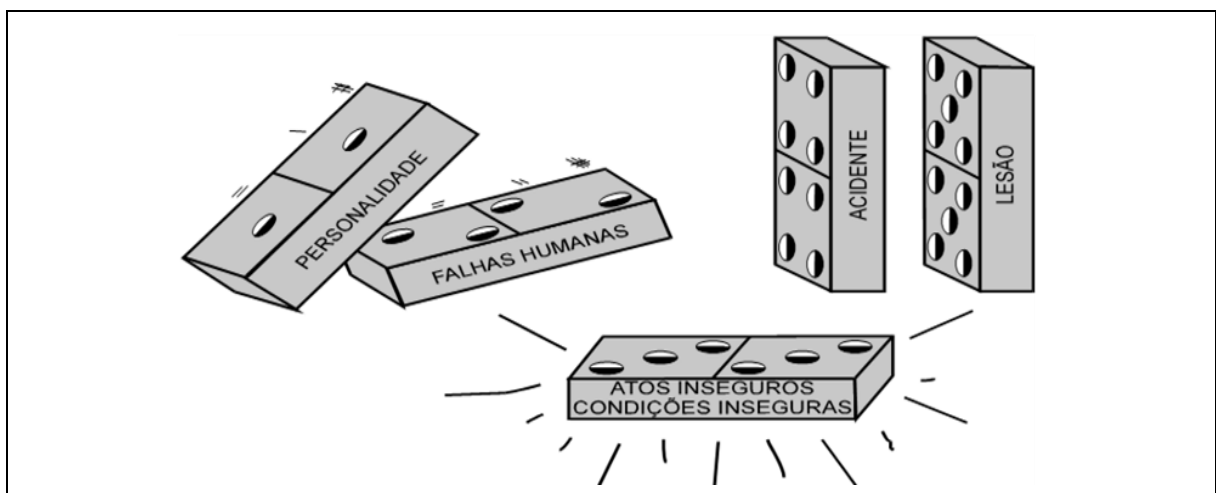


Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Observa-se que a abordagem adequada somada a aplicação de ferramentas de gestão de riscos, possibilitam a identificação e tratamento das causas de acidentes, sejam elas, de natureza comportamental, ou mesmo, condições do ambiente.

Naturalmente, para todos os desvios identificados, ações de tratamento devem ser tomadas para evitar os acidentes.

Figura 5 – Dinâmica dos acidentes



Fonte: Adaptado de Heinrich (1959)

3 SEGURANÇA INDUSTRIAL

A primeira revolução industrial, foi um divisor de águas em matéria de segurança industrial, a partir da qual, a fragilidade do homem diante de tecnologias focadas em resultados de produção, passou a chamar cada vez mais atenção para a necessidade de avanços tecnológicos que considerassem não somente a melhoria de processos e resultados de produção, mas, também, a segurança das pessoas neles envolvidas, passando o gerenciamento de riscos, cada vez mais, ser uma necessidade latente.

“Organizações que analisam a eficiência e a confiabilidade de seus processos industriais a partir de uma perspectiva de segurança pode identificar mais claramente como manter esses processos em funcionamento.” (ELLIOTT; ELECTRIC, 2018).

A industrialização sofreu transformações notáveis desde o seu início no século XVIII, assim como, as condições e a abordagem de segurança industrial, sobretudo, quando a partir de 1942, combinando vários campos do conhecimento, reuniram-se na cidade de Oxiford na Inglaterra, médicos, engenheiros, psicólogos, fisiologistas e arquitetos – dada a complexidade da matéria –, promovendo avaliações conjuntas, que possibilitaram melhor compreensão de antigos problemas, surgindo então, um novo ramo de pesquisa, com o propósito de melhorar condições, ferramentas e métodos de trabalho, o qual recebeu o nome de “ergonomia”, dando origem a “Ergonomics Research Society”. A ergonomia – abordada atualmente, também, como ergonomia cognitiva, engenharia dos fatores humanos, engenharia cognitiva e engenharia psicológica – tinha como proposta, viabilizar a aplicação prática do pensamento contemporâneo de “adaptação do trabalho ao homem”, em oposição ao antigo costume em que o “homem é que devia se ajustar às necessidades do trabalho”. Ambientes de trabalho ergonomicamente projetados, além de minimizar riscos, favorecem desempenho profissional cognitivo e físico mais elevado e reduzem o absentismo no trabalho. (SHANMUGAM; PAUL ROBERT, 2015).

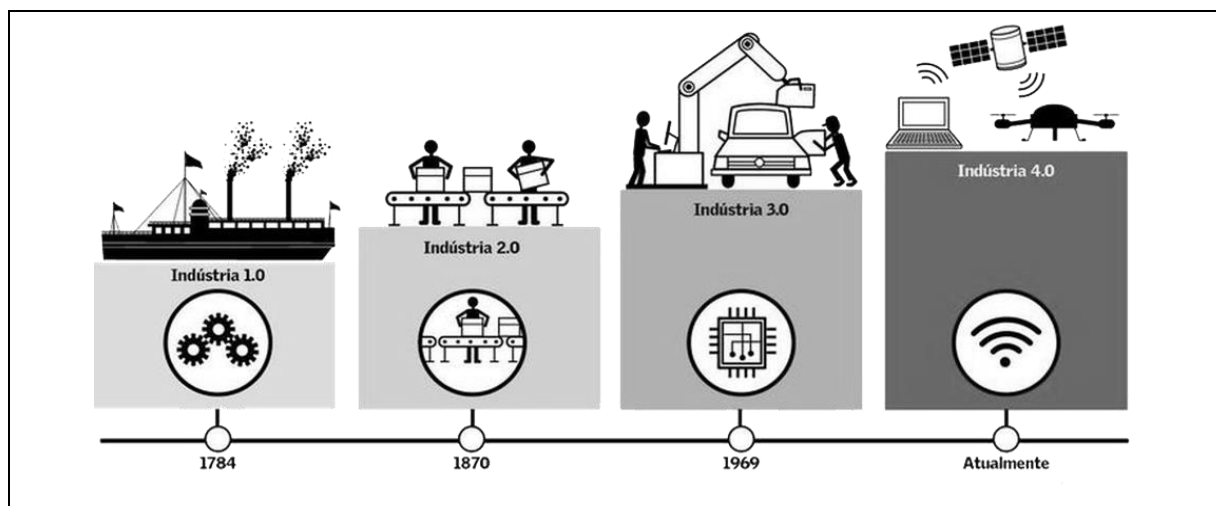
3.1 Transformações na indústria

Desde a Indústria 1.0, inovações tecnológicas tem provocado transformações e demandado esforços para adequar o trato da segurança industrial em consonância com os cenários de mudança cada vez mais desafiadores para a adequação do trabalho ao homem, que continuará presente nos processos, em meio a ondas revolucionárias de tecnologia, com a transformação digital da indústria cada vez mais acelerada.

Passamos por três ondas de revolução industrial antes da que atualmente estamos vivenciando. A Indústria 4.0⁴. A primeira revolução industrial (Indústria 1.0) ocorrida no século XVIII, marcada pelo incremento das máquinas a vapor e com o advento da locomotiva. A segunda revolução industrial (Indústria 2.0) ocorrida no século XIX, marcada pela introdução da energia elétrica que propiciou a indústria automobilística inovar com a primeira linha de montagem industrial para o aumento da produtividade, e a terceira revolução industrial (Indústria 3.0), século XX, cujo o marco, se deu com o advento da eletrônica, possibilitando a realização de trabalho a partir de computadores e máquinas automatizadas, otimização de processos industriais e, conseqüentemente, a melhoria de resultados de produção.

A primeira revolução industrial foi marcada pela mecanização e energia a vapor, seguida pela segunda revolução, onde o seu marco foi a eletricidade nos processos de fabricação e, posteriormente, a informatização foi o marco da terceira revolução na indústria. Com a chegada da quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, houve a introdução de sistemas virtuais-físicos e sistemas complexos ciber-físicos, ultrapassando as fronteiras tradicionais entre os domínios digitais e físicos. (WANG et al., 2016, ALQAHTANI et al., 2019). Momentos da indústria, ilustrados pela figura 6.

Figura 6 – Revoluções industriais



Fonte: Valor Econômico (2018). Disponível em:

<<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2018/04/23/industria-4-0-abre-novo-leque-de-receitas.ghtml>>

⁴ De acordo com Quezada et al (2017), “a Indústria 4.0, também conhecida como a 4ª Revolução Industrial, é uma nova abordagem para organizar a fábrica, caracterizada pelo uso de um conjunto de tecnologias digitais, que podem apoiar o roteiro para um futuro sustentável.” (QUEZADA et al., 2017). A indústria 4.0, também denominada a quarta revolução industrial, é atualmente um tema de investigação em expansão. Pode ser visto como a convergência de vários conceitos emergentes e novas tecnologias, como a identificação por radiofrequência (IDRF), grandes dados, cloud computing, sensores inteligentes, aprendizagem de máquinas (AM), robótica, aditivo manufatura (AM), inteligência artificial (IA), realidade aumentada e Internet das coisas (IdC) (LI, 2017, RAJ et al., 2019).

As mudanças tecnológicas que introduziram a automação para controle de processos, levaram operadores humanos de plantas industriais a vivenciarem uma sistemática operacional por meio de sistemas supervisórios, executadas por sistemas computadorizados que respondem através da automação e das interfaces, passando os operadores, a bem dizer, a atuarem como supervisores de processos. Tais tecnologias, entretanto, nem sempre são de familiaridade e domínio dos operadores. Em condições acidentais, características dinâmicas da sequência de eventos aumentam a complexidade inerente da situação e complicam ainda mais o processo de tomada de decisão. Estes fatores tendem a reduzir o número de erros humanos ao nível da atividade comportamental, mas também aumentam o impacto das consequências quando "erros" de raciocínio ou cognição, geralmente profundamente enraizados no contexto sócio técnico, conseguem infringir o sistema de proteção artificial e tornam-se muito difíceis de controlar e conter. (CACCIABUE, 2000).

Nas primeiras revoluções industriais, o olhar unidirecional dos empreendimentos era voltado para a maximização da produção, não havendo sensibilidade para o fator humano por traz dela. Não eram visionários o suficiente para enxergar que cuidar das pessoas envolvidas nos processos era a melhor estratégia que poderiam utilizar para potencializar o desempenho da indústria. Já neste século, é possível perceber maior relevância dada ao tema segurança – apesar de uma série estatística de acidentes que ainda chama atenção – que aparenta estar começando – após três revoluções da indústria – vivenciar ondas voltadas para efeitos mais efetivos no tocante a segurança na indústria. Nas três primeiras revoluções, passamos por ondas de inovação com avanços tecnológicos que mudaram o rumo da indústria, e agora estamos passando pelo mesmo processo, no tocante a gestão de segurança.

Com o passar dos anos, com a criação de leis trabalhistas para melhorar as condições de trabalho dos funcionários, as indústrias se depararam com a necessidade de se adaptar à nova realidade. Atualmente, apesar de ainda persistirem estatísticas alarmantes, as ações das indústrias sobre as condições de trabalho, estão mais focadas na saúde e segurança ocupacional (SSO). (BADRI et al., 2018).

Em todas as ondas de revolução industrial – e não diferentemente na Indústria 4.0 – o recurso humano se fez e continuará se fazendo necessário, diferindo-se, entretanto, na forma de interação com as novas tecnologias, requerendo, adequado preparo para atuação em conjunto com as inovações tecnológicas de nosso tempo, em que a indústria 4.0 vem nos mostrando meios mais eficazes para a gestão de riscos.

A Indústria 4.0 está modificando os locais de trabalho para ambientes cada vez mais tecnológicos. Por isso, muitos temem que, com o aumento da automação, muitos empregos

serão perdidos. No entanto, com a evolução tecnológica na indústria, outros segmentos inovadores de trabalho surgem e cada vez mais a relação homem-máquina faz-se necessária. (KOREN; KLAMMA, 2018).

A integração digital da indústria 4.0, segundo Tortorella et al (2020), “[...] pode favorecer uma maior colaboração e uma aprendizagem sistemática em todos os níveis.”

Com a ávida transformação digital na indústria, a forma de interação homem-máquina tem sofrido mudanças profundas desde a Indústria 1.0, com reflexos diretos sobre diversos fatores e resultados de produção e de segurança das operações industriais, requerendo o entendimento dos impactos de tais mudanças para as pessoas envolvidas nos processos, em especial, quanto aos riscos a eles inerentes – com origem no local de trabalho ou dele decorrentes – e aos quais possam ser ou estar expostas. Assim, a mesma tecnologia que pode contribuir para melhor desempenho de funções nos processos produtivos, favorecendo a segurança nas operações – como a “internet das coisas”⁵, por exemplo –, podem, também, ser causa de novos problemas, com efeitos já conhecidos e que ainda preocupam. Os acidentes. Uma vez que nenhuma inovação tecnológica, é 100% segura.

Com a chegada da Indústria 4.0 e conseqüentemente a Internet das coisas, gerou mudanças no modelo de negócios das empresas, que hoje estão a todo tempo modernizando os seus processos e tornando-os mais tecnológicos e conectados. Dessa forma, as organizações têm mais produtividade. (DALENOGARE et al., 2018).

Assim, as contínuas mudanças em curso, inevitavelmente, desdobram-se sobre ganhos em matéria de produção e também sobre o fator “Segurança industrial”, uma vez que as novas e potenciais tecnologias da indústria 4.0, como dito, em especial a automação e Internet das Coisas (IdC) para a operação de sistemas inteligentes, podem propiciar ganhos, mas, também, ameaças à segurança operacional de processos industriais. O emprego de sensores de presença para interromper o funcionamento de máquinas e equipamentos quando da presença de pessoas na proximidade do raio de ação dos mesmos, impedindo contatos acidentais, sistemas de intertravamento que impedem o acesso de pessoas a áreas perigosas, monitoramento remoto de pessoas e/ou equipamentos móveis em áreas operacionais perigosas, dentre tantas outras

⁵ O termo "Internet das Coisas (IdC)" foi cunhado pela primeira vez pelo MIT no final da década de 90. Ele se refere a um "mundo de dispositivos ou sensores conectados" onde os objetos são conectados, monitorados e otimizados através de sistemas com fio, sem fio ou híbridos. A diferença característica entre IdC e a Internet existente foi descrita como a seguir: " IdC é uma parte integrada da futura Internet e poderia ser definida como uma infraestrutura de rede global dinâmica com capacidades de autoconfiguração baseadas em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis onde "coisas" físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos, personalidades virtuais e usam interfaces inteligentes, e são perfeitamente integradas na rede de informação". (Zhou et al., 2015). A adoção da IdC tem potencial para melhorar os processos operacionais, reduzir custos e riscos devido à transparência, rastreabilidade, adaptabilidade, escalabilidade e flexibilidade. (ZHOU et al., 2015)

possibilidades, elevando o nível do gerenciamento de riscos a um patamar de maior eficácia, são exemplos de contribuição tecnológica para a segurança de operações industriais. Por outro lado, como pontos de atenção, tem-se risco de ataques cibernéticos a Internet Industrial das Coisas (IIdC), ou mesmo de conflitos de sistemas, que podem levar a comportamentos e a operações perigosas de dispositivos inteligentes, com potencial risco para os envolvidos em operações de risco, sobretudo, em sistemas complexos e potencialmente perigosos. “A IIdC em automação de processos deve ser menos vulnerável a acessos inesperados e ataques maliciosos, bem como ser capaz de garantir a qualidade dos serviços e outros desempenhos de comunicação para aplicações em tempo real.” (TRAN; HÁ, 2015, BIER; GUTFRAIND, 2019).

Há ainda de se considerar, que os avanços obtidos com a indústria 4.0 possibilitam a gestão de grande massa de dados gerados por sistemas que possibilitam a leitura de indicadores em tempo real, propiciando menor tempo de resposta a condições de risco nas operações de processos industriais, prevenindo acidentes, possibilitando ainda, inclusive, a aprendizagem de máquinas para análise de cenários com fins a planejamentos estratégicos de ações de segurança. Neste sentido, a internet das coisas é aliado indispensável. “São possíveis aplicações inovadoras com a Internet das Coisas “através de uma detecção sem falhas, análise de dados e representação de informações com a computação em nuvem como estrutura unificadora.” (RISTESKA STOJKOSKA; TRIVODALIEV, 2017)

A Indústria 4.0 tem como objetivo inicial, a manufatura inteligente e tem por extensão um produto inteligente. Esta, representa a interconexão dos processos industriais. (DALENOGARE et al., 2018, FRANK et al., 2019). Engloba desde dispositivos inteligentes a internet das coisas, pode ser descrita como revolução global na confecção de maquinaria. Esta promove monitoramento e controle, interconexão, comunicação em tempo real e suporte para o armazenamento de uma grande quantidade de dados. (BADRI et al., 2018).

No contexto das tecnologias envolvidas na indústria 4.0, a manutenção inteligente enfatiza a necessidade dos gestores de manutenção verem o projeto organizacional de uma perspectiva holística – abrangendo não apenas as novas tecnologias para a tomada de decisão, mas também o papel humano e as interações sociais. (BOKRANTZ et al., 2019).

Profundas transformações estão sendo movidas por meio da digitalização, da tecnologia de informação, da comunicação, da aprendizagem de máquina⁶, da robótica e da

⁶ O termo, aprendizagem de máquinas, foi criado por um pioneiro em jogos de computador e inteligência artificial, Arthur Lee Samuel, que usou o termo para a ciência de fazer computadores agir sem serem explicitamente programados. Os pesquisadores de IA usam-no como a melhor e mais promissora abordagem para o desenvolvimento da IA a nível humano. Merriam Webster.com (2017) define inteligência artificial como, "um ramo da ciência da computação que lida com a simulação de comportamento inteligente em computadores". IA

inteligência artificial (GUPTA; KEEN; SHAH; VERDIER, 2017). A mudança fundamental na quarta revolução industrial será na área de tomada de decisão. Enquanto que a tecnologia informacional tradicional permite apenas a tomada de decisão humana, com a nova mudança evidente nas tecnologias emergentes, é possível que os computadores também possam tomar decisões apropriadamente confiáveis. (SYAM; SHARMA, 2018).

As revoluções industriais sempre carregam a segurança em suas ondas de inovação tecnológica, com mudanças em métodos e processos de trabalho, levando a solução de problemas por meio da implementação de soluções confiáveis e sustentáveis. Em muitos países industrializados, a reatividade está cedendo à proatividade, com avanço considerável nas últimas décadas, cujo a segurança, também foi reforçada por normatizações que regulamentaram o tratamento de riscos ocupacionais, bem como, o dever de eliminar o perigo na fonte. As empresas atualmente entendem que a segurança e a saúde dos seus funcionários é um componente muito importante para alcançar a qualidade total do negócio, sucesso financeiro e redução de custos. (POLET et al., 2003, BADRI et al., 2018).

3.2 Sistemas Complexos

A ciência da complexidade[...] tem sido usada para se referir ao estudo de sistemas que operam na 'borda do caos' [...] para inferir estrutura nas propriedades complexas de sistemas que são intermediários entre ordem perfeita e desordem perfeita. (ZIEMELIS, 2001).

A teoria dos sistemas complexos, não de agora, mas atualmente muito mais abordado, tem sido cada vez mais utilizadas pela segurança do trabalho enquanto ciência para explicar o descontrole de processos, de operações e de desastres. Organizações com sistemas críticos e potencialmente perigosos têm sido vistos como sistemas sociotécnicos complexos, com múltiplos objetivos, por vezes conflitantes, representando maior risco, propiciando efeitos organizacionais não lineares e demandando maior dinâmica para controle sistêmico, podendo os sistemas complexos, nesse sentido, serem entendidos como a interação entre agentes e o ambiente e entre si.

Estudos apontam que muitos desafios interessantes na modelização científica provêm de sistemas complexos, que são geralmente definidos como sistemas compostos por um grande

refere-se à capacidade das máquinas de imitar o comportamento humano inteligente, e refere-se especificamente às funções "cognitivas" que associamos com a mente humana, incluindo a resolução de problemas e a aprendizagem. No contexto deste estudo, a aprendizagem de máquinas é um pré-requisito para o desenvolvimento da inteligência artificial. (SYAM; SHARMA, 2018).

número de variáveis impulsionadas por interações não lineares entre os seus componentes e com o ambiente. (PIA, 2010; PASCUAL-GARCÍA; ALBERTO, 2018).

Após investigação separada de falhas técnicas e erros humanos, pesquisa sobre segurança de sistemas ampliou seu foco para a análise de questões de sistemas sociotécnicos, levando em consideração as complexas inter-relações entre fatores técnicos, humanos e organizacionais subjacentes àqueles falhas e erros. (BATTMANN; KLUMB, 1993).

A Análise Cognitiva do Trabalho (ACT), fomenta o conhecimento de que os sistemas complexos são sistemas abertos, estando desse modo, expostos a eventos imprevistos que representam ameaças significativas à eficácia do sistema. (NAIKAR, 2017).

“Não levar em conta as interdependências dos sistemas críticos de segurança que caracterizam o complexo sistemas de sistemas (SdS) seria um convite para um desastre.” A tarefa é identificar subsistemas interdependentes e interligados, independentemente do conhecimento da confiabilidade de cada subsistema, onde a falha de um subsistema causaria a falha de outros que compartilham estados e outras entidades essenciais. (HAIMES, 2018).

Anormalidades de interconectividade, interações não-lineares, no ambiente e de interações com as pessoas podem fragilizar e gerar falhas nos sistemas-de-sistemas. Os riscos sistêmicos são geralmente causados pela falta de vigilância. (VENKATASUBRAMANIAN, 2011).

O crescente número de sistemas complexos de engenharia, processos e produtos, decorrentes dos acelerados avanços tecnológicos, traz o desafio de adequadas concepções, análise, controle, segurança e gerenciamento de riscos para operações bem sucedidas, eliminando ou controlando fragilidades que propiciem falhas sistêmicas que possam levar a acidentes.

“Nenhum sistema de engenharia contemporânea cada vez mais complexos, é livre de risco. Minimizar os riscos de processos e de produtos é um desafio intelectual para a ciência criativa e engenharia.” (VENKATASUBRAMANIAN, 2011). O que requer defesas em profundidade como redundância para contingenciar consequências de falhas sistêmicas.

Os acidentes acontecem por inúmeros autores e condições de causalidade, que têm uma complexa interação entre si, oportunizando eventos que se combinam a outros e que, por fim, geram acidentes. As condições de causalidade são importantes para a avaliação de risco e prevenir futuros acidentes e suas consequências. Com isso, é possível reduzir a ocorrência de acidentes por meio do desenvolvimento de estratégias para agir em momentos emergenciais. (SRINIVASAN et al., 2019).

Em um sistema de trabalho bem elaborado, muitas ações preventivas são tomadas para conter os riscos e proteger o sistema contra acidentes, aplicando estratégias de concepção “em profundidade”. (RASMUSSEN, 1997, POLET et al., 2003).

Os hábitos sociais como a normalização de desvios ou a tentativa de diminuir etapas importantes no trabalho podem gerar efeitos negativos para a segurança, que em algumas situações, tornam-se imprevisíveis. Dessa forma, a capacidade sistêmica para lidar com situações adversas é essencial. (OEDEWALD; GOTCHEVA, 2015).

Em grandes organizações com tecnologias modernas, processos muitas vezes dependem de interações complexas e distribuídas entre os operadores humanos e sistemas técnicos, onde as interações são de conhecimento intensivo e regulada por procedimentos. (STROEVE et al., 2009).

3.3 Cultura de Segurança

As abordagens de segurança estão sofrendo mudanças, distanciando-se da abordagem de fatores individuais que possam ser responsabilizados por acidentes e acidentes, como não conformidades e erros com mecanismos de segurança, associado aos fatores organizacionais, como exemplo, o clima de segurança. (REASON, 1990, NEAL; GRI; HART, 2000, F. W, 2000).

Considerando que as estatísticas de acidentes podem atingir um platô, a adoção de uma cultura de segurança eficaz para redução de acidentes se torna ainda mais importante. (STEMN et al., 2019).

“Os aspectos mais importantes que diminuem a qualidade dos resultados são causados por limitações dos métodos de identificação de perigos, inexatidões nos dados disponíveis sobre falhas [...]” (ROUHIAINEN, 1992)

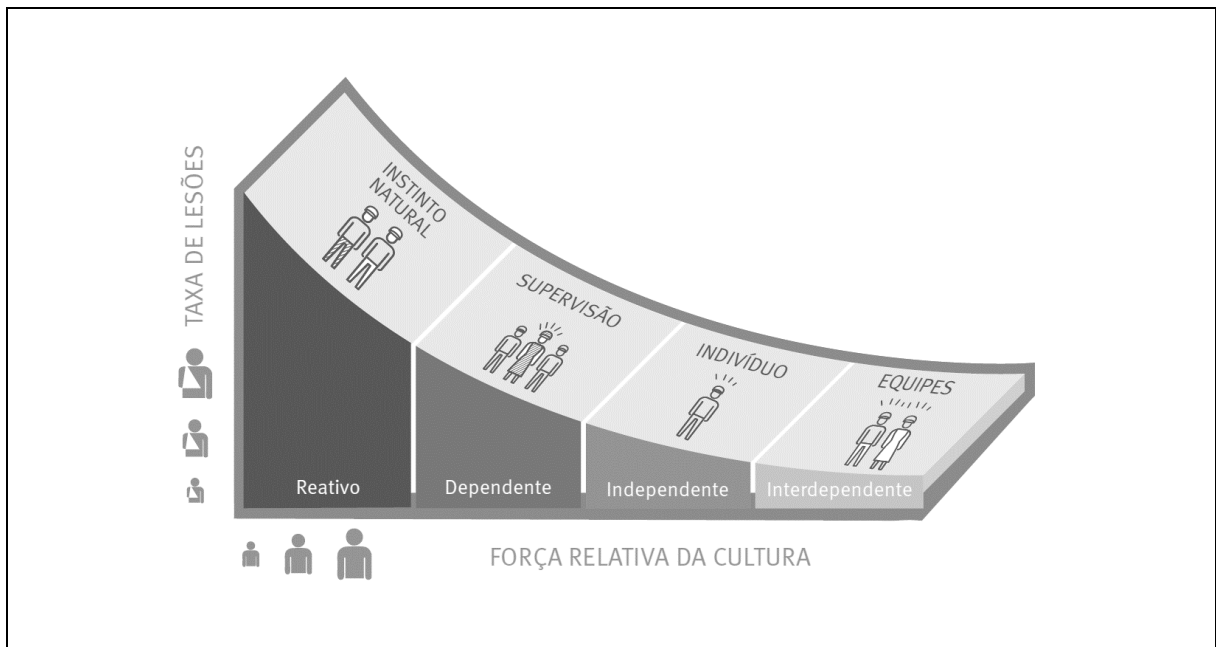
O conceito de cultura de segurança é muito utilizado para mostrar que há processos sociais que ajudam ou dificultam determinados resultados e comportamentos à saúde e segurança no trabalho. (CHOUDHRY et al., 2007, EDWARDS et al., 2013, NORDLÖF et al., 2017).

A mudança de uma segurança baseada em indicadores de atraso como taxas de acidentes e fatalidades para segurança baseada em indicadores principais como medições do clima de segurança e auditorias, são ações que permitem a supervisão das condições de segurança, que podem diminuir a necessidade de aguardar uma falha no sistema para que seja possível identificar pontos fracos e agir de forma corretiva. (FLIN, 2000).

Os acidentes de trabalho afetam organizações em todo o mundo e podem causar danos irreversíveis aos bens, recursos e reputação das organizações afetadas. (ABURUMMAN; NEWNAM; FILDES, 2019).

A construção de uma “cultura de segurança” resistente a riscos tem sido apontada em diversos estudos como aspecto fundamental para a obtenção da disciplina operacional necessária a segurança em processos industriais, em especial, nos complexos e potencialmente perigosos. A figura 7, ilustra a curva de amadurecimento para a obtenção de uma cultura resistente a riscos.

Figura 7 – Evolução da cultura de segurança



Fonte: DuPont (2009)

Assim, o atendimento da necessidade de uma cultura de segurança requer levar em conta fatores humanos e organizacionais no contexto epistemológico compreendido pelo processo de aprendizagem com ensino e treinamentos, considerando aspectos cognitivos e de resiliência, como adiante, serão vistos. Oedewald e Gotcheva, apontam que:

O termo cultura de segurança foi originado do termo cultura organizacional, as noções de cultura de segurança presentes na literatura implicam que os modelos de cultura de segurança foram criados para compreender os valores compartilhados entre os membros de uma organização. (OEDEWALD; GOTCHEVA, 2015).

Uma cultura de segurança com envolvimento que atravesse a hierarquia organizacional de cima para baixo, alcançando os trabalhadores, é essencial para o sucesso da gestão de riscos. (SEPPALA, 1995).

O comprometimento e a competência dos trabalhadores estão intensamente vinculados à cultura organizacional. Promover mudanças na cultura de trabalho em uma instituição não podem ser alcançadas com atitudes simples como uma mudança na política de recrutamento, reformulando o manual do funcionário, aprimorando o programa de tutoria ou inserindo uma nova declaração de missão. (TELUKDARIE et al., 2018).

A cultura de segurança são os valores de uma organização, e o clima de segurança, são o dia-a-dia e as ações dos integrantes dessa organização em relação a segurança no seu local de trabalho. Assim, o clima de segurança é mais volúvel do que a cultura de segurança. Posteriormente a um acidente, as mudanças imediatas ocorrem no clima de segurança e não na cultura, por isso, é preciso que, independentemente do nível organizacional, as pessoas tenham o compromisso de aperfeiçoar as suas atitudes e seus comportamentos com relação à segurança. Com isso, é explícito que se o clima de segurança não for apoiado pela cultura de segurança, futuros acidentes são inevitáveis. (OLIVE et al., 2006).

A relação entre clima e cultura de segurança e os resultados de segurança está evidenciado em estudos que transparecem experiências entre países, organizações e indústrias. (ZOHAR, 2010, NÆVESTAD et al., 2019).

A instituição de fato comprometida, cede recursos para promover uma atmosfera na qual os trabalhadores exercem suas funções com segurança, eliminando a aversão em seguir as precauções de segurança e o desconhecimento sobre questões de segurança (FRANK et al, 2019).

A cultura de segurança deve ter o seu fundamento no topo da organização. Nela é concebida a mentalidade desejada e a partir dela é disseminada como premissa em todo o seu âmbito, promovendo a prática de valores sustentados por uma política de segurança que norteia postura e comportamentos coerentes com o propósito de gestão de riscos, devendo a alta administração e gestores demonstrar de forma clara o seu compromisso com a segurança, bem como, incentivar iniciativas que apoiem o seu objetivo.

É relevante observar, a possibilidade de sistematização de desvios, que certamente irão comprometer o acultamento da segurança. Como na maioria dos casos os desvios menores não ocasionam acidentes, esses desvios tendem a ser normalizados pelos funcionários. Desse modo, os riscos podem não ser identificados, já que, não vai haver uma cautelosa

vigilância para detectar esses riscos, como consequência, essa falha por vezes está por trás dos acidentes. (BESCO, 2004, PATÉ-CORNELL; COX, 2014).

A mitigação de perigos que possam resultar em acidentes por vezes sem danos antes que um evento com dano possa acontecer, é fundamental no gerenciamento de riscos.

3.3.1 Confiabilidade Humana

Errar, é humano. Todos os seres humanos são limitados e podem cometer erros na execução de uma tarefa que se espera realizar com sucesso – fazer a coisa errada quando se pretendia fazer a coisa certa! O que requer medidas para impedir efeitos danosos no ambiente de trabalho, em especial, diante dos riscos de atividades potencialmente perigosas, cujo a exposição, pode resultar em perdas catastróficas, apesar de nossas melhores intenções.

“A confiabilidade humana pode ser definida como a probabilidade de desempenho bem sucedido de uma tarefa e os erros humanos são considerados como resultados do comportamento humano que estão fora do âmbito de tolerância do sistema em que uma pessoa opera.” (PORTHIN; LIINASUO; KLING, 2019).

“O conhecimento e o erro fluem das mesmas fontes mentais, só o sucesso pode distinguir um do outro.” (DOOS et al, 2004).

Assim sendo, lidar com a natureza do erro, bem como, dispor de medidas de resposta para a mitigação e contingenciamento de seus possíveis efeitos, tem desafiado esforços diários para a promoção da segurança em ambientes industriais, no tocante ao comportamento, no que diz respeito a confiabilidade humana – uma abordagem atual do erro, para a prevenção de acidentes.

Os indivíduos podem reagir de diferentes formas a pressão de um mesmo ambiente. Devido a este dinamismo comportamental, certas ações organizacionais realizadas em resposta a defeitos identificados no passado, podem não ser suficientemente eficazes contra problemas futuros. Todas as medidas de segurança devem ser tomadas considerando a imprevisibilidade do comportamento humano. (RAO, 2007, WACHTER; YORIO, 2014)

Graves acidentes, por vezes recorrentes nos meios de transporte – especialmente na aviação – e na indústria – comumente em usinas nucleares e usinas químicas, dentre outras – demonstram a necessidade de mais esforços no gerenciamento de riscos. Muitos desses acidentes são causados por erro humano. Na aviação, 88% dos acidentes graves são atribuídos ao erro humano. O que chama atenção para o aspecto de confiabilidade humana nos processos de gestão de segurança. (AVIATION, 1989, AMALBERTI, 1992).

Quando se tem uma equipe de pessoas com hábitos similares acerca de segurança, começamos a falar sobre indivíduos com uma cultura de segurança comum; para mudar uma cultura, é preciso mudar o comportamento dos indivíduos. (CHOUDHRY, 2014).

Heinrich (1959) propôs que proporcionalmente para cada 300 atos inseguros há 29 ferimentos menores e 1 ferimento maior. Generalização sobre as causas de acidentes, segundo a qual, atos inseguros levam a lesões menores e com o tempo a uma lesão maior, levou gestores de riscos e organizações em buscar de identificar atos inseguros, supondo ser possível impedir a ocorrência de lesões maiores a partir do controle do comportamento de risco. (CHOUDHRY, 2014).

Rasmussen (1997), baseando-se em regras, competências e conhecimento, alegou que erros e desempenho no trabalho podem ser associados. Posteriormente, Reason (2000), Strauch (2002) e Read et al. (2012) sustentam o pensamento de Rasmussen, mostrando por meio de combinações entre os erros e os tipos de desempenho no trabalho, como e porque os acidentes são ocasionados. Teixeira et al. (2006) afirma que os erros humanos e situações de risco poderiam ser reduzidos, mediante um sistema de treinamento de segurança efetivo. (ZHAO et al., 2016).

Para a literatura, quando a cultura está relacionada aos hábitos, a integração dela as novas tecnologias é possível. Posto isto, a cultura é o conjunto de rotinas e práticas e estas podem ser documentadas e observadas, tornando-as mais passíveis de investigação. Dessa forma, conceber a redução de riscos como um processo, pode ser mais eficaz. Isso fará com que as pessoas estejam mais propensas a agirem adequadamente quando problemas forem encontrados. (ZHAO et al., 2016).

É, portanto, necessária para se concentrar mais na supervisão e no respeito pelos regulamentos da refinaria para reduzir os fatores de risco, tanto quanto possível. (BEVILACQUA; CIARAPICA, 2018).

Existem comportamentos baseados em conhecimento e os baseados em regras. O comportamento por conhecimento, é a capacidade de se encontrar respostas em situações que precisam de concentração e atenção consideráveis. O comportamento por regras, são regras conhecidas pelos funcionários para realizar determinadas tarefas. (LE COZE, 2014, CHOUDHRY, 2014)

As avaliações técnicas de risco devem considerar a especificidade dos indivíduos como parte do sistema; que, por natureza, se diferencia das técnicas. Ele se questiona sobre o poder de acesso à fonte de dados confiáveis sobre a possibilidade de ocorrer o erro humano e mostra as suas descobertas sobre a cognição. (LE COZE, 2014).

Muitas opiniões sobre confiabilidade e segurança, reconhecem as pessoas como a principal fonte de falhas. No entanto, dados mostram a contribuição dos indivíduos para a confiabilidade de sistemas diante da incerteza e da variabilidade. Uma razão para isso, é a sensibilidade do ser humano, que podem refletir sobre o contexto e assim identificar falhas.

3.3.2 Engenharia de Fatores Humanos

São muitos os motivos que levam uma pessoa a cometer erros. Esses motivos podem ser a comunicação deficiente, falta de experiência, fadiga, falta de treinamento, aprendizagem dos acidentes ocorridos anteriormente, e etc. (KANDEMIR et al., 2019).

Segundo Paté-Cornell e Cox (2014), os riscos geralmente não são reduzidos a zero, mesmo que as instituições busquem tomar as melhores decisões para ter uma boa gestão de riscos. Mesmo na tentativa de zerar o quadro de risco, os sistemas complexos de engenharia podem apresentar falhas.

Os elementos psicossociais também foram considerados pela indústria como influência para a segurança. A literatura aponta os elementos psicossociais como “fator humano de segurança, com base em pesquisa sobre a interação homem-máquina, aspectos comportamentais e a teoria de propensão para acidentes. (VIERENDEELS et al., 2018).

As dimensões psicossociais foi ilustra por análises e teorias que, apontam que as principais causas dos acidentes não são falhas relacionadas aos aspectos tecnológico e de engenharia, mas sim, fatores humanos, organizacionais e gerenciais que estão relacionados a violações, lapsos e erros. (VIERENDEELS et al., 2018).

“A interface homem-máquina é o único meio através do qual os operadores entendem o comportamento do sistema. Algumas falhas na interface homem-máquina afetam o comportamento dos operadores.” (SASOU; REASON, 1999).

A interação entre pessoas e tecnologia pode ser descrita de diversas formas. A expressão “fator humano” é muito utilizada para descrever a causa dos acidentes quando este é atribuído a conduta de um determinado indivíduo ou de uma organização e não a condições do ambiente ou falhas mecânicas e/ou estruturais. Entretanto, os “erros humanos” em muitos casos são resultantes dos fatores humanos. (DECOLA; FLETCHER, 2005).

Para conseguir uma análise precisa sobre o erro humano, é necessário considerar a interdependência entre as medidas associadas e os fatores humanos. O comportamento de um indivíduo é complexo e pode ser afetado por diversos problemas psíquicos, sociais e contextos adversos. (AXON et al., 2018).

A Análise de Confiabilidade Humana (ACH) precisa estar mais focada nos processos organizacionais e cognitivos do que no aspecto comportamental, visto que, as condições do ambiente de trabalho em que os acidentes ocorrem e se agravam, influenciam diretamente no comportamento dos funcionários no controle ativo.

Os requisitos metodológicos e os dados devem conceder um papel mais pertinente à ACH na análise de risco, com foco em fatores organizacionais e cognitivos. O efeito dos fatores humanos nos modernos sistemas complexos pode ser remetido a uma perspectiva mais realista, no que se refere aos objetivos da análise de risco e aos preceitos dos projetos de controle tecnológico. (CACCIABUE, 2000).

Muitos questionamentos evolutivos facilitam a compreensão de fatores humanos associados aos acidentes e a cultura de segurança. Os fatores humanos são apontados como causa de 60-80% dos acidentes. (RAO, 2007).

Estudos atuais tem apontado grande relevância a gestão de fatores humanos para efetiva gestão de risco. Acerca, Paté-Cornell e Cox trazem a seguinte questão:

Mesmo com uma boa gestão de riscos, estes geralmente não são reduzidos a zero. Falhas em sistemas de operações de grande porte, são em muitos casos enraizados em decisões falhas nos altos níveis das organizações com a má utilização das informações disponíveis. (PATÉ-CORNELL; COX, 2014).

A consideração dos fatores humanos nos processos de análise de causas para a gestão de riscos, foi apontada, segundo Bevilacqua e Ciarapica, após o acidente de Three Mile Island, o que proporcionou mudança na tratativa de problemas envolvendo fatores humanos, sobretudo, em atividades de alto risco, em sistemas complexos e perigosos.

O erro humano pode ser melhor compreendido por meio de modelos de tipificação de fatores humanos. Para isso, primeiramente o erro humano deve ser retirado da área emotiva da punição e da culpa e ser inserido em uma perspectiva de sistema. Com isso, o fator humano é visto como uma consequência natural das exigências do sistema e das capacidades humanas. (BEVILACQUA; CIARAPICA, 2018).

De acordo com Bevilacqua e Ciarapica (2018), “Os fatores que influenciam erro humano e podem então ser documentados e gerenciados. Tais esforços são um componente essencial em um esquema global de gestão da segurança do processo.”

Na segurança de sistemas de produção e em projetos, a consideração de fatores humanos tem sido bem recebida pelas partes interessadas dos processos de gestão de segurança com etapas que incluem a identificação de riscos e oportunidades de melhoria, avaliação e

controle, prevenindo perdas e refletindo-se positivamente na qualidade e desempenho das organizações.

Ocorrências de acidentes, principalmente em cenários de alto risco, demonstram a carência de proteção contra erros humanos a partir da compreensão de fatores humanos, sugerindo a necessidade de meios para melhor avaliação e tratativa de vulnerabilidades a riscos e impactos que tais erros podem causar.

Muitas vezes os termos “erro humano” e “fatores humanos” são utilizados como sinônimos, mas estes não o são. É importante que saibam distingui-los para que possam lidar com cada um da forma correta. Os fatores humanos representam as causas subjacentes dos acidentes, já os erros humanos, representam as causas imediatas dos acidentes. Os erros humanos geralmente são resultado dos fatores humanos, já que, o fator humano influencia diretamente no desempenho. (BEVILACQUA; CIARAPICA, 2018).

Assim, compreender e considerar as causas subjacentes e as causas imediatas é fundamental.

Os resultados de um processo de classificação podem apresentar uma interpretação que melhore o desempenho na resolução de problemas na área analisada. No entanto, essa classificação e as relações entre um conjunto de variáveis que podem ser encontrados é um problema comum e complexo, mesmo em gestão de risco. (BEVILACQUA; CIARAPICA, 2018).

Muitos casos de acidentes nas indústrias são consequência do erro humano e, por meio de um sistema de classificação para mostrar o papel do homem nesses cenários, esses casos podem ser contabilizados.

Essa classificação se baseia na descrição dos modos de erro, o modo de erro interno se refere as fases de planejamento e tomada de decisão, já o modo de erro externo, se refere aos erros de ação. Com isso, é possível analisar e fazer planejar a partir do mecanismo erro-modalidade-e-efeito. (RASMUSSE, 1988).

O empenho para reduzir os erros humanos em processos pode ter diferentes vertentes. É necessária a avaliação de possíveis riscos para o conjunto homem-máquina, a fim de manter apenas o risco aceitável.

Segundo Amalberti (1992), “O desenvolvimento da automação ou de instruções orientadas por procedimentos são bons exemplos desta abordagem. Outro, é a melhoria das interfaces para fornecer aos operadores informações mais compreensíveis, representando sistemas e situações.

Amalberti (1992) afirma que “Nenhuma destas soluções é ideal, uma vez que os relatórios anuais de acidentes na aviação e na indústria mostram que a confiabilidade humana permanece praticamente a mesma. Amalberti completa, que:

Os humanos utilizam a lógica natural e os sistemas a lógica formal, os sistemas resolvem problemas por meio de dados e cálculos instantâneos e os humanos se baseiam em suas experiências passadas e raciocínio qualitativo. Por isso, o homem está muito mais suscetível ao erro do que os sistemas. No entanto, as máquinas e sistemas não têm a sensibilidade do homem, pois operam de forma rígida, e o ser humano pode priorizar a cognição dependendo do contexto em que estiver. (AMALBERTI, 1992).

A detecção de erros humanos e deficiências cognitivas e as curas específicas para estes erros não garantem que a segurança melhore”. Segundo ele, “Uma hipótese para explicar este fato é que os sistemas de assistência interferem com as estratégias humanas naturais dedicadas a garantir a segurança, possivelmente enfraquecendo a acomodação ecológica aos sistemas e levando a sistemas homem-máquina instáveis”.(AMALBERTI, 1992).

Besco (2004) afirma que “as falhas no desempenho humano raramente são acidentes. Geralmente, são escolhas muito ruins, com resultados desastrosos.”

Segundo ele, “O que é necessário é um sistema que identifique as razões pelas quais os operadores cometeram os erros. Além disso, é necessário um sistema que possa recomendar o que pode ser feito para melhorar o desempenho futuro do sistema (BESCO, 2004)”.

Quando os limites normais são estressados e ampliados regularmente, o desvio dos padrões geralmente se torna a norma (BESCO, 2004).

Lay et al. (2015) afirmam que “a confiabilidade e segurança são muitas vezes pensadas através de programas prescritivos e sistemas compostos por elementos pré-definidos e estruturados, tais como Sistemas de Gestão de Segurança. Segundo Lay et al., Cook e Rasmussen:

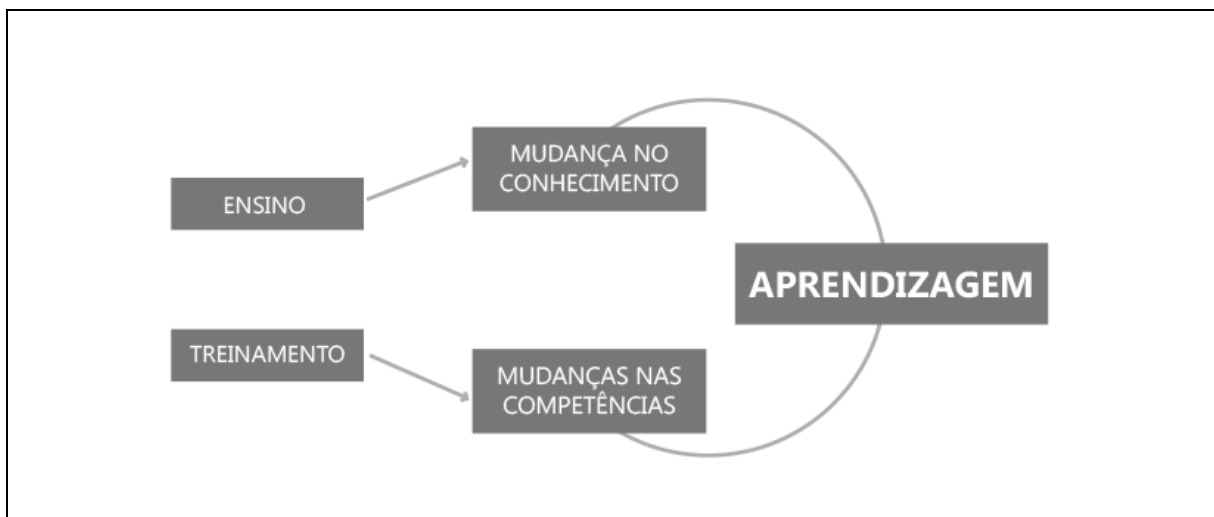
Os inúmeros relatórios de estudo baseados em segurança e confiabilidade, apontam o ser humano como principal fonte de falhas. Dados mostram a contribuição dos funcionários para a confiabilidade dos sistemas de trabalho em frente a incerteza e a variabilidade. A adaptabilidade é essencial para que os sistemas possam lidar com a variabilidade imprevista é propiciada por fatores humanos dos sistemas de trabalho, mesmo com o auxílio da tecnologia. O motivo para este cenário é a sensibilidade, já que, as pessoas são capazes de refletir e detectar falhas de procedimentos, diferente das máquinas. Os funcionários se adaptam a sua dinâmica e as condições reais de trabalho. (LAY et al., 2015).

3.4 Processos de Aprendizagem

3.4.1 Engenharia Cognitiva

A aprendizagem necessária a aquisição de conhecimentos e competências para o desenvolvimento de disciplina operacional e maior assertividade em processos decisórios, aliado a tecnologias da indústria 4.0 – que possibilita a realização do trabalho, especialmente quando perigosos, fora de zonas de risco – reafirma-se como essencial para a criação de uma cultura de segurança resistente a riscos. A figura 8, demonstra o fluxo da aprendizagem, resultante do ensino e treinamento, com, respectivamente, mudança no conhecimento e mudanças nas competências.

Figura 8 – Fluxo de aprendizagem



Fonte: Micropower (2015). Disponível em:

< <https://micropowerglobal.com/a-diferenca-entre-treinamento-ensino-e-aprendizagem/> >

Nesse tocante, a Engenharia Cognitiva tem por objetivo, entender os processos cognitivos humanos e a capacidade e limitações da mente – percepção, memória e raciocínio – por meio de conhecimentos multidisciplinares que envolvem a psicologia cognitiva, a ciência cognitiva e fatores humanos, para desenvolver soluções interativas que favoreçam a interação homem-máquina, sobretudo, em ambientes industriais. (SRINIVASAN et al., 2019).

A Engenharia Cognitiva é um alvo de estudo multidisciplinar que foca em tarefas cognitivas básicas. Por meio da memória, percepção e raciocínio é possível compreender a situação e influencia no planejamento, no processo decisório e na carga mental de trabalho. (SRINIVASAN et al., 2019).

Assim sendo, compreender os erros pode nos ajudar a evitar novos erros.

Muitas medidas de caráter técnico são adotadas pelas indústrias para prevenir acidentes. Entretanto, apesar dos esforços e avanços tecnológicos em termos de automação e controle, acidentes continuam acontecendo.

A capacidade humana inadequada para acompanhar as mudanças de comportamento do sistema, é aspecto que pode propiciar graves erros. Tais erros são causados por associação de sinais ou sinais estereotipados que sinalizam situações muito familiares, diretamente com rotinas que normalmente são eficazes. Apesar de estas associações serem normalmente eficazes, podem ser perigosas quando as condições de trabalho são alteradas durante distúrbios da planta. Mecanismo de erro relacionado à interferência sistemática de um padrão de comportamento treinado e geralmente bem sucedido, representando. Falha de uma operação em mudar para a análise racional baseada no conhecimento sobre o funcionamento da instalação que é necessária para realizar um diagnóstico adequado.(RASMUSSE, 1988).

A constante inovação força os trabalhadores a se qualificarem mais para enfrentar novos níveis de trabalho e máquinas. Por isso, o treinamento frequente é essencial. Todas essas transformações de trabalho necessárias atualmente, fazem parte das configurações tecnológicas trazidas pela Indústria 4.0. (KOREN; KLAMMA, 2018).

3.4.2 Engenharia de Resiliência

A resiliência ficou conhecida, nas últimas décadas, como um conceito muito importante para os estudiosos. A resiliência ganhou notoriedade no discurso público, como um meio para lidar com imprevistos. (AVEN; 2016, AMODEO; FRANCIS; 2019).

A capacidade de adaptação a influências prejudiciais de uma determinada instituição é a chamada resiliência, adaptar-se em vez evitar ou resistir a dificuldades. (RIGHI; SAURIN; WACHS, 2015). Um sistema resiliente precisa conter propriedades como a flexibilidade, a tolerância, a capacidade de amortecimento a cultura de aprendizagem e as interações cruzadas. (SHIRALI et al., 2016).

A Engenharia de Resiliência é uma alternativa para as tradicionais abordagens de gestão de segurança, o que pode ser atribuído ao fato de que o total controle e conhecimento dos sistemas não é uma realidade, trazendo a necessidade de, com a ER, saber agir sobre os possíveis problemas que venham surgir. (BEHARI, 2019).

Os sistemas complexos devem ser capazes de antecipar avarias, a fim de proporcionar ao sistema uma recuperação segura. A maioria dos sistemas relacionados a uma instituição

moderna geralmente têm um tempo de resposta alto e intensos sistemas de acoplamento baixo. Com isso, a adaptação e recuperação de avarias, erros e falhas acontecem rapidamente. Estes sistemas lidam depressa com as mudanças encontradas, sendo desse modo, altamente eficazes. (BEHARI, 2019).

A engenharia de resiliência faz uso dos conhecimentos de identificação de falhas em sistemas complexos, incluindo fatores organizacionais contribuintes para o risco e os fatores que tangem o desempenho humano para prover ferramentas de engenharia de sistemas para lidar com o risco de forma proativa. (RIGHI; SAURIN; WACHS, 2015).

Os esquemas tradicionais para avaliar riscos e os modelos que correspondem na análise de acidentes não são mais eficazes para detectar todos os fatores e riscos envolvidos nos acidentes em sistemas complexos. Outrossim, muitos acidentes que acontecem nos sistemas mostram a fragilidade desses modelos e métodos. A ER mostrou-se como uma solução para as ciências da engenharia. (BEHARI, 2019).

Muito relacionado aos aspectos de sistemas cognitivos, a Engenharia de Resiliência surge como um novo olhar a gestão de riscos em operações de sistemas complexos e perigosos, sobretudo, pela necessidade de desenvolvimento de capacidade e de mecanismos de resposta que possibilitem as pessoas se posicionarem adequadamente a condições adversas e frente à pressão, sobretudo, em ambientes hostis. Um sistema cognitivo pode ser definido como “um sistema que pode modificar seu comportamento com base na sua própria experiência, no intuito de atingir determinado objetivo sem perder o controle.

O campo da Engenharia de Resiliência tornou-se de grande relevância para a compreensão e gestão de riscos, a partir do qual, esforço considerável tem sido feito para esclarecer características básicas de sistemas resilientes.

A Engenharia de Resiliência propõe considerar métodos de avaliação de risco e de gestão de segurança convencionais, passam a ser inadequados para os atuais sistemas. Conforme os sistemas tecnológicos vão sendo aprimorados, o repertório de métodos para gerenciar a segurança também devem ser aprimorados. (STEEN; AVEN, 2011).

A engenharia de resiliência objetiva gerenciar riscos de forma proativa, concentrando-se em lidar com a complexidade, equilibrando segurança e produtividade. Ela é crucial para as necessidades ligadas com o risco dos atuais sistemas sociotécnicos. Está comumente associada a flexibilidade, elasticidade, flutuante, entre outros do gênero, podendo o seu conceito, ser concebido como a capacidade de se recuperar e de se adaptar a mudanças e problemas existentes. (SHIRALI et al., 2016, PATRIARCA et al., 2018).

Etiologicamente, quando da materialização de um risco em acidente, é fundamental a pesquisa e determinação das causas e origens do mesmo. Não se pode deixar deter por mecanismos de culpabilidade, devendo-se investigar o caso considerando aspectos sociais e organizacionais. (PATRIARCA et al., 2018). Tal posicionamento, potencializa a resiliência sistêmica, para lidar com situações adversas, incertezas e prevenir recorrências indesejadas. Flexibilidade que diz respeito a diferença mais relevante entre confiabilidade – probabilidade de falha – e resiliência – capacidade de se recuperar de variações irregulares, interrupções e degradação das condições de trabalho esperados.

Neste sentido, mesmo que pudesse existir várias semelhanças entre teoria de Análise de Confiabilidade Humana e Engenharia de Resiliência, há forte consenso em utilizar a engenharia de resiliência em um nível industrial, conciliando-a com a Análise de Confiabilidade Humana. A Engenharia de Resiliência dá instrumentos para permitir que o sistema oriente suas atividades próximo da área onde os acidentes podem acontecer, mas sempre ficando fora da zona de perigo, tendo a capacidade de se adaptar e de se recuperar a partir de interrupções. Esta é a quinta idade de segurança, a qual é adaptativa ao que implica segurança e saúde do trabalho. (HOPKINS, 2014, PATRIARCA et al., 2018).

A abordagem da Engenharia de Resiliência enfatiza que a segurança do sistema não pode ser vista como ausência de resultados indesejados, mas sim como uma propriedade emergente do sistema que permite que o mesmo tenha sucesso em condições invariáveis. A segurança do sistema pode ser aumentada através do aumento de sua resiliência, ou seja, "a capacidade intrínseca de um sistema em auxiliar o seu funcionamento antes, durante ou após alterações e distúrbios, de modo que possa manter as operações necessárias sob condições esperadas e inesperadas".(OEDEWALD; GOTCHEVA, 2015).

3.4.3 Disciplina Operacional

Vimos até aqui, todo um preambulo que envolve aspectos essenciais no tocante ao tema segurança industrial, como comportamento baseado em artefatos, normas e valores e pressupostos, demandando a necessidade de maior entendimento para a proposição de medidas adequadas e factíveis a promoção da segurança nos ambientes de trabalho, favorecendo-nos nos dias atuais, tecnologias que antes eram inimagináveis ou mesmo fantasiosas, sobretudo, perante as limitações tecnológicas antes existentes, mas, agora, transpostas e gozando de um horizonte de novas possibilidades, com potencial ávido de conhecimentos e tecnologias inovadoras.

Nesse tocante, o ser humano, entretanto, não deixará de ser o principal protagonista no processo de promoção de ambientes de trabalho seguros, onde, o controle de condições perigosas jamais dispensará o papel humano por dele, requerendo comportamento alinhado com os valores, políticas e práticas coerentes com o que se discursa no âmbito do tema segurança.

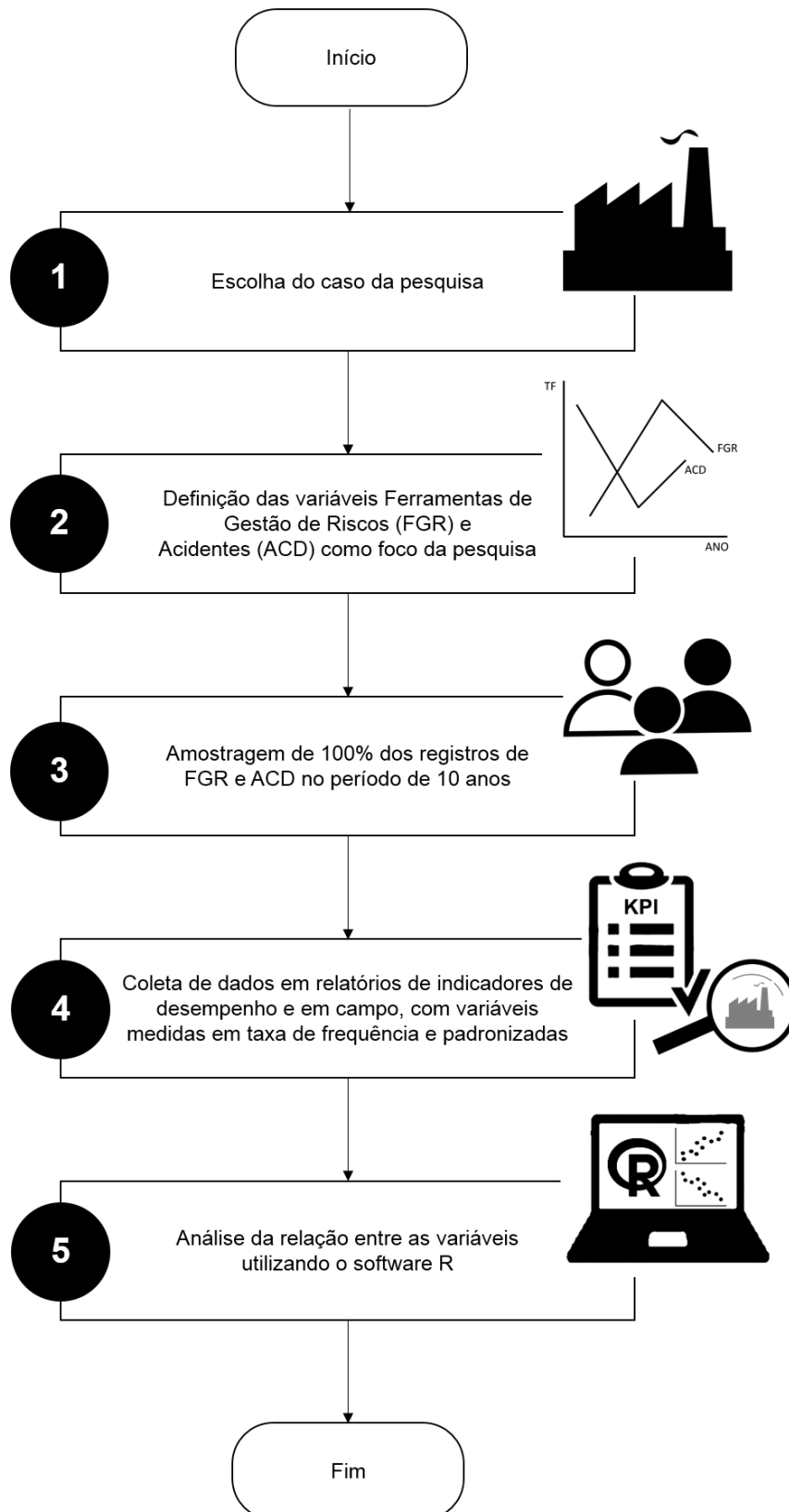
Atividades que envolvem tecnologias complexas e processos perigosos, enfrentam desafios diários para manter a segurança de operações, por possuírem potencial para causar grandes danos e dimensões catastróficas caso algo dê errado.

Não é incomum, a segurança, por vezes, tornar-se conflitante com outros objetivos da organização, dando margem a aceitação de riscos pela maximização do lucro, podendo, sobremaneira, potencializar condições propícias a ocorrência de falhas, erros e atos inseguros. Para Reason (1990) “Uma série de decisões, atitudes e comportamentos organizacionais criam condições para que o acidente ocorra”. Segundo Le Coze (2014) “os erros de gestão e planejamento estão intimamente relacionados com as tentativas de adaptação da organização à exigência de um ambiente competitivo”. Atingir o equilíbrio adequado entre estas duas prioridades requer uma abordagem multifacetado de proprietários [...]. (HAYES, 2012).

Autores asseguram que a disciplina operacional gera segurança. No entanto, há decisões sendo tomadas fora dos sistemas organizacionais formais existentes. Nesses casos, os critérios e os processos de decisão não são utilizados como procedimento, sendo estas, decisões importantes para manter a segurança. (HAYES, 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Figura 9 – Fluxograma da metodologia da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4.1 Local do estudo

O local do estudo é uma indústria de mineração e metais, presente na região norte do Brasil, que emprega mais de 1000 pessoas e atua com gestão baseada em gerenciamento por diretrizes, na qual, a segurança possui função estratégica e é promovida com princípios sólidos, de forma sistêmica⁷ e científica⁸.

4.1.1 Modelo de Gestão

A Gestão de Segurança da indústria estudada, baseia-se na prevenção de acidentes⁹ através da capacitação de seu pessoal, principalmente de nível gerencial, buscando melhor conscientização como agente multiplicador do equilíbrio entre produção e segurança.

O gerente possui responsabilidade indelegável no processo de gestão da segurança industrial, na promoção, estímulo de liderança de suas equipes para obtenção dos resultados e metas estabelecidas pela empresa.

A segurança é tida como exercício da gestão da segurança por todas as pessoas que compõe a organização, desde a maior até a sua menor unidade.

4.1.2 Programa de Gerenciamento de Riscos

Focada na melhoria contínua de seus resultados de segurança, a indústria aplica nas rotinas de trabalho, Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) com o propósito de identificar riscos, conscientizar pessoas e avaliar indicadores de desempenho de segurança proativos e reativos pela taxa de frequência do indicador, que mede o seu número de ocorrência para um milhão de Homens Horas de Exposição aos Riscos (HHER).

Os indicadores proativos correspondem as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) que integram o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e as Causas-Riscos (CR) de acidentes identificados e tratados - comportamento de risco (CPR) e condição de risco (CDR), enquanto que os indicadores reativos, correspondem as ocorrências de acidentes (ACD).

As Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR), são:

⁷ De Forma sistemática, por balizar-se pela aplicação do conceito do PDCA na Solução de Problemas.

⁸ De forma científica, por basear-se em fatos e dados.

⁹ A OHSAS 18001:2007, classifica o acidente como um incidente, sendo este “evento relacionado ao trabalho no qual uma lesão ou doença (condição física ou mental adversa identificável, oriunda de e/ou agravada por uma atividade laboral e/ou situação relacionada ao trabalho), (independentemente da gravidade) ou fatalidade ocorreu”. Ou seja, um incidente que resultou em lesão.

a) Observação Comportamental (OC), aplicada para identificar comportamentos de risco (CPR) – que compõe as Causas-Riscos de acidentes (CR) – quando da execução das tarefas e propor as ações necessárias para o tratamento dos desvios. É uma ferramenta aplicada pelo gerente e/ou por pessoa de sua equipe por ele designada, com periodicidade por ele definida, em formulário dirigido específico, denominado de “Observação Comportamental”, para o registro da prática, cujos dados, alimentam o relatório dos indicadores de desempenho, em taxa de frequência da ferramenta.

b) Inspeção de Segurança (IS), aplicada para identificar condições de risco (CDR) nos ambientes de trabalho – que compõe as Causas-Riscos de acidentes (CR) – e propor as ações necessárias para o tratamento dos desvios. É uma ferramenta aplicada pelo gerente e/ou por pessoa de sua equipe por ele designada, com periodicidade por ele definida, em formulário dirigido específico, denominado de “Inspeção de Segurança”, para o registro da prática, cujos dados, alimentam o relatório dos indicadores de desempenho, em taxa de frequência da ferramenta.

c) Diálogo de Segurança (DS), aplicado para despertar, orientar, conscientizar e desenvolver habilidades de prevenção de acidentes (ACD), causados por comportamentos e condições de riscos, em reuniões que duram aproximadamente 15 minutos, com temas pré-determinados pela equipe, conduzidos pelo próprio gerente e ou pessoa de sua equipe, indicada pelo grupo. A aplicação da ferramenta é registrada em formulário denominado “Lista de Presença”, para o registro da prática, cujos dados, alimentam o relatório dos indicadores de desempenho, em taxa de frequência.

d) Reunião de Segurança (RS), aplicada para análise crítica dos resultados de segurança, em encontro periódico das gerencias com os empregados de subordinação direta, com propósito de avaliar o desempenho através das ações estabelecidas no programa de gerenciamento de risco (PGR) de cada unidade gerencial. A aplicação da ferramenta é registrada em formulário padrão, denominado “Ata de Reunião de Segurança”, para o registro da prática, cujos dados, alimentam o relatório dos indicadores de desempenho, em taxa de frequência da ferramenta.

Compõe o PGR, as metas de aplicação das ferramentas de gestão de riscos, o acompanhamento das ações de segurança e as “metas limite de acidentes”¹⁰ no plano anual, em “taxa de frequência acumulada”¹¹.

¹⁰ Correspondem a taxa de frequência acumulada no ano para os acidentes.

¹¹ Taxa de frequência acumulada, significa o número de ocorrências estimadas do indicador para um milhão de homens horas de exposição aos riscos no ano.

A partir do relatório de indicadores de desempenho, no qual são compilados os dados provenientes da aplicação das ferramentas, avaliações mensais, ou sempre que necessário, são feitas para verificação sistêmica de cumprimento do padrão de segurança e para medir o desempenho da gestão e para.

4.2 Objeto de estudo

Foram objetos do estudo, as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) agrupadas, e as ocorrências de acidentes (ACD) registradas, que compõe, respectivamente, os indicadores de desempenho de segurança proativos e reativos da indústria estudada.

Entretanto, para enriquecimento do estudo, compreensão e melhor avaliação dos resultados, as FGR foram também analisadas individualmente. Nesse mesmo sentido, o estudo também considerou análises envolvendo as Causas-Riscos (CR) agrupadas e não-agrupadas, corroborando, dessa forma, para o enriquecimento do estudo.

4.3 Delineamento

A pesquisa realizada, caracterizada como estudo de caso, balizou-se por levantamento combinado de dados qualitativos e quantitativos, consulta de documentos e revisão bibliográfica, com o objetivo de analisar a relação entre a variável ferramentas de gestão de riscos e a variável acidentes, para avaliar a eficácia da gestão de riscos da indústria de mineração e metais estudada.

Para análise, foi tomada amostra de dez anos do histórico das taxas de frequência da variável Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR), das Causas-Riscos (CR) e da variável Acidentes (ACD), correspondendo a 100% dos registros das variáveis no período, pela indústria.

4.4 Detalhes

Os dados das variáveis FGR e ACD foram coletados de relatórios de indicadores de desempenho do caso estudado e de levantamentos realizados pelo pesquisador nas instalações da indústria estudada, durante consultoria e assessoria de engenharia para a gestão de riscos, por meio de formulários específicos de propriedade industrial da mesma.

No estudo, foi preservada a métrica das variáveis, medidas em taxas de frequência pela indústria, que foram normalizadas para os fins estatísticos. A taxa de frequência mede o número de ocorrência da variável para um milhão de Homens Horas de Exposição aos Riscos (HHER).

4.5 Análise dos dados

4.5.1 Estatística com o Software R

Para a análise estatística e tratamento dos dados estudados, foi utilizada a linguagem de programação R, com o software R – recurso computacional de linguagem aberta com destaque na comunidade acadêmica – por seu potencial para a produção científica e rigor analítico.

4.5.2 Significância dos indicadores estatísticos

A partir do nível descritivo de significância (P-valor), foi avaliada a probabilidade de significância (α) dos indicadores estatísticos estudados, seguindo as etapas seguintes:

a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H_0) e a alternativa (H_1) do teste, onde:

H_0 : Indicador não significativo. ($P > \alpha$). Aceita-se H_0 .

H_1 : Indicador significativo. ($P < \alpha$). Rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 .

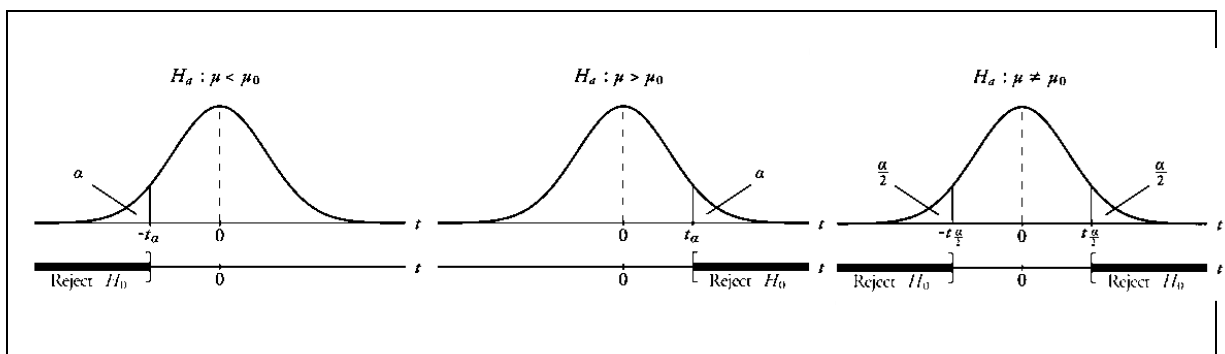
b) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.

c) Realizados os cálculos estatísticos com o Software R.

d) Tomada a decisão de aceitar ou rejeitar H_0 , dado o P-valor obtido.

A figura 10, ilustra o intervalo de confiança e região crítica de probabilidade no gráfico de normalidade.

Figura 10 – Gráfico ilustrativo de intervalo de confiança e região crítica de probabilidade



Fonte: O estatístico (2020). Disponível em:

< <https://oestatistico.com.br/poder-teste-hipoteses/> >

4.5.3 Padronização dos dados

Para potencializar a análise estatística dos dados e atender pressupostos metodológicos, os dados com distribuição não normal, foram padronizados¹² com transformação logarítmica, aplicando-se a função “log(x)”, no software R, baseada na estatística dada por:

$$y^{(\lambda)} = \log(y + c) \quad (1)$$

4.5.4 Normalidade dos dados

Para o teste de normalidade¹³ dos dados estudados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk¹⁴, seguindo as etapas metodológicas abaixo.

a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H0) e a alternativa (H1) para normalidade, onde:

H0: A distribuição dos dados é igual a uma distribuição normal. (P>0,05).

H1: A distribuição dos dados não é igual a uma distribuição normal. (P<0,05).

b) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.

c) Cálculos estatísticos no Software R, utilizando a função “shapiro.test (x)”, dada por:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

d) Decisão de aceitar ou rejeitar H0, dado o P-valor obtido.

4.5.5 Correlação de Pearson entre as variáveis

Para a análise de correlação¹⁵ entre as variáveis estudadas, foi utilizado o método de correlação de Pearson – coeficiente (r)¹⁶ – com a linguagem estatística R, seguindo as etapas metodológicas abaixo:

¹² Valor padronizado significa que um valor é expresso em termos de sua diferença em relação à média, dividida pelo desvio padrão.

¹³ No caso do teste, um resultado não significativo (p>0,05) indica normalidade. Caso o p valor assuma valores abaixo desse patamar (p<0,05), isso é um indicativo de que o pressuposto da normalidade foi violado.

¹⁴ Desenvolvido por Shapiro e Wilk (1965).

¹⁵ A análise de correlação tem por objetivo apenas medir o grau de relacionamento entre variáveis, não significando, caso exista, relação de causa e efeito (causalidade).

¹⁶ O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre duas variáveis quantitativas.

- a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H0) e a alternativa (H1) para correlação, onde:
 H0: Não há relação linear entre as variáveis. ($r = 0$).
 H1: Há uma relação linear entre as variáveis. ($r \neq 0$).
- b) Foi analisada a normalidade da distribuição dos dados das variáveis correlacionadas.
- c) A força da correlação foi classificada segundo o critério de Cohen¹⁷ (1988).
- d) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.
- e) Cálculo estatístico no Software R, utilizando a função “cor(x,y)”, baseado na estatística r de Pearson, dada por:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{sx} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{sy} \right) \quad (3)$$

- f) Decisão de aceitar ou rejeitar H0, dado o P-valor obtido.

4.5.6 Regressão MMQO entre as variáveis

Para a análise de regressão entre as variáveis estudadas, foi utilizada o método dos mínimos quadrados ordinários (MMQO), seguindo as etapas metodológicas abaixo, incluindo a análise das pressuposições de normalidade, homogeneidade e independência dos dados, considerando suas respectivas hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

- a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H0) e a alternativa (H1) de relação, onde:
 H0: $\beta = 0$. Não há relação linear entre as duas variáveis.
 H1: $\beta \neq 0$. Há relação linear entre as variáveis x e y.
- b) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.
- c) Foi executado o cálculo estatístico no Software R, utilizando a função “lm(y ~ x)”, baseado no método estatístico de mínimos quadrados, dada por:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{SQE}{SQT} = \frac{\hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4)$$

¹⁷ Para Cohen (1988), valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes.

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) Y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

$$E[R^2] \cong \frac{\hat{\beta}_1^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\hat{\beta}_1^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sigma^2} \quad (6)$$

d) Decisão de aceitar ou rejeitar H0, dado o P-valor obtido.

4.5.6.1 Normalidade dos resíduos

A partir da estatística de Shapiro-Wilk¹⁸, com base no nível descritivo de significância (P-valor), foi avaliada a probabilidade de significância (α) do indicador de normalidade¹⁹ dos resíduos, pela seguinte sequência metodológica:

a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H0) e a alternativa (H1) para normalidade, onde:

H0: A distribuição dos dados é igual a uma distribuição normal. (P>0,05)

H1: A distribuição dos dados não é igual a uma distribuição normal. (P<0,05).

b) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.

c) Foi executado o cálculo estatístico no Software R, utilizando a função “shapiro.test (x)”, baseado na estatística W, dada por:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

d) Decisão de aceitar ou rejeitar H0, dado o P-valor obtido.

¹⁸ Desenvolvido por Shapiro e Wilk (1965).

¹⁹ No caso do teste, um resultado não significativo (p>0,05) indica normalidade. Caso o p valor assumia valores abaixo desse patamar (p<0,05), isso é um indicativo de que o pressuposto da normalidade foi violado.

4.5.6.2 Homogeneidade dos resíduos.

A partir da estatística de Breush-Pagan, com base no nível descritivo de significância (P-valor), foi avaliada a probabilidade de significância (α) do indicador de homocedasticidade²⁰ dos resíduos, pela seguinte sequência metodológica:

a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H0) e a alternativa (H1) do teste, onde:

H0: Indicador não significativo. ($P > \alpha$). Aceita-se H0.

H1: Indicador significativo. ($P < \alpha$). Rejeita-se H0 e aceita-se H1.

b) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.

c) Executada a estatístico com o Software R, utilizando a função “`ncvTest(lm)`”, dada por:

$$LM = \left(\frac{\partial \ell}{\partial \theta} \right)^T \left(-E \left[\frac{\partial^2 \ell}{\partial \theta \theta'} \right] \right)^{-1} \left(\frac{\partial \ell}{\partial \theta} \right) \quad (8)$$

d) Decisão de aceitar ou rejeitar H0, dado o P-valor obtido.

4.5.6.3 Independência dos resíduos

A partir da estatística de Durbin-Watson, com base no nível descritivo de significância (P-valor), foi avaliada a probabilidade de significância (α) do indicador de independência²¹ dos resíduos, pela seguinte sequência metodológica:

a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H0) e a alternativa (H1) do teste, onde:

H0: Indicador não significativo. ($P > \alpha$). Aceita-se H0.

H1: Indicador significativo. ($P < \alpha$). Rejeita-se H0 e aceita-se H1.

b) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.

c) Foi executado o cálculo estatístico com o Software R, utilizando a função “`dwtest`”, dada por:

²⁰ No caso do teste, um resultado não significativo ($p > 0,05$) indica homogeneidade. Caso o p valor assumia valores abaixo desse patamar ($p < 0,05$), isso é um indicativo de que o pressuposto da homogeneidade foi violado.

²¹ Na regressão linear, supõe-se que os resíduos sejam independentes (não correlacionados) uns dos outros. Se a suposição de independência for violada, alguns resultados de ajuste do modelo podem não ser confiáveis. Por exemplo, a correlação positiva entre os termos de erro tende a inflar os valores-t de coeficientes, fazendo com que as preditoras pareçam significativas quando elas podem não ser.

$$dw = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_i - 1)^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (9)$$

d) Decisão de aceitar ou rejeitar H0, dado o P-valor obtido.

4.5.6.4 Influência das observações

A partir da estatística de Cook, com base no nível descritivo de significância (P-valor), foi avaliada a probabilidade de significância (α) do indicador Distância de Cook²² dos resíduos, pela seguinte sequência metodológica:

a) Foi fixada a hipótese estatística nula (H0) e a alternativa (H1) do teste, onde:

H0: Indicador não significativo. ($P > \alpha$). Aceita-se H0.

H1: Indicador significativo. ($P < \alpha$). Rejeita-se H0 e aceita-se H1.

b) Foi fixado o nível de significância do teste (α) a 5%.

c) Foi executado o cálculo estatístico com o Software R, com base na estatística dada

por:

$$D_i = \frac{(\hat{\beta}_{(i)} - \hat{\beta})(X'X)(\hat{\beta}_{(i)} - \hat{\beta})}{pMS_E} \quad (10)$$

c) Decisão de aceitar ou rejeitar H0, dado o P-valor obtido.

²² A Distância de Cook, é uma medida de distância calculada para cada ponto da base de dados. Ela mede o efeito de se excluir uma dada observação.

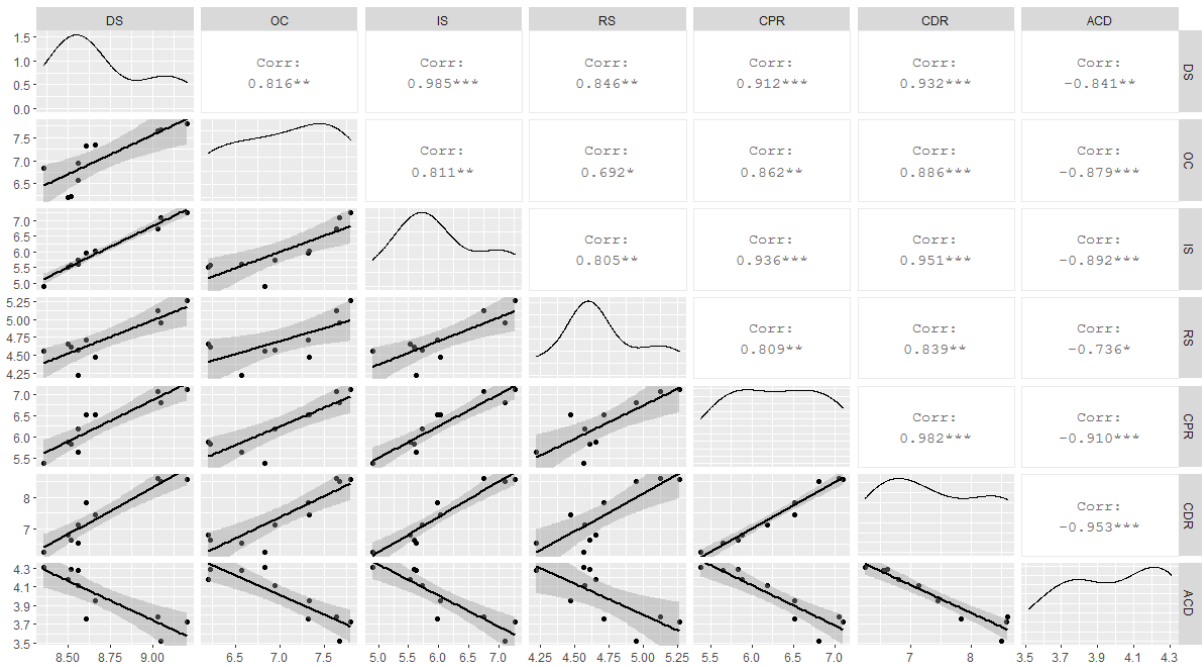
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos no estudo.

5.1 Associação entre as variáveis estudadas

São revelados na figura 11, os resultados para a associação de forma não agrupada das Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) DS, OC, IS e RR, das Causas-Riscos (CR) de acidentes CPR e CDR, assim como, dos resultados de associação destas variáveis com os Acidentes (ACD).

Figura 11 – Associação entre as variáveis estudadas



Nota: Corr = valores de correlação, que, entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. (*), (**), (***) significa que a variável é significativa nos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. As regiões destacadas em torno dos gráficos de dispersão, referem-se ao intervalo de confiança das relações.

Fonte: Elaborado pelo autor

Houve forte associação entre as variáveis estudadas (Figura 11), rejeitando-se, desta forma, a hipótese de inexistência de relação entre elas e aceitando-se a hipótese alternativa de que há relação entre as variáveis, destacando-se, a correlação (r) e a significância de probabilidade (P) entre as variáveis Condição de Risco (CDR) e Comportamento de Risco (CPR).

A associação entre as Ferramentas de Gestão de Riscos e as Causas-Riscos de acidentes (CR), foi positiva, enquanto que entre as Causas-Riscos e os Acidentes, houve associação negativa. O resultado de forte indicativo de relação e de significância de probabilidade da associação entre as variáveis, reforça a inferência de relação de causalidade entre elas.

A tabela 1, abaixo, resume as correlação (r) e a significância de probabilidade (P) entre as variáveis estudadas.

Tabela 1 – Correlação (r) e significância (p) entre variáveis não-agrupadas

Variáveis (X,Y)	α	r	Valor-p
DS e CPR	0,05	0,912	p<0,05
DS e CDR	0,05	0,932	p<0,05
OC e CPR	0,05	0,862	p<0,05
OC e CDR	0,05	0,886	p<0,05
IS e CPR	0,05	0,936	p<0,05
IS e CDR	0,05	0,951	p<0,05
RS e CPR	0,05	0,809	p<0,05
RS e CDR	0,05	0,839	p<0,05
CPR e CDR	0,05	0,982	p<0,05
CPR e ACD	0,05	-0,910	p<0,05
CDR e ACD	0,05	-0,953	p<0,05

Notação: α = nível de significância, r = coeficiente de correlação de Pearson, P = nível descritivo de significância.

$-1 \leq r \leq 1$.

r = 1: relação linear perfeita (e positiva) entre X e Y.

r = 0: inexistência de relação linear entre X e Y.

r = -1: relação linear perfeita (e negativa) entre X e Y.

r > 0: relação linear positiva entre X e Y.

r < 0: relação linear negativa entre X e Y.

P>0,05 = Não significativo.

P<0,05 = Significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

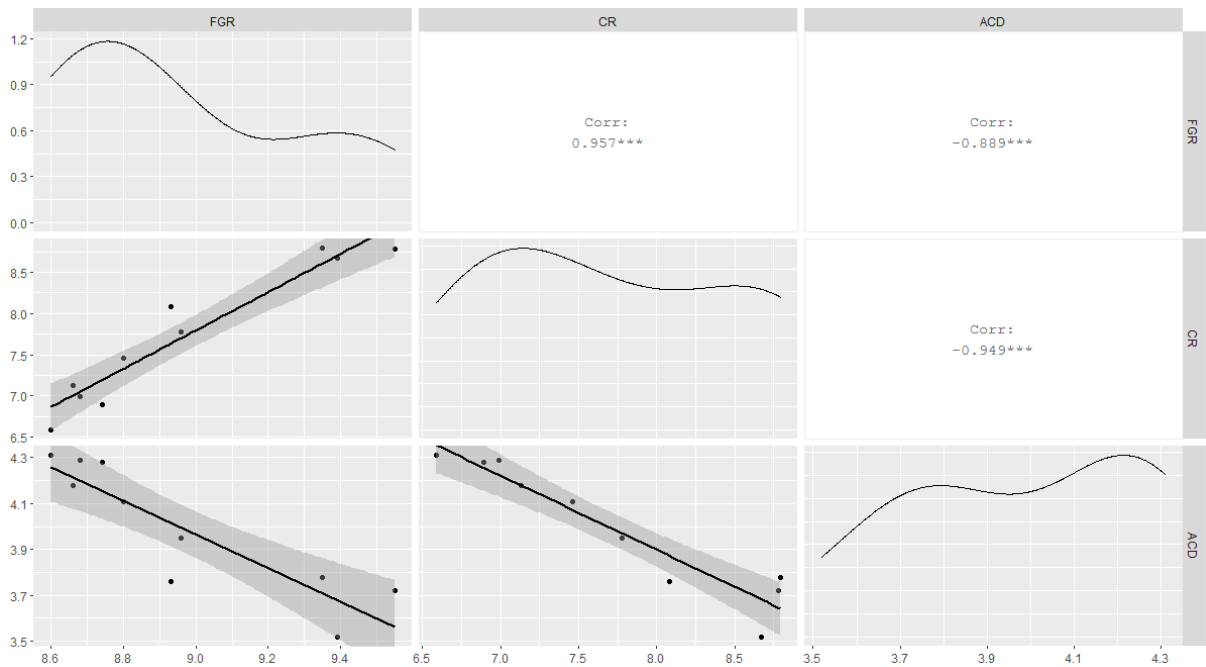
Infere-se, a partir dos resultados obtidos para cada relação na tabela 1, que as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR), mesmo isoladamente, contribuem para a gestão de riscos na indústria estudada, favorecendo a segurança, uma vez que proporcionam tratamento para as causas de acidentes – Comportamento de Risco (CPR) e Condição de Risco (CDR) – e a conseqüente redução das ocorrências de acidentes.

O resultado revelou que as Ferramentas de Gestão de Riscos (DS, OS, IS e RS) possuem maior grau de relação com as Condições de Risco (CDR) do que com os Comportamentos de Risco (CPR), denotando que a abordagem comportamental – aspecto de fundamental na gestão de riscos – continua sendo uma oportunidade de melhoria no caso estudado.

A relação de causalidade revelada entre as Condições de Risco (CDR) e os Comportamentos de Risco (CPR), é aspecto de relevante atenção, uma vez que uma causa de acidente contribui para a ocorrência da outra e, conseqüente, para os acidentes (ACD), mais relacionados com as condições de risco (CDR) do que com os comportamentos de risco. Uma medida clara de que não se pode atuar sobre uma causa sem levar em consideração, a outra.

Na figura 12, abaixo, são revelados os resultados para a associação entre as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) – DS, OC, IS e RR – e as Causas-Riscos (CR) – CPR e CDR, ambas, agrupadas – e delas, com os Acidentes (ACD).

Figura 12 – Associação e coeficiente de correlação entre os grupos de variáveis estudadas



Nota: Corr = valores de correlação, que, entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. (*), (**) e (***) significa que a variável é significativa nos níveis de 10%, 5% e 1%, respectivamente. As regiões destacadas em torno dos gráficos de dispersão, referem-se ao intervalo de confiança das relações.

Fonte: Elaborado pelo autor

Houve forte associação entre as variáveis FGR e CR agrupadas – (DS, OS, IS e RS) e (CPR e CDR), respectivamente – e destas com os Acidentes (ACD) (Figura 12), rejeitando-se a hipótese de inexistência de relação entre elas e aceitando-se a hipótese alternativa de existência de relação entre as variáveis, que resultaram em forte grau de correlação (r) e significância de probabilidade (P).

A associação entre as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) e as Causas-Riscos de acidentes (CR), ambas, agrupadas, foi positiva, enquanto que entre as Causas-Riscos (CR) e os

Acidentes (ACD), houve associação negativa. O resultado de forte indicativo de relação e de significância de probabilidade da associação entre as variáveis, reforça a inferência de relação de causalidade entre elas.

A tabela 2, a seguir, resume as correlação (r) e a significância de probabilidade (P) entre as variáveis estudadas.

Tabela 2 – Correlação (r) e significância (P) entre variáveis agrupadas

Variáveis (X,Y)	α	r	Valor-p
FGR e CR	0,05	0,957	P<0,05
CR e ACD	0,05	-0,949	P<0,05
FGR e ACD	0,05	-0,889	P<0,05

Notação: α = nível de significância, r = coeficiente de correlação de Pearson, P = nível descritivo de significância.

$-1 \leq r \leq 1$.

r = 1: relação linear perfeita (e positiva) entre X e Y.

r = 0: inexistência de relação linear entre X e Y.

r = -1: relação linear perfeita (e negativa) entre X e Y.

r > 0: relação linear positiva entre X e Y.

r < 0: relação linear negativa entre X e Y.

P>0,05 = Não significativo.

P<0,05 = Significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Infere-se a partir dos resultados obtidos para cada relação na tabela 2, que as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) agrupadas (DS, OS, IS e RS) e as Causas-Riscos (CR), também agrupadas (CPR e CDR), resultaram em relação ainda mais forte do que quando analisadas isoladamente, mantendo-se, em todas as associações, forte indicativo de relação e de significância de probabilidade, sendo uma demonstração da relevância do conjunto das ferramentas que compõem a sistemática de gestão da indústria estudada, na gestão de riscos.

5.2 Relação funcional entre as variáveis estudadas

As tabelas de 3 a 6 a seguir, revelam os resultados da análise de relação funcional por regressão pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MMQO) para as variáveis estudadas.

Tabela 3 – Resultados da análise de regressão linear CPR ~ FGR

Variáveis (X~Y)	Coefficientes	Estimador	Pr(> t)	r ²	Valor-p
CPR ~ DS	Intercept	-10,54	P<0,05	0,84	P<0,05
	DS	1,93	P<0,05		
CPR ~ OC	Intercept	0,13	P>0,05	0,75	P<0,05
	OC	0,87	P<0,05		
CPR ~ IS	Intercept	1,80	P<0,05	0,88	P<0,05

	IS	0,74	P<0,05		
CPR ~ RS	Intercept	-1,00	P>0,05	0,65	P<0,05
	RS	1,55	P<0,05		

Notação: r^2 = coeficiente de determinação, que em escala de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é o poder do r^2 para explicar a influência da variável Y sobre a variação da variável Y (X~Y).

P = nível descritivo de significância.

P>0,05 = Não significativo.

P<0,05 = Significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 3, o resultado da análise de regressão linear aponta que houve relação funcional entre as variáveis que integram as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) e a variável Comportamento de Risco (CPR), sendo todas elas, significativas (Valor-P), observando-se maior poder de explicação pelo coeficiente de determinação (r^2), na influência da ferramenta Inspeção de Segurança (IS) sobre o Comportamento de Risco (CPR).

Tabela 4 – Resultados da análise de regressão linear CDR ~ FGR

Variáveis (X~Y)	Coeficientes	Estimador	Pr(> t)	r^2	Valor-p
CDR ~ DS	Intercept	-18,53	P<0,05	0,87	P<0,05
	DS	2,98	P<0,05		
CDR ~ OC	Intercept	-2,12	P>0,05	0,79	P<0,05
	OC	1,35	P<0,05		
CDR ~ IS	Intercept	0,58	P>0,05	0,90	P<0,05
	IS	1,13	P<0,05		
CDR ~ RS	Intercept	-3,98	P>0,05	0,70	P<0,05
	RS	2,42	P<0,05		

Notação: r^2 = coeficiente de determinação, que em escala de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é o poder do r^2 para explicar a influência da variável Y sobre a variação da variável Y (X~Y).

P = nível descritivo de significância.

P>0,05 = Não significativo.

P<0,05 = Significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 4, o resultado da análise de regressão linear aponta que houve relação funcional entre as variáveis que integram as Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) e a variável Condição de Risco (CDR), sendo todas elas, significativas (Valor-P), observando-se maior poder de explicação pelo coeficiente de determinação (r^2), na influência da ferramenta Inspeção de Segurança (IS) sobre as Condições de Risco (CDR).

Tabela 5 – Resultados da análise de regressão linear ACD ~ CPR

Variáveis (X~Y)	Coeficientes	Estimador	Pr(> t)	r^2	Valor-p
ACD ~ CPR	Intercept	6,69	P<0,05	0,83	P<0,05
	CPR	-0,42	P<0,05		

Notação: r^2 = coeficiente de determinação, que em escala de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é o poder do r^2 para explicar a influência da variável Y sobre a variação da variável Y (X~Y).

P = nível descritivo de significância.

P>0,05 = Não significativo.
P<0,05 = Significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 5, o resultado da análise de regressão linear aponta que houve relação funcional entre a variável Comportamento de Risco (CPR) e a variável Acidentes (ACD), sendo ela, significativa (Valor-P).

Tabela 6 – Resultados da análise de regressão linear ACD ~ CDR

Variáveis (X~Y)	Coeficientes	Estimador	Pr(> t)	r ²	Valor-p
ACD ~ CDR	Intercept	6,20	P<0,05	0,90	P<0,05
	CDR	-0,29	P<0,05		

Notação: r² = coeficiente de determinação, que em escala de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é o poder do r² para explicar a influência da variável Y sobre a variação da variável Y (X~Y).

P = nível descritivo de significância.

P>0,05 = Não significativo.

P<0,05 = Significativo.

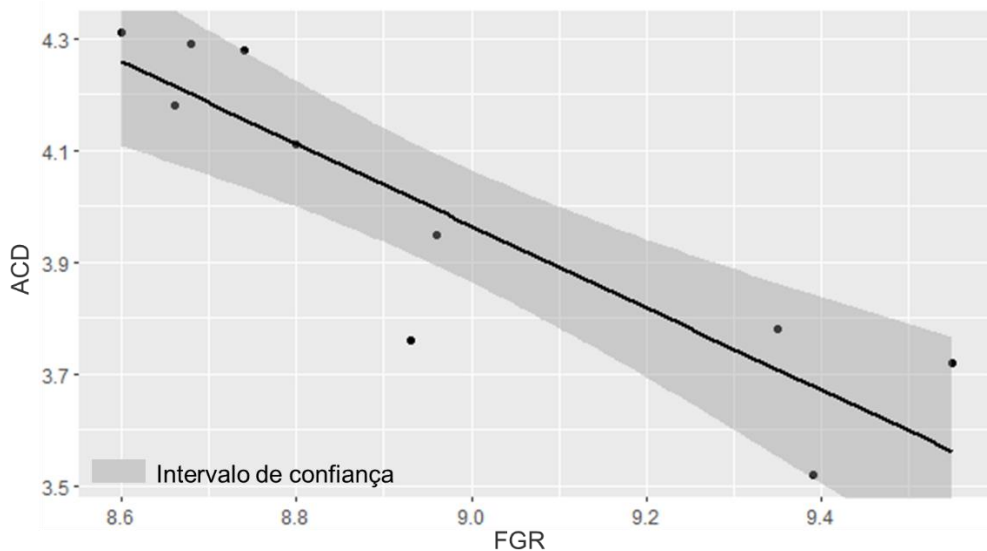
Fonte: Elaborado pelo autor

Na tabela 6, o resultado da análise de regressão linear aponta que houve relação funcional entre a variável Condição de Risco (CDR) e a variável Acidentes (ACD), sendo ela, significativa (Valor-P).

5.3 Efeito conjunto das Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) sobre os acidentes

A análise de relação funcional por regressão pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MMQO) entre as variáveis Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) e os Acidentes (ACD), foco do estudo, revelou relação linear entre elas, como se observa na figura 13.

Figura 13 – Gráfico de regressão com destaque da região do intervalo de confiança



Fonte: Elaborado pelo autor

A região do gráfico, destacada em torno da reta de abstração explicativa de regressão e dos pontos correspondentes as observações da pesquisa, mostra o intervalo de confiança estatística do modelo (Figura 13).

A tabela 7, a seguir, resume os resultados para a relação de interferência das Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) sobre os Acidentes (ACD).

Tabela 7 – Regressão linear ACD ~ FGR

Variáveis (Y~X)	α	Coefficientes	Estimador	Pr(> t)	r ²	Valor-P
ACD ~ FGR	0,05	Intercepto	10.57	P<0,05	0,79	P<0,05
		FGR	-0.73	P<0,05		

Notação: r² = coeficiente de determinação, que em escala de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior é o poder do r² para explicar a influência da variável Y sobre a variação da variável X (X~Y).
P = nível descritivo de significância.
P>0,05 = Não significativo.
P<0,05 = Significativo.

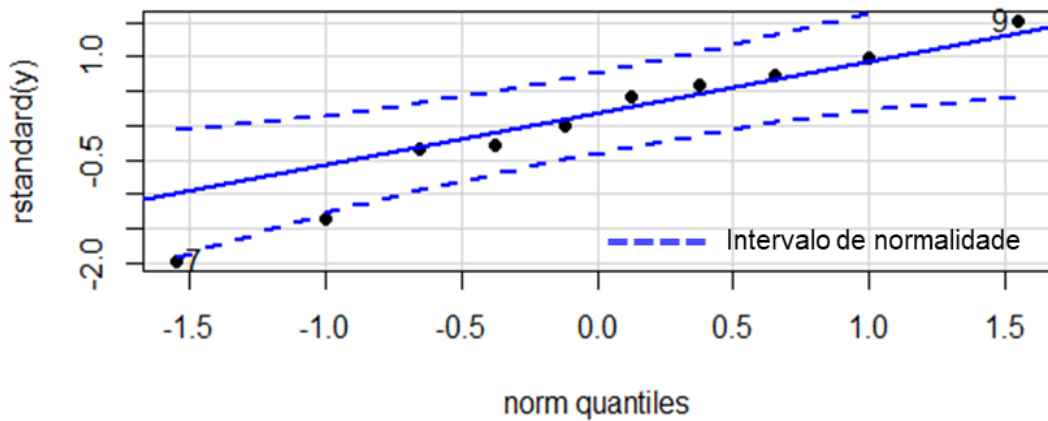
Fonte: Elaborado pelo autor

A variável Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) explica consideravelmente a variável Acidentes (ACD), sendo a relação linear, significante (Tabela 7). Novamente, a hipótese de inexistência relação entre as variáveis, neste caso, funcional, é rejeitada, aceitando-se a hipótese alternativa de existência de relação funcional entre as variáveis, considerando os estimadores.

5.4.1 Pressuposições dos resíduos da regressão FGR ~ ACD

Os gráficos das figuras 14 a 17, a seguir, revelam os resultados para os pressupostos dos resíduos da análise de regressão pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MMQO), da variável Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) sobre os Acidentes (ACD).

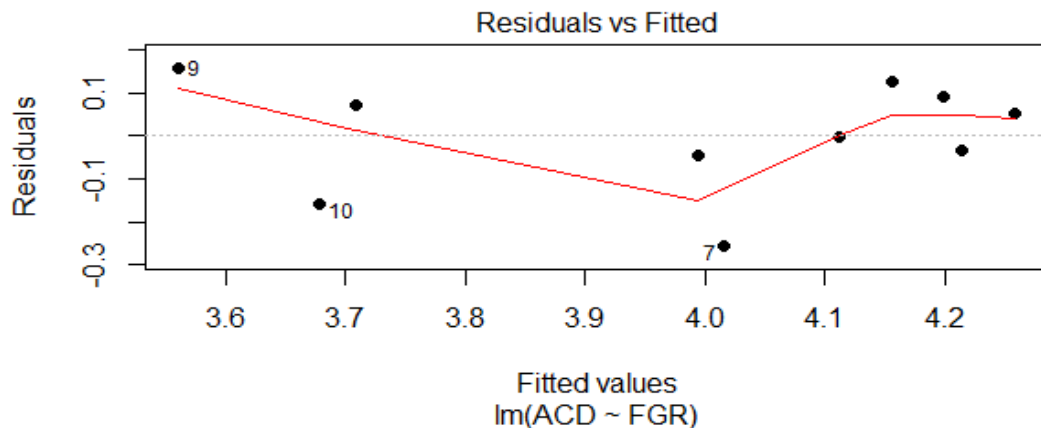
Figura 14 – Gráfico de normalidade dos resíduos da regressão FGR ~ ACD



Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado do gráfico de envelope para o teste de normalidade dos resíduos do modelo linear (Figura 14), evidenciou que a amostra provém de uma distribuição normal, apesar dos pontos extremos 7 e 9, que não estão afetando o comportamento da distribuição, sendo, portanto plausível considerar que os resíduos do modelo seguem uma distribuição normal, considerando a significância (α) obtida, com $P > 0,05$. Com tal condição, aceita-se a hipótese nula de normalidade dos resíduos do modelo linear e rejeita-se a hipótese alternativa de inexistência de normalidade.

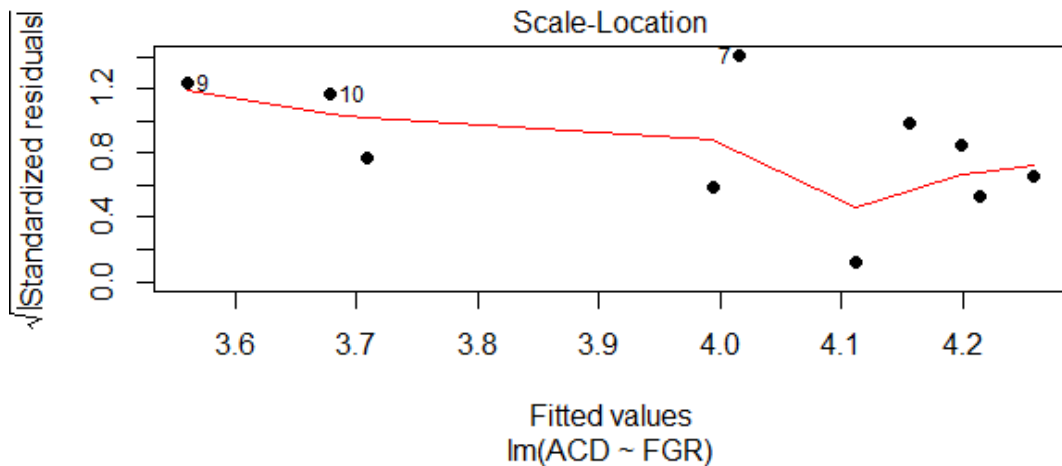
Figura 15 – Gráfico de homocedasticidade dos resíduo versus valores ajustados



Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico da figura 15, vem confirmar a suposição de variância constante. Nesse gráfico temos o valor absoluto dos resíduos studentizados versus o valor ajustado. A linha resultante do amortecimento não indica crescimento da variância com o aumento da média.

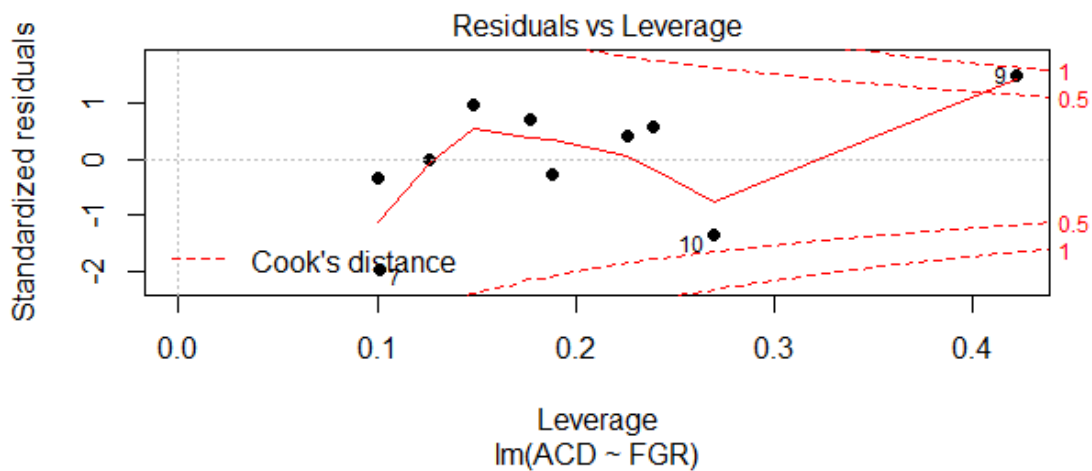
Figura 16 – Gráfico de independência dos resíduos padronizados versus valores ajustados



Fonte: Elaborado pelo autor

No gráfico da figura 16, os resíduos apresentam-se de forma desestruturada; isto é, eles não contêm nenhum padrão evidente, apresentando-se aleatoriamente distribuídos. A linha resultante do amortecimento é aproximadamente horizontal e próxima da reta horizontal de ordenada zero, indicando média zero para os resíduos.

Figura 17 – Gráfico de distância de Cook’s dos resíduos padronizados versus alavanca



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 17, temos o gráfico da distância de Cook, no qual não há indicação de observação influente. O resíduo no ponto 9 é inferior a 1, não ultrapassando o limiar estatístico do modelo linear, não distorcendo o padrão de independência das observações.

Tabela 8 – Pressupostos do modelo de regressão linear ACD ~ FGR

Variáveis (Y~X)	Pressuposto	α	Teste	Valor-P
-----------------	-------------	----------	-------	---------

ACD ~ FGR	Normalidade	0,05	Shapiro-Wilk	P>0,05
	Homogeneidade	0,05	Breush-Pagan	P>0,05
	Independência	0,05	Durbin-Watson	P>0,05
	Influência	0,05	Cook	P>0,05

Notação: ~ = operação de regressão no Software R, α = nível de significância, P = nível descritivo de significância.
P>0,05 = Não significativo.
P<0,05 = Significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resíduos do modelo linear, resultaram valores de significância descritiva superiores as significâncias de probabilidade (α) dos seus pressupostos (Tabela 9). Assim, infere-se que não houve violação das condições que validam o modelo. Desta forma, aceita-se a hipótese nula de existência de normalidade, homocedasticidade, independência e de influência dentro dos limites para consistência do modelo que corresponde ao ajustamento da reta de regressão linear, dado pela equação:

$$Y = 10,57 - 0,73X \quad (11)$$

5.4 Insight da gestão de riscos do caso estudado

Houve, para todas as análises realizadas com as variáveis FGR, CR – agrupadas e não-agrupadas – e ACD, resultados que inferem a existência de associação e interferência entre elas, com forte correlação (r), relação funcional (r^2) e significância de probabilidade (P).

Os resultados revelam que a aplicação das Ferramentas de Gestão de Riscos (FGR) produzem o efeito de conter acidentes, por possibilitarem a identificação dos riscos dos processos da indústria e a adoção de medidas de controle capazes de tratar comportamentos e condições ambientes de insegurança.

Sendo a adoção de ferramentas de gestão de riscos e o incentivo a aplicação delas para proporcionar segurança nos processos industriais do caso estudado, uma iniciativa de cunho gerencial, com sistemática de melhoria contínua dos indicadores pelo método do PDCA, os

resultados obtidos corroboram para inferir sistemática de gestão de riscos eficaz da indústria estudada, para a segurança de seus processos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo rejeita a hipótese nula, revelando que a gestão de segurança do caso estudado, é eficaz na prevenção de acidentes, reduzindo as suas ocorrências progressivamente ao longo do tempo, corroborando para o resultado da segurança industrial.

O estudo de eficácia com base no comportamento relacional entre variáveis mostrou-se relevante para a gestão de riscos, uma vez que possibilita a avaliação de resultados pautada em análise científica consistente para constatação ou rejeição de associações e interferências entre indicadores de desempenho de gestão de riscos,

Por não haver na indústria estudada, método para comprovar a eficácia da gestão, sugere-se o método estudado para refutar o acaso dos resultados de segurança industrial, ou mesmo, para identifica-lo, caso exista, possibilitando alinhamento da sistemática de gestão.

Pela relevância do tema, estudo futuro pode ampliar a pesquisa, para verificação dos impactos da gestão de riscos por unidade gerencial básica do negócio, levado em conta, inclusive, o aspecto econômico-financeiro.

Estudo futuro, também pode ser feito, com modelagem para a aprendizagem de máquina e previsões em gestão de riscos, haja vista, os estimadores obtidos.

REFERÊNCIAS

ABURUMMAN, M.; NEWNAM, S.; FILDES, B. Evaluating the effectiveness of workplace interventions in improving safety culture: A systematic review. **Safety Science**, v. 115, n. January, p. 376–392, 2019.

ACCOU, B.; RENIERS, G. Developing a method to improve safety management systems based on accident investigations: The SAFety FRactal ANalysis. **Safety Science**, v. 115, n. January, p. 285–293, 2019.

AHMAD, K.; GIBB, A.; MCCAFFER, R. SPMT - Development of a computer-aided interactive safety performance measurement tool for construction. **The International Journal of IT in Architecture, Engineering and Construction (IT-AEC)**, V. 3, Issue 1, February 2001.

ALQAHTANI, A. Y.; GUPTA, S. M.; NAKASHIMA, K. Warranty and maintenance analysis of sensor embedded products using internet of things in industry 4.0. **International Journal of Production Economics**, v. 208, n. December 2017, p. 483–499, 2019.

ALTEREN, B.; HOVDEN, J. The safety element method: a user developed tool for improvement of safety management. **Safety Science Monitor**, Vol 1 Issue 3 Article 1, 1997.

AMALBERTI, R. Safety in process-control: An operator-centred point of view. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 38, n. 1–2, p. 99–108, 1992.

AMODEO, D. C.; FRANCIS, R. A. The role of protocol layers and macro-cognitive functions in engineered system resilience. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 190, n. March 2018, p. 106508, 2019.

ANALYSIS, R. et al. International Conference on Hazard Identification and Hazard Control at the Workplace: Research and Development of New Risk Prevention Strategies , Fourth International Symposium of the ISSA Research Section , 22-23 October 1992 , Palais des Congrès , St. v. 28, n. 1991, p. 395–399, 1992.

AVEN, T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research**, v. 253, n. 1, p. 1–13, 2016.

AVIATION, F. Cockpit human factors. [s.d.].

AXON, S. et al. The human factor: Classification of European community-based behaviour change initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 567–586, 2018.

EISNER, H.S., LEGER, J.P. The International Safety Rating System in South African mining. **Journal of Occupational Accidents** 10, 141–160, 1988.

BADRI, A.; BOUDREAU-TRUDEL, B.; SOUISSI, A. S. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? **Safety Science**, v. 109, n. June, p. 403–411, 2018.

BATTMANN, W.; KLUMB, P. Behavioural economics and compliance with safety regulations. **Safety Science**, v. 16, n. 1, p. 35–46, 1993.

BEA, R. G. Human and organization factors: engineering operating safety into offshore structures. **Reliability Engineering and System Safety** 61, 109-126, 1998.

BEHARI, N. Assessing process safety culture maturity for specialty gas operations: A case study. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 123, p. 1–10, 2019.

BESCO, R. O. Human performance breakdowns are rarely accidents: They are usually very poor choices with disastrous results. **Journal of Hazardous Materials**, v. 115, n. 1- 3 SPEC. ISS., p. 155–161, 2004.

BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E. Human factor risk management in the process industry: A case study. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 169, n. August 2016, p. 149–159, 2018.

BIER, V.; GUTFRAIND, A. Risk analysis beyond vulnerability and resilience – characterizing the defensibility of critical systems. **European Journal of Operational Research**, v. 276, n. 2, p. 626–636, 2019.

BOKRANTZ, J. et al. Smart Maintenance: an empirically grounded conceptualization. **International Journal of Production Economics**, n. August, p. 107534, 2019.

BORGONOVO, E. et al. Risk analysis and decision theory: A bridge. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 1, p. 280–293, 2018.

CACCIABUE, P. C. Human factors impact on risk analysis of complex systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 71, n. 1–3, p. 101–116, 2000.

CHASE – Complete Health and Safety Evaluation. **CHASE Evaluation and Audit System**. Website disponível em: <http://www.hastam.co.uk/chase.htm>. Acessado em jun. 2020.

CHOUDHRY, R. M. Behavior-based safety on construction sites: A case study. **Accident Analysis and Prevention**, v. 70, p. 14–23, 2014.

CHOUDHRY, R. M.; FANG, D.; MOHAMED, S. The nature of safety culture: A survey of the state-of-the-art. **Safety Science**, v. 45, n. 10, p. 993–1012, 2007.

COOPER, M. D. et al. Criterion-related validity of the cultural web when assessing safety culture. **Safety Science**, v. 111, n. March 2018, p. 49–66, 2019.

DA SILVA, S. L. C.; AMARAL, F. G. Critical factors of success and barriers to the implementation of occupational health and safety management systems: A systematic review of literature. **Safety Science**, v. 117, n. March, p. 123–132, 2019.

DALENOGARE, L. S. et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for

- industrial performance. **International Journal of Production Economics**, v. 204, n. August, p. 383–394, 2018.
- DANDAGE, R. V. et al. Analysis of interactions among barriers in project risk management. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 14, n. 1, p. 153–169, 2018.
- DECOLA, E.; FLETCHER, S. An Assessment of the Role of Human Factors in Oil Spills from Vessels About the Authors. n. August, p. 1–53, 2005.
- DÖÖS, M.; BACKSTRÖM, T.; SUNDSTRÖM-FRISK, C. Human actions and errors in risk handling - An empirically grounded discussion of cognitive action-regulation levels. **Safety Science**, v. 42, n. 3, p. 185–204, 2004.
- DUPONT. **DuPont Safety Resources**, 2006. Disponível em: www.dupont.com/safety. Acesso em junho de 2019.
- EDWARDS, J. R. D.; DAVEY, J.; ARMSTRONG, K. Returning to the roots of culture: A review and re-conceptualisation of safety culture. **Safety Science**, v. 55, p. 70–80, 2013.
- ELLIOTT, B. S.; ELECTRIC, S. Shifting safety to a pro t center. n. December, p. 44–45, 2018.
- F. BARAJAS, O. M. **Manual de R**. [s.l.] 27/05/2020, 2020.
- F.W, G. The nature of safety culture: a review of theory and research. **Safety Science**, v. 34, n. 1–3, p. 215–257, 2000.
- FLIN, R. et al. Measuring safety climate: Identifying the common features. **Safety Science**, v. 34, n. 1–3, p. 177–192, 2000.
- FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, n. September 2018, p. 15–26, 2019.
- GORDON, R. P. E. The contribution of human factors to accidents in the offshore oil industry. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 61, n. 1–2, p. 95–108, 1998.
- GRANGE, S. K.; LEWIS, A. C.; CARSLAW, D. C. Source apportionment advances using polar plots of bivariate correlation and regression statistics. **Atmospheric Environment**, v. 145, p. 128–134, 2016.
- GUO, C.; WU, X. Spectrum sensing algorithms based on correlation statistics of polarization vector. **Signal Processing**, v. 105, p. 226–242, 2014.
- HAIMES, Y. Y. Risk Modeling of Interdependent Complex Systems of Systems: Theory and Practice. **Risk Analysis**, v. 38, n. 1, p. 84–98, 2018.
- HALE, A. R.; GULDENMUND, F.; GOOSSENS, L. Auditing resilience in risk control and safety management systems. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. (Ed.) **Resilience engineering: concepts and precepts**. London: Ashgate. Cap. 18, pp. 270-295, 2006.
- HAYES, J. Use of safety barriers in operational safety decision making. **Safety Science**, v. 50, n. 3, p. 424–432, 2012.
- HOPKINS, A. Issues in safety science. **Safety Science**, v. 67, p. 6–14, 2014.
- HUDSON, P.; REASON, J.; WAGENAAR, W.; BENTLEY, P.; PRIMROSE, M.; VISSER, J. Tripod Delta: proactive approach to enhanced safety. **Journal of Petroleum Technology**, 58, Jan 1994.

- JUNG, B.; LEE, C. J. Plant layout and blast wall optimization with the consideration of operating conditions and potential explosions. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 132, p. 285–293, 2019.
- KANDEMIR, Ç. et al. Application of human reliability analysis to repair & maintenance operations on-board ships: The case of HFO purifier overhauling. **Applied Ocean Research**, v. 88, n. December 2018, p. 317–325, 2019.
- KOH, D. Occupational health and safety promotion: Problems and solutions. **Safety Science**, v. 20, n. 2–3, p. 323–328, 1995.
- KOREN, I.; KLAMMA, R. Enabling visual community learning analytics with Internet of Things devices. **Computers in Human Behavior**, v. 89, p. 385–394, 1 dez. 2018.
- KUUSISTO, A. Safety management systems: audit tools and reliability of auditing. **Doctor of Technology thesis, Tampere University of Technology**. VTT – Technical Research Centre of Finland, 2001
- LADEWSKI, B. J.; AL-BAYATI, A. J. Quality and safety management practices: The theory of quality management approach. **Journal of Safety Research**, v. 69, p. 193–200, 2019.
- LAY, E.; BRANLAT, M.; WOODS, Z. A practitioner’s experiences operationalizing Resilience Engineering. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 141, p. 63–73, 2015.
- LE COZE, J. C. Reflecting on Jens Rasmussen’s legacy. A strong program for a hard problem. **Safety Science**, v. 71, n. PB, p. 123–141, 2014.
- LE COZE, J. C. How safety culture can make us think. **Safety Science**, v. 118, n. December 2018, p. 221–229, 2019.
- LEE, J.; CAMERON, I.; HASSALL, M. Improving process safety: What roles for digitalization and industry 4.0? **Process Safety and Environmental Protection**, v. 132, p. 325–339, 2019.
- LI, D. et al. Representation of correlation statistics functions in heterogeneous materials using layered fast spherical harmonics expansion. **Computational Materials Science**, v. 48, n. 1, p. 133–139, 2010.
- LI, L. China’s manufacturing locus in 2025: With a comparison of “Made-in-China 2025” and “Industry 4.0”. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 135, n. February 2017, p. 66–74, 2018.
- LINDSAY, F. D. Successful health & safety management. The contribution of management towards safety. USA: **Safety Science**, 1992. Vol. 15, pp 387-402.
- MACNAMARA, A. Dynamic documents with R and Knitr. **Journal of Statistical Software**, v. 56(1), p. 1–4, 2014.
- MORA, P. M. V. bookdown : Authoring Books and Technical Documents with R Markdown . **Journal of Statistical Software**, v. 87, n. Book Review 1, p. 1–4, 2018.
- MOREL, G.; AMALBERTI, R.; CHAUVIN, C. How good micro/macro ergonomics may improve resilience, but not necessarily safety. **Safety Science**, v. 47, n. 2, p. 285–294, 2009.
- MUSHARRAF, M. et al. Human reliability assessment during offshore emergency conditions. **Safety Science**, v. 59, p. 19–27, 2013.
- NÆVESTAD, T. O. et al. Strategies regulatory authorities can use to influence safety culture

- in organizations: Lessons based on experiences from three sectors. **Safety Science**, v. 118, n. May, p. 409–423, 2019.
- NAIKAR, N. Cognitive work analysis: An influential legacy extending beyond human factors and engineering. **Applied Ergonomics**, v. 59, p. 528–540, 2017.
- NATIONAL OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY COMMISSION (NOHSC). OHS Performance Measurement in the Construction Industry: development of Positive Performance Indicators. Canberra: AusInfo, 1999.
- NEAL, A.; GRI, M. A.; HART, P. M. The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. **Safety Science**, v. 34, n. 1, p. 99–109, 2000.
- NORDLÖF, H. et al. A cross-sectional study of factors influencing occupational health and safety management practices in companies. **Safety Science**, v. 95, p. 92–103, 2017.
- OEDEWALD, P.; GOTCHEVA, N. Safety culture and subcontractor network governance in a complex safety critical project. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 141, p. 106–114, 2015.
- OHYVER, M. Pemodelan Principal Component Regression dengan Software R. **ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications**, v. 3, n. 1, p. 177, 2012.
- OLIVE, C.; O’CONNOR, T. M.; MANNAN, M. S. Relationship of safety culture and process safety. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, n. 1- 2 SPEC. ISS., p. 133–140, 2006.
- OSTERRIEDER, P.; BUDDE, L.; FRIEDLI, T. The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. **International Journal of Production Economics**, n. July, p. 107476, 2019.
- PASCUAL-GARCÍA, A. **A constructive approach to the epistemological problem of emergence in complex systems**. [s.l: s.n.]. v. 13
- PATÉ-CORNELL, E.; COX, L. A. Improving Risk Management: From Lame Excuses to Principled Practice. **Risk Analysis**, v. 34, n. 7, p. 1228–1239, 2014.
- PATRIARCA, R. et al. Resilience engineering: Current status of the research and future challenges. **Safety Science**, v. 102, n. August 2017, p. 79–100, 2018.
- PIA, P. Safety of a logistics chain: A case-study. **Logistics Research**, v. 2, n. 3–4, p. 159–163, 2010.
- POLET, P.; VANDERHAEGEN, F.; AMALBERTI, R. Modelling border-line tolerated conditions of use (BTCU) and associated risks. **Safety Science**, v. 41, n. 2–3, p. 111–136, 2003.
- PORTHIN, M.; LIINASUO, M.; KLING, T. Effects of digitalization of nuclear power plant control rooms on human reliability analysis – A review. **Reliability Engineering and System Safety**, n. January, p. 1–13, 2019.
- QUEZADA, L. E. et al. Operational Excellence towards Sustainable Development Goals through Industry 4.0. **International Journal of Production Economics**, v. 190, p. 1–2, 2017.
- R CORE TEAM (2018), R: a language and environment for statistical computing, Vienna, Austria, disponível em: <https://www.R-project.org/> (acesso em 1 jul. 2018).
- RAJ, A. et al. Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. **International Journal of Production Economics**,

n. August, p. 107546, 2019.

RAO, S. Safety culture and accident analysis-A socio-management approach based on organizational safety social capital. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 3, p. 730–740, 2007.

RASMUSSE, J. Human error mechanisms in complex work environments. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 22, n. 1–4, p. 155–167, 1988.

RASMUSSEN, J.; PETERSEN, A.; GOODSTEIN, L. Cognitive systems engineering. New York: John Wiley & Sons. 1994.

RASMUSSE, J. Risk management in a dynamic society: A modelling problem. **Safety Science**, v. 27, n. 2, p. 183–213, 1997.

REASON, J. Human Error. **Applied Ergonomics**, v. 1, p. 302, 1990.

REASON, J. Errors, outcomes and circumventions: A reply to Dougherty. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 46, n. 3, p. 297–298, 1994.

REASON, J. Safety paradoxes and safety culture. London: Ashgate: **Injury Control and Safety Promotion**, 2000. V. 7, N. 1, pp. 3-14.

RIGHI, A. W.; SAURIN, T. A.; WACHS, P. A systematic literature review of resilience engineering: Research areas and a research agenda proposal. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 141, p. 142–152, 2015.

RISTESKA STOJKOSKA, B. L.; TRIVODALIEV, K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1454–1464, 2017.

RODRIGUEZ, A. et al. The R Commander: A Basic-Statistics Graphical User Interface to R. **Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems**, v. 2015-July, n. 9, p. 1902, 2015.

ROUHIAINEN, V. QUASA: A method for assessing the quality of safety analysis. **Safety Science**, v. 15, n. 3, p. 155–172, 1992.

RUIZ-FRUTOS, C. et al. Do companies that claim to be socially responsible adequately manage occupational safety and health? **Safety Science**, v. 114, n. January, p. 114–121, 2019.

RUNDMO, T. Associations Between Risk Perception and Safety. **Safety Science**, v. 24, p. 197–209, 1996.

SASOU, K.; REASON, J. Team errors: Definition and taxonomy. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 65, n. 1, p. 1–9, 1999.

SEPPALA, A. Promoting safety by training supervisors and safety representatives for daily safety work. **Safety Science**, v. 20, n. 2–3, p. 317–322, 1995.

SHANMUGAM, A.; PAUL ROBERT, T. Ranking of aircraft maintenance organization based on human factor performance. **Computers and Industrial Engineering**, v. 88, p. 410–416, 2015.

SHAW, A.; BLEWETT, V. Measuring performance in OHS: using positive performance indicators. Australia and New Zealand: **Journal of Occupational Health and Safety**. 1995. Ed. 11(4), p. 353-358.

- SHAW, A ; BLEWETT, V. What works? The strategies which help to integrate OHS management within business development and the role of the outsider. In: FRICK, K.; JENSEN, P.; QUINLAN, M.; WILTHAGEN, T. **Systematic Occupational Health and Safety Management. Perspectives on an International Development**. Amsterdam: Pergamon. 2000. p. 447-473. 2000.
- SHIRALI, G. A. et al. Assessment of resilience engineering factors based on system properties in a process industry. **Cognition, Technology and Work**, v. 18, n. 1, p. 19–31, 2016.
- SOBRAL, J.; GUEDES SOARES, C. Assessment of the adequacy of safety barriers to hazards. **Safety Science**, v. 114, n. December 2018, p. 40–48, 2019.
- SRINIVASAN, R. et al. Recent developments towards enhancing process safety: Inherent safety and cognitive engineering. **Computers and Chemical Engineering**, v. 128, p. 364–383, 2019.
- STARR, C. Risk Management, Assessment, and Acceptability. **Risk Analysis**, v. 5, n. 2, p. 97–102, 1985.
- STEEN, R.; AVEN, T. A risk perspective suitable for resilience engineering. **Safety Science**, v. 49, n. 2, p. 292–297, 2011.
- STEMN, E. et al. Examining the relationship between safety culture maturity and safety performance of the mining industry. **Safety Science**, v. 113, n. December 2018, p. 345–355, 2019.
- STROEVE, S. H.; BLOM, H. A. P.; (BERT) BAKKER, G. J. Systemic accident risk assessment in air traffic by Monte Carlo simulation. **Safety Science**, v. 47, n. 2, p. 238–249, 2009.
- SYAM, N.; SHARMA, A. Waiting for a sales renaissance in the fourth industrial revolution: Machine learning and artificial intelligence in sales research and practice. **Industrial Marketing Management**, v. 69, p. 135–146, 1 fev. 2018.
- TELUKDARIE, A. et al. Industry 4.0 implementation for multinationals. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 316–329, 2018.
- THEKDI, S.; AVEN, T. An integrated perspective for balancing performance and risk. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 190, n. October 2018, p. 106525, 2019.
- TORTORELLA, G. L. et al. Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers. **International Journal of Production Economics**, v. 219, n. July 2019, p. 284–294, 2020.
- TRAN, T.; HA, Q. P. Dependable control systems with Internet of Things. **ISA Transactions**, v. 59, p. 303–313, 2015.
- VENKATASUBRAMANIAN, V. Systemic Failures: Challenges and Opportunities in Risk Management in Complex Systems. **AIChE Journal**, v. 57, p. 8, 2011.
- VENKATASUBRAMANIAN, V. Pyrolysis of Heavy Oil in the Presence of Supercritical Water: The Reaction Kinetics in Different Phases. **AIChE Journal**, v. 61, n. 3, p. 857–866, 2015.
- VIERENDEELS, G. et al. An integrative conceptual framework for safety culture: The Egg Aggregated Model (TEAM) of safety culture. **Safety Science**, v. 103, n. June 2017, p. 323–339, 2018.

- WACHTER, J. K.; YORIO, P. L. A system of safety management practices and worker engagement for reducing and preventing accidents: An empirical and theoretical investigation. **Accident Analysis and Prevention**, v. 68, p. 117–130, 2014.
- WANG, S. et al. Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. **Computer Networks**, v. 101, p. 158–168, 2016.
- WANG, S.; YANG, J. A probabilistic model for latent least squares regression. **Neurocomputing**, v. 149, n. PC, p. 1155–1161, 2015.
- WARING, A. The five pillars of occupational safety & health in a context of authoritarian socio-political climates. **Safety Science**, v. 117, n. January, p. 152–163, 2019.
- WREATHALL, J. Properties of Resilient Organizations: An Initial View. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D.; LEVESON, N. **Resilience Engineering: Concepts and Precepts**. UK: Ashgate, 2006. Cap. 17, p. 258-268.
- ZHAO, D. et al. Integrating safety culture into OSH risk mitigation: a pilot study on the electrical safety. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 22, n. 6, p. 800–807, 2016.
- ZHOU, L.; CHONG, A. Y. L.; NGAI, E. W. T. Supply chain management in the era of the internet of things. **International Journal of Production Economics**, v. 159, p. 1–3, 2015.
- ZIEMELIS, K. Insight Complex systems. **Nature**, v. 410, n. March, p. 2001, 2001.
- ZOHAR, D. Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 5, p. 1517–1522, 2010.