

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas  
Mestrado Profissional

Dissertação de Mestrado

**PROPOSTA PARA MODELO DE GERENCIAMENTO DE RISCO, VISANDO A  
MITIGAÇÃO DE ACIDENTES AMPLIADOS NA MINERAÇÃO**

Autor: Fernando Discacciati Cruz

Orientador: Prof. Dr. Alizeibek Saleimen Nader

Belo Horizonte

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas  
Mestrado Profissional

Fernando Discacciati Cruz

**PROPOSTA PARA MODELO DE GERENCIAMENTO DE RISCO, VISANDO A  
MITIGAÇÃO DE ACIDENTES AMPLIADOS NA MINERAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas – Mestrado Profissional, da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.

Área de concentração: Tecnologia Mineral e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Alizeibek Saleimen Nader

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2021

C955p

Cruz, Fernando Discacciati.

Proposta para modelo de gerenciamento de risco, visando a mitigação de acidentes ampliados na mineração [recurso eletrônico] / Fernando Discacciati Cruz. – 2021.

1 recurso online (95 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Alizeibek Saleimen Nader.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 87-95.

Bibliografia: f. 80-86.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia de minas – Teses. 2. Tecnologia mineral – Teses. 3. Acidentes de mina – Teses. 4. Gestão de riscos – Teses. I. Nader, Alizeibek Saleimen. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU:622(043)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica,**  
**Materiais e de Minas da UFMG - Mestrado Profissional**

**UFMG**

**PROPOSTA PARA MODELO DE GERENCIAMENTO DE RISCO,  
VISANDO A MITIGAÇÃO DE ACIDENTES AMPLIADOS NA  
MINERAÇÃO**

**FERNANDO DISCACCIATI CRUZ**

**Dissertação submetida à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da UFMG – Mestrado Profissional da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.**

**Aprovada em 20 de maio de 2021.**

**Por:**

---

**Prof. Alizeibek Saleimen Nader, Dr. (UFMG)**  
**Orientador**

---

**Prof. Roberto Galery, Dr. (UFMG)**

---

**Prof. Douglas Batista Mazzinghy, Dr. (UFMG)**

---

**Prof. Giorgio Francesco Cesare de Tomi, Dr. (USP)**

---

**Prof. Pedro Benedito Casagrande, Dr. (UFMG)**

Que a memória daqueles que perderam suas vidas em desastres mineiros seja recordada com reflexão, respeito e serenidade. E que possamos obter as respostas adequadas para a garantia do desenvolvimento sustentável da mineração.

## AGRADECIMENTOS

À minha amada esposa e companheira Tatiane, que sempre esteve ao meu lado, me motivando a superar todos os desafios e compartilhando toda a sua felicidade.

Ao meu pai Alfredo Cruz, que em situações complexas consegue propor soluções práticas por meio de seus valores transmitidos.

À minha mãe Flávia Discacciati, que sempre demonstra o seu amor incondicional.

Ao meu irmão Felipe Cruz, por todos momentos e conversas inspiradoras.

Ao meu orientador e professor Beck Nader, que sempre esteve disponível com seus posicionamentos assertivos e claros, conseguindo promover o estímulo e suporte necessário para a execução deste trabalho.

Aos amigos de mineração, em especial, Ricardo Auzier, Flávio Luiz Pereira, João Calmon, Eric Duarte, Felipe Teixeira, Igor Melo, Gilcério Lopes e William Braga; agradeço a confiança, as oportunidades e os aprendizados.

Ao professor e pesquisador Syed Mohammad Tauseef da *University of Petroleum and Energy Studies* pelo fornecimento de material base para construção deste trabalho.

Aos grandes parceiros de universidade e amigos de vida, Rodrigo Mourão, Lúcio Assis, Renato Nascimento, Rafael Fonseca, Gabriel Torres, Nayder Rommel, Rian Amaral e Tiago Rocha.

Aos colegas e professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas – Mestrado Profissional da UFMG, pela possibilidade de compartilhar conhecimentos e experiências acadêmicas e profissionais.

*“Não existe desenvolvimento sustentável sem a mineração responsável”.*

Julie Michelle Klinger.

## RESUMO

Eventos indesejados e agudos com elevado potencial de fatalidade e latência nos aspectos de danos sociais, ambientais e à saúde física e mental dos seres expostos, onde a gravidade e dimensão excedem os limites espaciais e temporais de sua fonte, são denominados como: acidentes ampliados. Diante deste conceito e com a recorrência de fatos, no âmbito mineiro-metalúrgico, questionamento vieram à tona acerca das boas práticas na mineração brasileira. A dimensão dos danos e a ressonância das vozes das vítimas fomentaram dúvidas sobre a sustentabilidade dos processos mineiros. É possível fazer mineração responsável e produtiva? Quais seriam os papéis e responsabilidades dos envolvidos nestes processos? Quais as práticas e ferramentas necessárias para garantia do desenvolvimento sustentável na mineração? Logo, um estudo que busca resgatar a noção dos desastres ampliados mineiros assume relevância para tentar responder a estes questionamentos. No plano metodológico foi desenvolvido um modelo contínuo de controle e gerenciamento dos sistemas passíveis de falhas, voltado para a mineração. O embasamento do modelo está sobre o estado do conhecimento das técnicas de gerenciamento de risco e análise de acidentes anteriores. A fim de aplicação, foi admitido um protocolo e empregado em duas operações mineiras. Os resultados indicaram que é necessário elevar a aplicação dos conceitos e técnicas de gestão de risco ao setor mineiro, e de posse da compreensão e evolução dos tópicos do modelo desenvolvido, torna-se possível fazer mineração responsável, produtiva e que seus danos, quando houver, possam ser mitigados.

**Palavras-chave:** Acidentes Ampliados, Gerenciamento de Riscos, Gestão de Riscos na Mineração, Gerenciamento de Segurança, Modelo de Gestão de Riscos.

## ABSTRACT

Unwanted and devastating events over a high potential for fatality in the aspects of social, environmental, and physical and mental health of the exposed beings, with gravity and dimension overpass the spatial and temporal borders of their source, are referred to as: major accidents. In view of this concept and the recurrence of facts, in the Brazilian mining-metallurgical sphere, questions have surfaced about risk management practices in mining. The scale of the damage and the resonance of the victims' voices raised doubts about the sustainability of mining processes. Is it possible to do responsible and productive mining? What would be the roles and responsibilities of stakeholders? What practices and tools are needed to guarantee sustainable development in mining? Therefore, a study that seeks to rescue the notion of mining major accidents is relevant to answer these questions. At the methodological level, a continuous model of control and management of systems subject to failure was developed, aimed at mining. The frame of the model is on the knowledge state of risk management techniques and analysis of previous accidents. In order to exemplify, a protocol was admitted and tested in two mining operations. The results indicated that it is necessary to increase the application of risk management concepts and techniques to the Brazilian mining sector, and in possession of the understanding and evolution of the topics of the developed model, it is possible to achieve responsible, productive mining and that its damage, if any, can be mitigated.

**Keywords:** Major Accidents, Risk Management, Mining Risk Management, Safety Management, Risk Management Model.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ocorrências de eventos notificados no PUPAD entre 1941 e 2014. São registrados os tipos de acidentes, tipo de instalações, substâncias envolvidas, causas do acidente e motivações iniciais. Fonte: PUPAD. ....	24
Figura 2 - Gráfico de acidentes ampliados registrados no PUPAD entre 1899 e 2014 por tipo de indústria. Base de dados referente a 6.829 itens notificados com o tipo de indústria. Fonte: PUPAD. ....	25
Figura 3 - Índice de mortalidade (óbitos por evento) em relação ao % total de óbitos total das indústrias que apresentaram descrição na base de dados PUPAD até 2014. Fonte: PUPAD.....	27
Figura 4 - Ocorrência de rompimentos de barragens e óbitos por década, registrados WMTF entre 1915 e 2019. Fonte: Freitas e Silva (2019) adaptado pelo autor por meio de World Mine Tailings Failures. ....	29
Figura 5 - Princípios, estruturas e processos. Fonte: ABNT (2018). ....	35
Figura 6 - Processo de análise para avaliação da segurança e o ciclo de vida do sistema aéreo, EATMP SAM, proposto pela EUROCONTROL. Fonte: EUROCONTROL (2006) adaptado pelo autor por meio de CALIL (2009). ....	43
Figura 7 - Fluxo metodológico para o desenvolvimento do modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltado para acidentes ampliados na mineração. Fonte: O autor (2020). ....	52
Figura 8 - Diagrama de Pareto para os tipos de causas relativos ao número de eventos, baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente. Fonte: Baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente (2020). ....	56
Figura 9 - Diagrama de Pareto para os tipos de causas relativos ao número de óbitos, baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente. Fonte: Baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente (2020). ....	57
Figura 10 - Diagrama de Pareto para os tipos de causas relativos ao número de rompimento, baseado nos 356 registros na base WMTF normatizados com descrições para causas do evento. Fonte: Baseado nos 356 registros na base WMTF normatizados com descrições para causas do evento (2020). ....	58

Figura 11 - Diagrama de Pareto para os tipos de alteamento relativos ao número de rompimento, baseado nos 356 registros na base WMTF normatizados com descrições para causas do evento. Fonte: Baseado nos 356 registros na base WMTF normatizados com descrições para causas do evento (2020).....	59
Figura 12 - Diagrama de Causa e Efeito para as principais causas mapeadas que ensejam acidentes ampliados. Fonte: O autor (2020).....	61
Figura 13 - Modelo de queijo suíço de Reason (1997). Fonte: Yang e Haugen (2018) adaptado pelo autor. ....	62
Figura 14 - Modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração. Fonte: O autor (2020).....	63
Figura 15 - Nível de atendimento e qualificação aos itens do protocolo do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas Fonte: O autor (2020).....	68
Figura 16 - Nível de atendimento e qualificação aos itens do protocolo do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas. Fonte: O autor (2020).....	68
Figura 17 - Resultado métrico da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 1. Fonte: O autor (2020).....	71
Figura 18 - Resultado métrico da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 2. Fonte: O autor (2020).....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acidentes ampliados na mineração chinesa de carvão mineral com mais de cem óbitos, análise de 1949 a 2009.....	28
Tabela 2 - Acidentes ampliados de maiores magnitudes envolvendo barragens de mineração. Registros entre os anos 1915 a 2019.....	30
Tabela 3 - Metodologia para classificação de risco, técnicas de desenvolvimento e produtos. ....	33
Tabela 4 - Aplicabilidade das ferramentas utilizadas para o processo de avaliação de riscos.....	38
Tabela 5 - Descritivos das classificações do tipo de causa para análise, baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente. ....	55
Tabela 6 - Descritivos das operações mineiras diagnosticadas por meio do protocolo MCCG. ....	70
Tabela 7 - Painel de resultados da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 1. ....	71
Tabela 8 - Painel de resultados da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 2. ....	72
Tabela 9 - Compilado do resultado métrico da aplicação do protocolo MCCG nas OPERAÇÃO 1 e 2.....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AAA – Análise de Acidentes Anteriores
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APR – Análise Preliminar de Risco
- ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
- ANM – Agência Nacional de Mineração
- ASNZS – *Australian Standard New Zeland*
- BASF – *Badische Anilin-und Soda-Fabrik*
- CEO – *Chief Executive Officer*
- COL C – Índice de Escala Global para Rompimento de Barragem
- EATMP SAM – *European Air Traffic Management Programme Safety Assessment Methodology*
- EUROCONTROL – *European Organization for the Safety of Air Navigation*
- ETA – *Event Tree Analysis*
- EUA – Estados Unidos da América
- FAA – *Federal Aviation Administration of United States of America*
- FAB – Força Aérea Brasileira
- F&EI – *Fire and Explosion Index*
- FHA – *Functional Hazard Assessment*
- FMEA – Failure Mode and Effect Analysis
- FTA – *Fault Tree Analysis*
- G-MIRM – *Global Minerals Industry Risk Management*
- HAZOP – *Hazard and Operability Study*
- IPHECA – *International Programme on the Health Effects of the Chernobyl Accident*
- ISO – *International Organization for Standardization*
- JAA – *European Joint Aviation Authorities*
- LACASEMIN – Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração
- LOPA – *Layers of Protection Analysis*
- MCCG – Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas
- MIC – Isocianato de Metila

MISHC – *Mineral Industry Safety and Health Centre*  
MHIDAS – *Major Hazard Incident Data Service*  
NR – Norma Regulamentadora  
OSHA – *Occupational Safety and Health Administration*  
OMS – Organização Mundial da Saúde  
PMI/EPUSP – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica  
PRA – *Probabilistic Risk Assessments*  
PSMP – *Process Safety Management Program*  
PSSA – *Preliminar System Safety Assessment*  
PUPAD – *Pondicherry University Process-industry Accident Database*  
SAE – *Society of Automotive Engineers*  
SRA – *Society for Risk Analysis*  
SSA – *System Safety Assessment*  
UNEP – *United Nations Environment Programme*  
USP – Universidade de São Paulo  
WMTF – *World Mine Tailings Failures*  
ZAS – Zona de Autossalvamento

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
3.1. DA COMPREENSÃO DOS ACIDENTES AMPLIADOS .....	21
3.2. DO CENÁRIO MINEIRO PARA ACIDENTES AMPLIADOS .....	26
3.3. O ESTADO DO CONHECIMENTO APLICADO AO GERENCIAMENTO DE RISCO .....	31
3.3.1. Das definições, conceitos e referências aplicadas à gestão de riscos. ....	31
3.3.2. Das práticas de mercado para o gerenciamento de risco .....	39
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>51</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>53</b>
5.1. A OBSERVÂNCIA DAS INVESTIGAÇÕES ANTERIORES COMO ELEMENTO MODELADOR.....	54
5.2. UM RECORTE SOBRE AS MOTIVAÇÕES DE ACIDENTES AMPLIADOS	54
5.3. VISÃO GERAL DAS MOTIVAÇÕES DE ACIDENTES EM BARRAGENS DE MINERAÇÃO .....	58
5.4. AS ANÁLISES DE ACIDENTES ANTERIORES E A PROPOSTA PARA UM MODELO CONTÍNUO DE CONTROLE E GERENCIAMENTO DE RISCO DE SISTEMAS PASSÍVEIS DE FALHAS .....	60
5.5. APLICAÇÃO DO MODELO CONTÍNUO DE CONTROLE E GERENCIAMENTO DE RISCO DE SISTEMAS PASSÍVEIS DE FALHAS .....	65
5.5.1. Protocolo para aplicação do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração. ....	65
5.5.2. Exemplo de aplicação: emprego do protocolo do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Risco voltados para riscos maiores no setor mineiro-metalúrgico. ....	69
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>76</b>

6.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS E IDENTIFICAÇÃO DAS CONTRIBUIÇÕES .....	77
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	79
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO – PROTOCOLO MCCG.....</b>	<b>88</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na atual conjuntura, há uma perplexidade diante da sociedade, não somente brasileira como também global, sobre a sustentabilidade das operações mineiro-metalúrgicas e a segurança de seus ativos com influências maiores sobre seus *stakeholders*. É fato que os eventos indesejados, com impactos que se amplificam no espaço e no tempo, denominados como acidentes ampliados, ocorridos em solo brasileiro, abalam a confiança de todo o sistema de prevenção e controle de riscos. Além disso, tais ocorrências contribuem diretamente para essa hesitação do corpo social, sendo três rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, com vítimas fatais e devastação ambiental, em um intervalo de um pouco mais de quatro anos.

Trata-se primeiramente do rompimento da barragem B1 da mineradora Herculano, em Itabirito-MG, no dia 10 de setembro 2014, vitimando três pessoas, ferindo outras sete e impactando ambientalmente o rio das Velhas (FEAM, 2015).

O rompimento do barramento de Fundão, da mineradora Samarco, no dia 05 de novembro de 2015, compreendido como o maior desastre socioambiental da história brasileira e o maior do mundo envolvendo barragens de rejeitos, causou a destruição total dos distritos de Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo em Mariana-MG. Ademais, a catástrofe vitimou 19 pessoas e deixou cidades alastradas de dor e incertezas sobre os seus destinos, visto que a mineração é a base econômica da região em caráter secular, conforme apontado por Milanez *et al.* (2016).

Não obstante, tivemos, no dia 25 de janeiro de 2019, o rompimento da barragem B1 da mina de Córrego do Feijão, sob responsabilidade da VALE S.A., no município de Brumadinho-MG, vitimando 270 pessoas, sendo 11 desaparecidos até o momento da confecção do estudo. A onda de rejeito de mineração atingiu o rio Paraopeba, causando danos ambientais e impactos sociais em 3.485 pessoas de imediato, aproximadamente dez por cento da população de Brumadinho, segundo dados do censo demográfico de 2010, elaborado pelo Núcleo de Geoprocessamento (LIS/ICICT/Fiocruz)<sup>1</sup>, apontado em nota técnica por Barcellos *et al.* (2019).

Obviamente, um acidente ampliado acarreta mais impactos na sociedade do que acidentes laborais. Embora não seja o foco dessa análise, trata-se de um outro

---

<sup>1</sup> Laboratório de Informação em Saúde - LIS / Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT/Fiocruz).

viés que precisamos debater na mineração e traremos para reflexão. Segundo Candian (2018), embora haja, nos últimos anos, uma redução significativa na taxa de lesões e acidentes na mineração brasileira, o número e o grau de severidade ainda são altos para os padrões industriais. Em *Health and Safety in Brazilian Mines: A Statistical Analysis*, apresentado por Campos *et al.* (2019) é exposto que indústria extrativa é a quarta atividade em relação à taxa de incidência de acidentes laborais entre os setores econômicos brasileiros e a primeira na taxa de mortalidade. Impulsionado, principalmente, de forma negativa pelos riscos e impactos presentes nas atividades mineiras de estanho, carvão, manganês, areia, argila e agregados. Por um outro lado, observa-se que as grandes companhias mineiras investem em políticas preventivistas em saúde e segurança do trabalho, aplicando práticas atuais e de modelo de classe mundial em suas operações.

É fato, também, que acidentes industriais ampliados e laborais não são especificidades do serviço mineiro. Tal afirmação, comprova-se pelo fato de termos uma lamentável e extensa lista de acidentes maiores em setores e regiões diversas, tais como a Tragédia de Bhopal, na Índia, em 02 de dezembro de 1984, a qual foi considerada como o pior acidente químico do mundo. Contudo, apesar de haver discrepâncias consideráveis em relação aos números do desastre, Evan e Manion (2002) relatam que o acidente tenha vitimado algo em torno de 14.000 pessoas e uma projeção de mais de 30.000, com danos permanentes à saúde, após intoxicação por gás de Isocianato de Metila (MIC), por ocasião do vazamento de 41 toneladas de um tanque de armazenamento da indústria norte americana *Union Carbide Corporation*. Números oficiais do banco de dados *Major Hazard Incident Data Service* (MHIDAS) registram 2.001 fatalidades de acordo com Carol, Vilchez e Casal (2005).

Na atual cidade fantasma de Pripjat, Ucrânia, em 26 de abril de 1986, acontecia o pior desastre nuclear da história. Após a explosão do reator 4 da usina nuclear soviética de Chernobyl, onde, de acordo com *International Programme on the Health Effects of the Chernobyl Accident* (IPHECA), houve uma radioatividade liberada em 200 vezes maior que a das bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki combinadas. Oficialmente são 31 óbitos diretos da tragédia. Em contrapartida, a Organização Mundial da Saúde (OMS) diz algo em torno de 9.000 vítimas fatais por males associados à radiação. Para evidenciar o impacto do desastre dentro do contexto socioambiental, político e científico, Freitas (2000), no livro “Acidentes

industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção”, expõe como a tragédia de Chernobyl traduz a consequência de um acidente ampliado:

A importância dos acidentes ampliados está contida no fato, amplamente demonstrado no caso de Chernobyl, de que pela primeira vez o homem, por meio de atividades concebidas para garantir seu próprio progresso e nível de vida, pode produzir um nível de destruição capaz de matar grandes números de civis; abalar os alicerces da estrutura econômica e política não apenas do país onde o acidente foi produzido mas também de seus vizinhos; ameaçar em uma escala massiva as capacidades reprodutivas humanas e resultar em enormes danos ao meio ambiente (FREITAS, 2000, p 108).

Sabemos que nenhum empreendimento é projetado e gerenciado para falhar, colapsar e causar desastres e danos à vida humana e ao meio-ambiente. Entretanto, a engenharia, dentro de suas limitações tecnológicas, projeta com margens de segurança estabelecida, por meio de conhecimentos empíricos, porém sem contemplar, em sua plenitude, todas as possibilidades de ocorrências de falhas e colapso. Essa incidência aliada às lacunas de gerenciamento de ativos, não desenvolvimento de novas tecnologias e soluções, sistemas de fiscalização ineficientes, baixo investimento no setor e morosidade nas ações governamentais, potencializam os acidentes laborais e desastres ampliados.

## **2. OBJETIVOS**

Diante dos cenários apresentados e da dubiedade da confiança social sobre a segurança dos processos minero-metalúrgicos e a indispensabilidade da mineração para o desenvolvimento e manutenção da vida, surgem os objetivos deste estudo, cuja pretensão seja responder por meio de um modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, baseado em técnicas de gerenciamento de riscos, análise de eventos passados, suas correlações, causas raízes e lições aprendidas, como fazer mineração responsável, produtiva, com ativos em classe mundial e que seus danos, quando houver, possam ser mitigados.

O modelo proposto estabelece como condição de contorno as análises fundamentadas nos impactos maiores causados por acidentes graves. Outros

elementos de riscos, como laborais, de negócios e de meio-ambiente estão fora do escopo de análise aqui proposto.

## **2.1. Objetivos Gerais**

O presente estudo tem como objetivo geral, apresentar à comunidade acadêmica e profissional o modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração e responder, por meio da aplicação do protocolo do modelo empregado em duas operações mineiras, como é possível obter um processo de gerenciamento de risco que proporcione operações mínero-metalúrgicas responsáveis, sustentáveis e produtivas.

## **2.2. Objetivos específicos**

São objetivos específicos desta pesquisa:

- ✓ Apresentar o contexto histórico e atual dos acidentes ampliados na mineração.
- ✓ Analisar os cenários de acidentes ampliados mineiros diante de outras indústrias.
- ✓ Identificar as principais causas que ensejam acidentes maiores na mineração.
- ✓ Expor as principais motivações de rompimentos de barragens de mineração e dimensões de impactos.
- ✓ Propor as atuações e responsabilidades dos envolvidos nos processos de gerenciamento de riscos na mineração, por meio dos elementos do modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas
- ✓ Fomentar estudos multiplicadores para garantia da segurança operacional e de processos no setor mínero-metalúrgico.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tratará de introduzir ao leitor a compreensão relativa ao termo acidentes ampliados, assim como o contexto envolvendo as operações mineiras e demais indústrias. Serão apresentadas as bases de dados fundamentadoras deste estudo e uma síntese a respeito do estado do conhecimento aplicado ao gerenciamento de risco.

#### 3.1. Da Compreensão dos Acidentes Ampliados

A definição acerca do conceito de acidente industrial ampliado aqui apreciado, advém de Freitas *et al.* (2000, p 17), onde esses acidentes são definidos como: “Eventos agudos com potencial para causar simultaneamente múltiplos danos, sociais, ambientais e à saúde física e mental dos seres humanos expostos”. Considera-se, portanto, que a caracterização dos acidentes ampliados não se trata apenas do potencial de vitimização, entretanto da gravidade e da dimensão dos seus limites espaciais, ultrapassando as fronteiras das instalações industriais, como: bairros, cidades, estados e países. Procede-se também da particularidade temporal dos eventos, cujos danos se ampliam futuramente na população e meio exposto, como: carcinogênese, mutagênese, impactos socioeconômicos, psicológicos e ambientais.

Um segundo ponto de vista, e talvez o pioneiro na conceituação de acidentes ampliados, seria o da Diretiva do Conselho (1982, p. 229), até então Comunidades Europeias, onde são classificados como “acidentes maiores” e derivam-se de:

uma ocorrência, tal como uma emissão, incêndio ou explosão envolvendo uma ou mais substâncias químicas perigosas, resultando de um desenvolvimento incontrolável no curso da atividade industrial, conduzindo a sérios perigos para o homem e o meio ambiente, imediatos ou a longo prazo, internamente e externamente ao estabelecimento.

Observa-se que, embora haja um esforço na evolução do conceito ao longo das atualizações da Diretiva, ainda não há a consideração de outros impactos além dos já citados, como: propriedade, saúde física, meio ambiente e finanças. É também de notar o enfoque nas substâncias químicas perigosas e os meios de

impactos: emissão, incêndio e explosão. Dessa forma, e buscando uma abrangência maior do conceito, consideraremos a proposta de Freitas *et al.* (2000).

A compreensão acerca do presente faz-se, em regra, analisando o passado. Não sendo diferente para o contexto histórico dos acidentes laborais ampliados. Observa-se que conforme certas classes de acidente são reduzidas, outras, por meio de mecanismos de causas desconhecidas, ou não, começam a surgir. Aliado a isto, temos o fato de que a demanda de consumo e conseqüentemente a exposição ao risco cresce em caráter geométrico junto aos novos empreendimentos, porém, muitas vezes, a evolução dos sistemas de gerenciamento, tecnologias e soluções não acompanham esse avanço. Contudo, é necessário aprender com o passado.

A evolução dos acidentes industriais ampliados relaciona-se com o desenvolvimento dos processos manufaturados e incremento da demanda de consumo em nível internacional e brasileiro, advindo do cenário pós Segunda Guerra Mundial. Em decorrência do crescimento econômico, aliado à inserção no mercado de novos materiais e produtos e avanços nos meios tecnológicos, expandiu-se o parque industrial, assim como o aumento das dimensões e complexidade das instalações industriais.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, *United Nations Environment Programme* (UNEP), já destacava, em 1992, que a expansão das indústrias e meios manufatureiros de produção, armazenamento e transporte de substâncias químicas em nível global possibilitaria impactos no cenário socioambiental, por meio do aumento da exposição dos trabalhadores, comunidades e ambiente, inseridos na perspectiva de riscos e perigos industriais (UNEP, 1992).

Aliados ao desenvolvimento dos processos manufaturados e à expansão das plantas industriais, destacam-se alguns fatores que intensificam o risco e os impactos dos acidentes ampliados, sendo o primeiro a localização de comunidades em área de exposição e risco com as indústrias. O incêndio na Vila Socó em Cubatão-SP, em 1984, que sensibilizou o Brasil com números oficiais de 93 óbitos e extraoficial superior a 500 vítimas fatais é um exemplo das ocupações, muitas vezes desordenadas, que aumentam os danos em uma tragédia ampliada. Em segundo, as limitações tecnológicas e de conhecimento parcial dos perigos, aspectos e impactos das operações e processos de alto risco. Como destaque, pode-se mencionar a explosão de Oppau, Alemanha, que já, em 1921, demonstrava a importância de se conhecer todos os perigos e aspectos das particularidades

tecnológicas do processo de fabricação. A explosão ocorreu em uma fábrica de fertilizantes da *Badische Anilin-und Soda-Fabrik* (BASF), quando um silo de armazenamento, com 4.500 toneladas de uma mistura de sulfato de amônia e nitrato de amônia, explodiu, matando 561 pessoas e ferindo 1952, após uma operação de desobstrução do material com uso de dinamite.

Por fim, não menos importante, a capacidade de resposta imediata e *post mortem* dos eventos. Os rompimentos consecutivos dos barramentos de alteamento para montante das mineradoras, em solo brasileiro, exemplificam as deficiências governamentais, empresariais e de engenharia nas tomadas de decisão e gerenciamento de risco dos ativos.

O fenômeno de expansão do parque industrial e das capacidades operantes, aliados aos fatores aqui citados, potencializa a ocorrência de eventos acidentais em grandes amplitudes na indústria, destacando-se, em um primeiro momento, os eventos em processos químicos de manufatura. A Figura 1 traduz o registro, entre os anos 1941 e 2014, do sistema de notificação de acidente na indústria de processo, *Pondicherry University Process-industry Accident Database*<sup>2</sup> (PUPAD), que diz respeito a um banco de dados de código aberto para ajudar na análise de acidentes (TAUSEEF *et al.*, 2011). Dos 9.435 eventos registrados no período, observamos 55.499 óbitos, com destaque para a década de 80, com acidentes como: Bophal, na Índia, e as explosões de San Juan Ixhuatepec, no México, que intensificam os números. Ademais, cabe ressaltar que por mais eficiente e completo que seja o banco de notificações, haverá sempre registros pendentes em sua base. Como consequência o número global é notavelmente maior que observado nesta análise.

---

<sup>2</sup> O *Pondicherry University Process-industry Accident Database* (PUPAD) desenvolvido em 2010 por Tauseef, Tasneem Abbasi e Abbasi, do centro para controle de poluição e engenharia ambiental da Universidade de Pondicherry, Índia. Tem como objetivo estabelecer um banco de dados de código aberto e abrangente, para fomentar o intercâmbio de lições aprendidas e aprimorar a prevenção e mitigações dos efeitos acidentais, por meio de um compilado de análises dos eventos anteriores. Pode ser gratuitamente acessado na rede. Os autores autorizam a reprodução total e parcial, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que o usuário reconheça os autores com referência.

Disponível em <https://www.elsevier.com/search-results?searchTerm=abbasi>. Acesso em 04 jul. 2020.

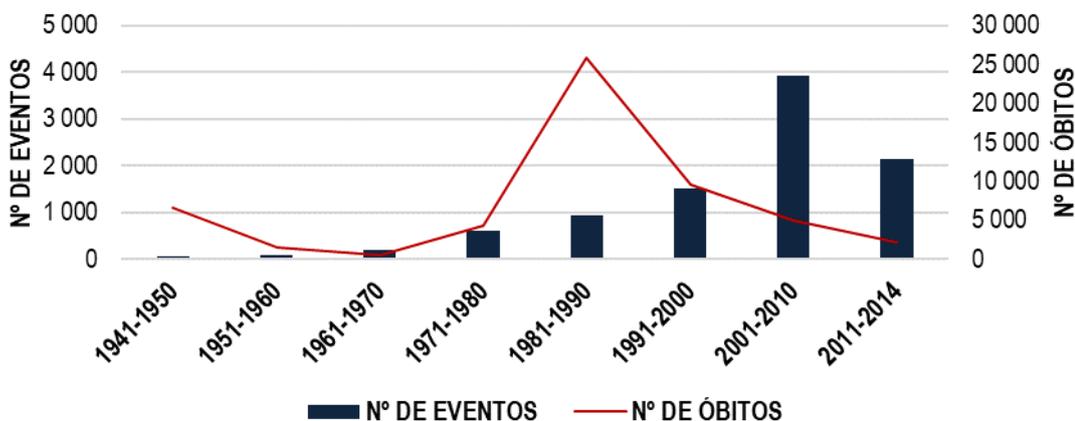


Figura 1 - Ocorrências de eventos notificados no PUPAD entre 1941 e 2014. São registrados os tipos de acidentes, tipo de instalações, substâncias envolvidas, causas do acidente e motivações iniciais.  
Fonte: PUPAD.

Do total de 6.829 eventos que foram notificados de acordo com o tipo de indústria de ocorrência, como verifica-se por meio da Figura 2, entre as que tiveram maior quantidade de frequência, encontram-se em primeiro lugar as indústrias de produtos químicos, com 2.633 acidentes (38,6%), em segundo as indústrias petroquímicas e refinarias de petróleo, com 949 eventos registrados no PUPAD, (13,9%), seguidos pelo setor de armazenamento de produtos perigosos, 510 registros (7,5%) entre os anos de 1899 e 2014.

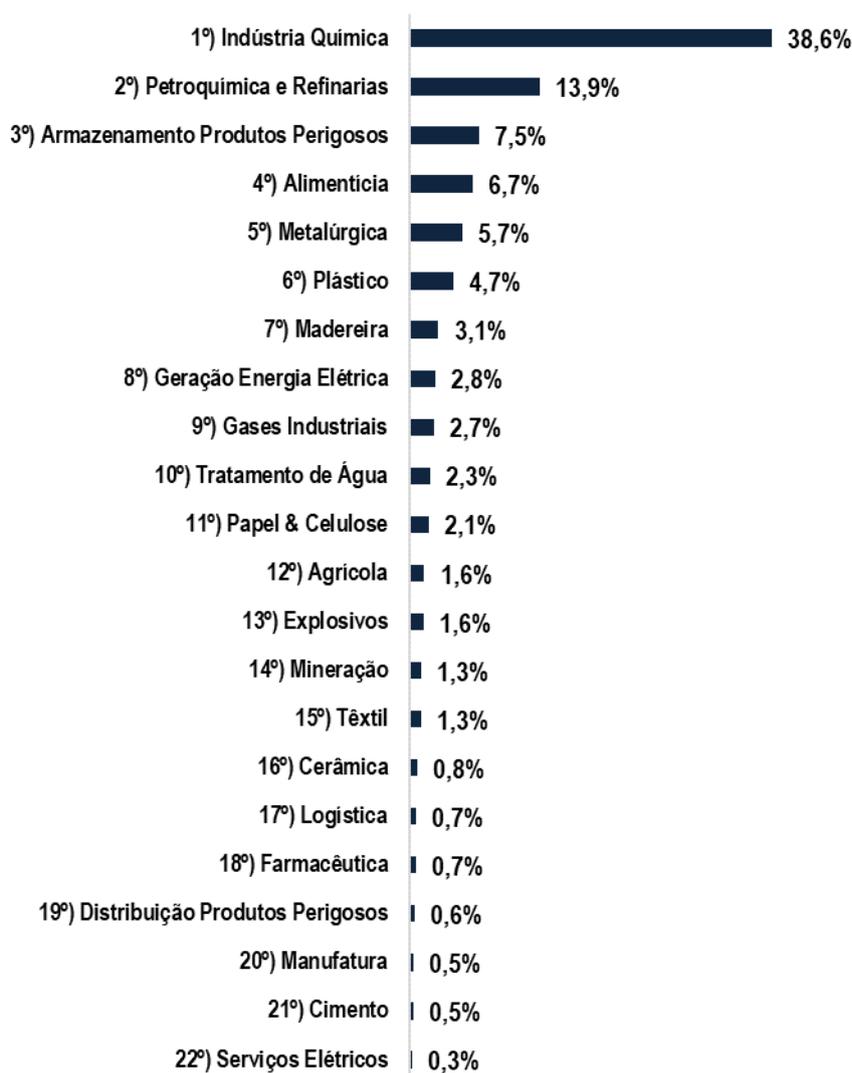


Figura 2 - Gráfico de acidentes ampliados registrados no PUPAD entre 1899 e 2014 por tipo de indústria. Base de dados referente a 6.829 itens notificados com o tipo de indústria. Fonte: PUPAD.

Embora os dados apresentados provenham de um compilado de fontes, PUPAD, há limitações amostrais e foco no parque industrial de processos químicos, que não representa a magnitude global existente, como por exemplo a dispensa ampla de dados de mineração. Pode-se auferir algumas conclusões bastante gerais: as indústrias que mais concentram acidentes ampliados são: indústria de produtos químicos, petroquímica e refinarias de petróleo, sendo as atividades de produção, manuseio e transporte as responsáveis pela maioria dos registros. Via de regra, explosões e incêndios são os principais causadores dos óbitos imediatos de grande número de pessoas (trabalhadores e comunidades próximas). Como já trazido por Freitas *et al.* (2000), não significa que os acidentes envolvendo emissões, mesmo por meio da combustão, em transporte ou produção sejam menos graves. Porém,

caracterizam-se mais por impactos sobre a saúde no longo prazo, atingindo, em termos quantitativos, igualmente trabalhadores e comunidades.

### **3.2. Do Cenário Mineiro para Acidentes Ampliados**

Conforme Freitas *et al.* (2000) expõe, os grandes acidentes, no desenvolvimento da civilização industrial, foram produzidos no processo de mineração de carvão, portanto, parte de suas vítimas são os próprios mineiros. Os acidentes ampliados de Courrières, Monoongha e Senghenydd são exemplos clássicos deste cenário<sup>3</sup>.

De acordo com os dados PUPAD, acidentes envolvendo diretamente a indústria da mineração, correspondem a 89 (1,3%) de um total de 6.829 notificações, sendo inexistente registros em solo brasileiro. Decerto, a observância da construção deste memorial não contempla uma amostra fidedigna das operações mineiras globais, além disso os registros dos acidentes em mineração estão no espaço temporal entre os anos de 2001 e 2012, não amparando as ocorrências anteriores à data. A Figura 3, ilustra o comportamento do contexto mineiro presente no PUPAD. O antagonismo ao analisar a imagem ocorre quando nos deparamos com a advertência de que a mineração não é a mais frequente em termos de eventos (14º de acordo com a Figura 2), entretanto, detém o maior índice de mortalidade, 16,5 óbitos por eventos notificados, cerca três vezes superior ao índice da indústria química, 5,5 óbitos por evento.

---

<sup>3</sup> O acidente de Courrières, França, resultou na morte de 1.101 mineiros em 1906. Monongha, EUA, matou 361 em 1907 e o da Universal Colliery em Senghenydd, Grã-Bretanha, matou 439 pessoas em 1913 (FREITAS *et al.*, 2000).

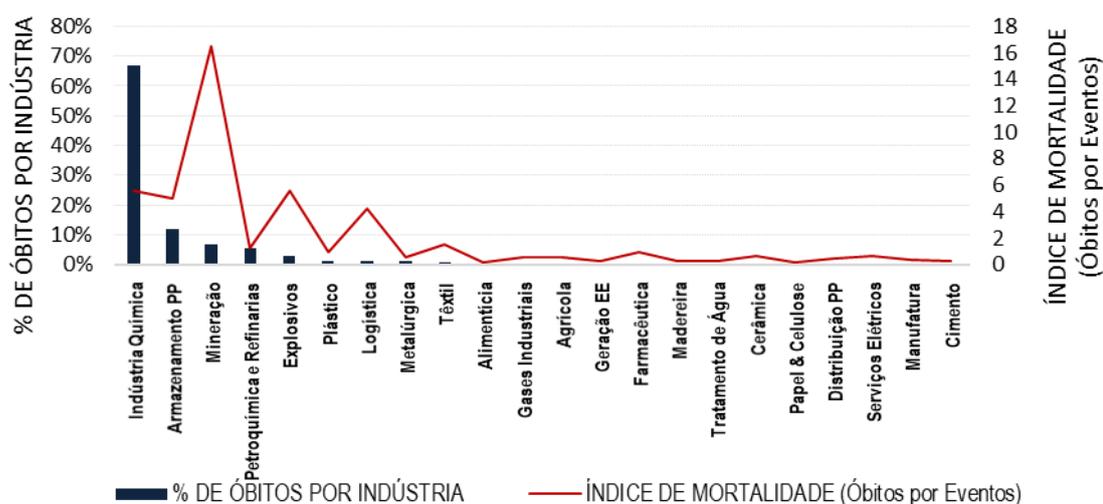


Figura 3 - Índice de mortalidade (óbitos por evento) em relação ao % total de óbitos total das indústrias que apresentaram descrição na base de dados PUPAD até 2014. Fonte: PUPAD.

Complementando o PUPAD, citamos o estudo de Lirong *et al.* (2011), que a fim de obter uma análise direta da mineração, revisar a situação das operações de carvão chinesa e proporcionar informações sobre os principais aspectos acidentais, investigou, somente na mineração de carvão da China, os 26 grandes acidentes, entre os anos de 1949 e 2009, cada um dos quais levou a mais de 100 óbitos.

Dado às devidas especificidades da mineração de carvão, em sua maioria com operações subterrâneas, com alta exposição a gases e poeiras inflamáveis e baixo emprego tecnológico, observa-se que apenas um, dos 26 acidentes ampliados na mineração de carvão chinesa, objeto do estudo de Lirong *et al.* (2009), resultou de um rompimento de barragem. Entretanto, este item, como pode ser analisado na Tabela 1, é o maior potencial de óbito por evento, visto que apenas um rompimento de barramento reflete em 7% dos óbitos totais da amostra analisada.

Tabela 1 - Acidentes ampliados na mineração chinesa de carvão mineral com mais de cem óbitos, análise de 1949 a 2009.

EVENTO ACIDENTAL	NÚMERO DE EVENTOS	% EVENTOS	ÓBITOS TOTAIS	% ÓBITOS	ÓBITOS POR EVENTO
Explosão por Gases Inflamável	10	38%	1.436	34%	144
Explosão por Gases e Poeiras de Carvão Inflamável	7	27%	931	22%	133
Explosão por Poeiras de Carvão Inflamável	5	19%	1.182	28%	236
Inundação	2	8%	293	7%	147
Incêndio	1	4%	110	3%	110
Rompimento de Barragem	1	4%	276	7%	276
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>	<b>4.228</b>	<b>100%</b>	<b>163</b>

Fonte: Lirong *et al.* (2009) adaptado pelo autor.

Em um primeiro momento, especialmente sobre eventos de rompimento de barragens, sugere-se uma excepcionalidade diante das demais causas, porém conforme Freitas e Silva (2019) afirmam, são mais frequentes do que se imagina. Dados trazidos da base *World Mine Tailings Failures (WMTF)*<sup>4</sup>, que cobre um período de aproximadamente 104 anos (1915 a 2019) com um total de 356 registros, evidencia, por intermédio da Figura 4, um crescimento dos eventos, principalmente, a partir da década de 1960. Com referência aos óbitos registrados, nota-se que ascendência acompanha os números de falhas ao longo dos anos 1960, com uma posterior redução nas décadas seguintes, porém com elevação a partir dos anos 1990, sendo também, incrementado a relação de falhas muito graves e graves perante as demais.

<sup>4</sup> Banco de dados com registro de falhas e eventos adversos significativos em todos os componentes envolvidos na deposição e armazenamento de rejeitos minerais. O ímpeto original para a criação do compilado é fomentar recurso significativo de dados para análise de tendências, causas e consequências. Pode ser gratuitamente acessado na rede. Os autores autorizam a reprodução total e parcial, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que reconheça os créditos autorais com referência: <https://worldminetailingsfailures.org>.

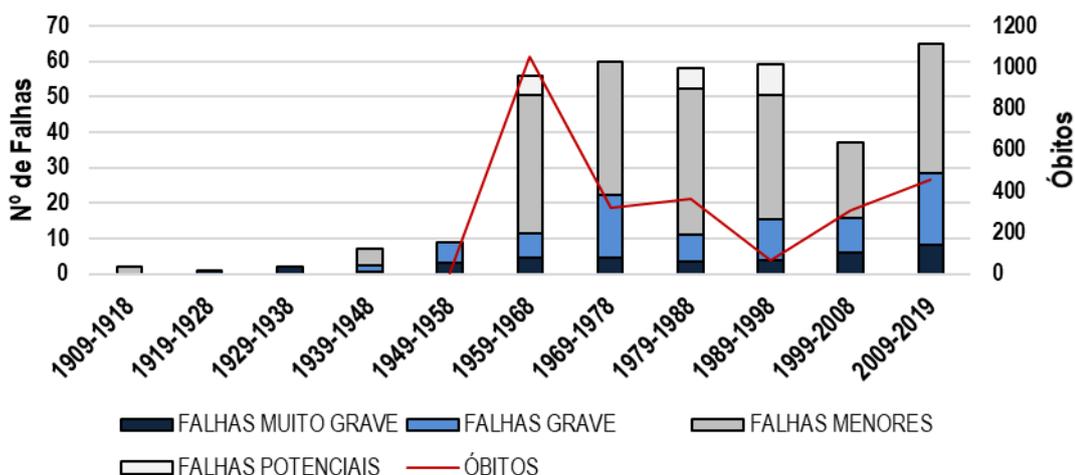


Figura 4 - Ocorrência de rompimentos de barragens e óbitos por década, registrados WMTF entre 1915 e 2019. Fonte: Freitas e Silva (2019) adaptado pelo autor por meio de World Mine Tailings Failures.

A partir da seleção referencial do percentil 95 dos maiores índices de magnitude Col  $c^5$  das ocorrências de rompimento de barragens da base de dados WMTF, podemos verificar, recorrendo a recorrendo a Tabela 2, que ao longo dos últimos anos esses tipos de eventos são relativamente recorrentes e de alto potencial de vitimização. De forma alarmante, Bowker e Chambers (2015), em um estudo dos modos de colapso em sistemas de barragens de mineração e análise dos eventos entre anos de 1990 a 2010, confirmam a ascensão da proporção de falhas graves e muito graves nas décadas mais recentes, evidenciando que a incidência desses eventos está se tornando cada vez mais frequente.

<sup>5</sup> O índice de magnitude (Col c) indica a escala global de um rompimento de barragem, com base em: volume liberado, distância atingida e óbitos. A base referencial do índice é pertinente à década de 1991 a 2000. A pontuação para cada componente é a razão não ponderada da medida do evento para a medida média da década referencial.

O memorial de cálculo do índice de magnitude (Col c) é expresso por:  $\sum (\text{Volume Liberado (m}^3) / 1.896.653 \text{ m}^3); (\text{Distância Atingida (km)} / 39 \text{ km}); (\text{N}^\circ \text{ Óbitos} / 14 \text{ óbitos})$ . Onde os valores 1.896.653 m<sup>3</sup>, 39 km e 14 óbitos, são as respectivas médias de volume liberado, distância atingida e óbitos da década de 1991 a 2000, base de referência deste índice. Fonte: World Mine Tailings Failures.

Tabela 2 - Acidentes ampliados de maiores magnitudes envolvendo barragens de mineração. Registros entre os anos 1915 a 2019.

ÍNDICE MAGNITUDE (Col c)	OPERAÇÃO MINEIRA	PAÍS	MINÉRIO	ALTEAMENTO	VOLUME LIBERADO (km³)	ÓBITOS	ANO
41,4	Samarco   Barragem de Fundão	Brasil	Fe	Montante	45.000	19	2015
35,3	Mina de Mir   Sgorigrad	Bulgária	Pb Zn	Montante	450	488	1966
28,0	Córrego do Feijão   VALE	Brasil	Fe	Montante	12.000	270	2019
21,7	Los Cedros, Talpujahua, Michoacán	México	Au Ag	Montante	N/I	300	1937
19,5	Mina Prestavel Mine   Mineração Prealpi	Itália	F	Montante	200	269	1985
18,3	Tahsan   Mining Co. Taoshi	China	Fe	Montante	268	254	2008
18,3	Huogudu   Yunnan Tin Group Co.	China	Sn	Montante	11.356	171	1962
17,0	Tabu, Nº 2 Tailings   Padcal (Philex)	Philipinas	Cu	N/I	32.243	0	1992
15,6	El Cobre Old Dam	Chile	Cu	Montante	1.900	200	1965
12,6	Imperial Metals   Mt Polley	Canadá	Cu Au	Linha de Centro	23.600	0	2014
10,8	Buffalo Creek   Pittson Coal Co.	EUA	Carvão	N/I	500	125	1972
10,4	Aberfan Colliery	Pais de Gales	Carvão	N/I	162	144	1966
8,9	Bafokeng   Morensky Tailings dam	África do Sul	Pt	Montante	13.000	13	1974
8,2	Hpakant	Myanmar	Jade	N/I	N/I	115	2015
7,8	Cities Service Phosphate	EUA	P	N/I	9.000	0	1971
6,9	Padcal Nº 3 - (Philex)	Philipinas	Au Cu	Montante	13.000	0	2012
6,5	Certej Gold Mine	Romênia	Au	N/I	300	89	1971
6,4	Mufulira   Roan Consolidated Mines	Zâmbia	Cu	N/I	68	89	1970

N/I: não informado

Fonte: Freitas e Silva (2019) adaptado pelo autor por meio de World Mine Tailings Failures.

Previamente, mediante ao enfoque sobre acidentes ampliados nas indústrias químicas e petroquímicas, poder-se-ia afirmar que os eventos maiores em operações mineiras seriam uma singularidade. Entretanto, eles possuem frequências dignas de atenção, segundo os estudos citados e por intermédio da análise da base do PUPAD e WMTF, afirma-se que concernem para as explosões e incêndios em minas subterrâneas, assim como em rompimentos de barragens de rejeitos, um índice de mortalidade substancial em relação às outras indústrias.

### **3.3. O Estado do Conhecimento Aplicado ao Gerenciamento de Risco**

Para uma maior compreensão do leitor acerca da temática presente nesta dissertação, aliado ao embasamento técnico e teórico necessário ao fomento do desenvolvimento do modelo aqui proposto; teremos aqui a divisão deste capítulo, em primeiro: definições de riscos, perigos e conceitos referentes à gestão de risco, junto às considerações terminológicas adotada por alguns autores e será introduzido as principais e atuais técnicas de avaliação e análise de riscos, assim como a abordagem do principal normativo relativo ao assunto. Por fim, trataremos das principais práticas de mercado para gestão de risco, por meio de um *benchmarking* setorial, provedor do desenvolvimento do modelo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração.

#### **3.3.1. Das definições, conceitos e referências aplicadas à gestão de riscos.**

Segundo Bernstein (1997), o termo risco é proveniente do italiano antigo *riscare*, sendo uma derivação do latim *risicu* ou *riscu*, que possui o significado de ousar. Nos dias de hoje, quando se fala de risco, refere-se a “algo que pode não dar certo”. Neste sentido, o conceito atual envolve a quantificação e qualificação da incerteza, aliado ao impacto perante o planejado.

Morand (2005) destaca que o risco é inerente a qualquer processo ou empreendimento e que nossa cultura aceita o risco como um viabilizador do progresso. Posto isto, instituições, órgãos governamentais, fundações públicas e privadas e demais entidades, independente da natureza do empreendimento, estão sujeitas, invariavelmente, a algum tipo de risco, que deve ser gerenciado.

O gerenciamento de risco, é compreendido, como um conjunto de disciplinas que arquitetam um sistema de elementos e adoção procedimentais, estruturais, políticas e metodológicas, habilitando um melhor discernimento dos limites de riscos aceitáveis. Para tal, conforme definido por Hope (2002), em seu livro *Introdução ao Gerenciamento de Riscos*, uma manifestação de risco, consiste na incerteza sobre a ocorrência ou não de um prejuízo, e a forma de controle dessas incertezas é recorrendo ao seu gerenciamento. O quão capaz o sistema é de gerenciar o risco, tratará dos elementos de prevenção e mitigação de perdas por impacto da

exposição à fonte causadora de risco. Sendo apresentado por meio da redução da probabilidade e contenção da fonte causadora de perigo. Entendendo-se probabilidade como a chance de algo inesperado ocorrer; fonte causadora de perigo como o elemento potencial para provocar danos e impacto sendo o resultado da perda, estando relacionado à severidade do prejuízo decorrente do dano (HOPE, 2002).

Uma outra pontuação, não obstante da apresentada, seria o ponto de vista de Badri (2015), onde o processo de gestão de riscos trata-se de prevenir problemas ou resultados indesejados, onde em sua maior parte, os riscos são avaliados em termos de probabilidade de ocorrência e impacto. E de forma progressista, o processo de gestão de riscos deve ser exaustivamente aprimorado, monitorado e constantemente analisado, frente às possíveis alterações em relação aos riscos em todos os seus aspectos.

A definição de perigo como uma condição que tem potencial de ocasionar efeitos indesejáveis, enquanto o risco é avaliado como a contextualização de uma situação de perigo, ou seja, a possibilidade de materializar um evento indesejado ocorrer é apresentada por Sanchez (2013). O conceito de risco estabelecido pela *Society for Risk Analysis* (SRA), trata-se do potencial de ocorrência de resultados adversos e indesejados para a vida humana, para o ambiente ou para bens materiais. Em caráter taxativo, risco pode ser estabelecido de modo determinante como produto da probabilidade de ocorrência de um determinado evento pela magnitude das consequências (BISSACOT, 2016).

Posteriormente à conceituação de risco, para uma contextualização abrangente, Tixier *et al.* (2002) apresentam as classificações metodológicas para avaliação de risco, estabelecidas em: qualitativas, semiquantitativas e quantitativas. As técnicas de processo avaliativo de riscos, manifestado pela norma ISO/IEC 31010 traduz que o grau de detalhamento requerido, dependerá da oferta de dados confiáveis e da governança estabelecida pela organização, assim como, alguns métodos e o grau de detalhe da análise podem ser prescritos por requisitos legais (ABNT, 2012).

A Tabela 3 apresenta os critérios estabelecidos para o desenvolvimento da análise de risco e os respectivos produtos de acordo com o método selecionado.

Tabela 3 - Metodologia para classificação de risco, técnicas de desenvolvimento e produtos.

METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE RISCO		
CLASSE	DESENVOLVIMENTO	PRODUTO
QUALITATIVA	Estabelece consequência, probabilidade e nível de risco.	Combina consequência e probabilidade. Avalia a escala de risco resultante em comparação aos critérios qualitativos.
SEMI-QUANTITATIVA	Estabelece escalas de classificação numérica para consequência e probabilidade.	Apresenta níveis de riscos utilizando uma expressão matemática.
QUANTITATIVA	Estima valores empíricos e práticos para consequências e suas probabilidades.	Valores de níveis de risco em unidades específicas, de acordo com o contexto preestabelecido.

Fonte: ABNT (2012) adaptado pelo autor.

Segundo Tixier *et al.* (2002), mediante ao estudo de revisão e análise de métodos de avaliação de risco utilizados em operações industriais, foi possível afirmar que os métodos qualitativos são os mais disseminados para as avaliações de risco e aspectos gerais. Por outro lado, os métodos quantitativos são desenvolvidos e empregados para situações em que há a necessidade de avaliação de algum aspecto específico.

As limitações das técnicas e métodos de análise de risco também são apresentadas por Tixier *et al.* (2002), onde evidenciam:

- ✓ A generalidade da metodologia, torna-se menos aplicável para casos específicos. E a especificidade da técnica, torna-se menos aplicável para transposição em outras situações;
- ✓ A subjetividade da classificação da magnitude do risco exige que o conhecimento técnico aplicado na análise de risco seja extremamente importante, caso contrário toda a análise fica susceptível a fatores humanos;
- ✓ Treinamentos específicos são necessários para implementação das técnicas avaliativas de riscos, devido às complexidades dos métodos e abrangência de conhecimento.

Em termos de diretrizes associadas à gestão de risco, a *International Organization for Standardization* (ISO) 31000 é o normativo que suporta o sistema de gerenciamento de riscos. A ISO 31000 (ABNT, 2018) fornece uma estrutura conceitual para a análise de riscos que leva em conta as políticas e práticas da organização, que passa a ser incorporada, tanto em nível estratégico como operacional. Como trazido por Purdy (2010) até a publicação da primeira versão ISO

31000:2009 as organizações que aplicavam o gerenciamento de riscos possuíam diferentes processos e estabeleciam definições distintas a respeito da governança estratégica de risco.

Neste contexto, conforme apresentado por Bissacot (2016), que embora a AS/NZS 4.360:1999 tenha sido a primeira norma de gestão de riscos estabelecida no mundo, a atual ISO 31000:2018 (ABNT, 2018), revisão técnica da versão anterior, ISO 31000:2009, que se baseou na revisão de 2004 da AS/NZS 4.360 (AS/NZS 2004), é atualmente a norma de referência aplicada em âmbito internacional para o gerenciamento de riscos.

No escopo da ISO 31000:2018 temos a abordagem comum do fornecimento de instruções para gerenciar quaisquer tipos de riscos enfrentados pelas organizações, não sendo específico de uma indústria ou setor. Evidenciando a orientação de que a norma pode ser aplicada ao longo da vida da organização e incluindo o suporte às tomadas de decisões. Como descrito por Barafort *et al.* (2017), apesar do viés genérico da norma, há um reconhecimento disseminado, que fornece princípios e diretrizes de gestão de risco, possibilitando o gerenciamento de qualquer risco de forma sistemática, transparente e confiável. Por fim, esta norma não se destina a fins de certificação, nesse sentido, segundo Barafort, Mesquida e Mas (2017), pode permitir a implantação de um sistema de gestão de forma não prescritiva.

A estrutura conceitual da norma, desdobrada em requisitos, ações e processos, implica na introdução de mecanismos e elementos de gestão, que apresentam uma metodologia sistemática para identificar, analisar e controlar os riscos. A ISO 31000:2018 baseia-se nos princípios, estrutura e processos delineados, como ilustrado na Figura 5.

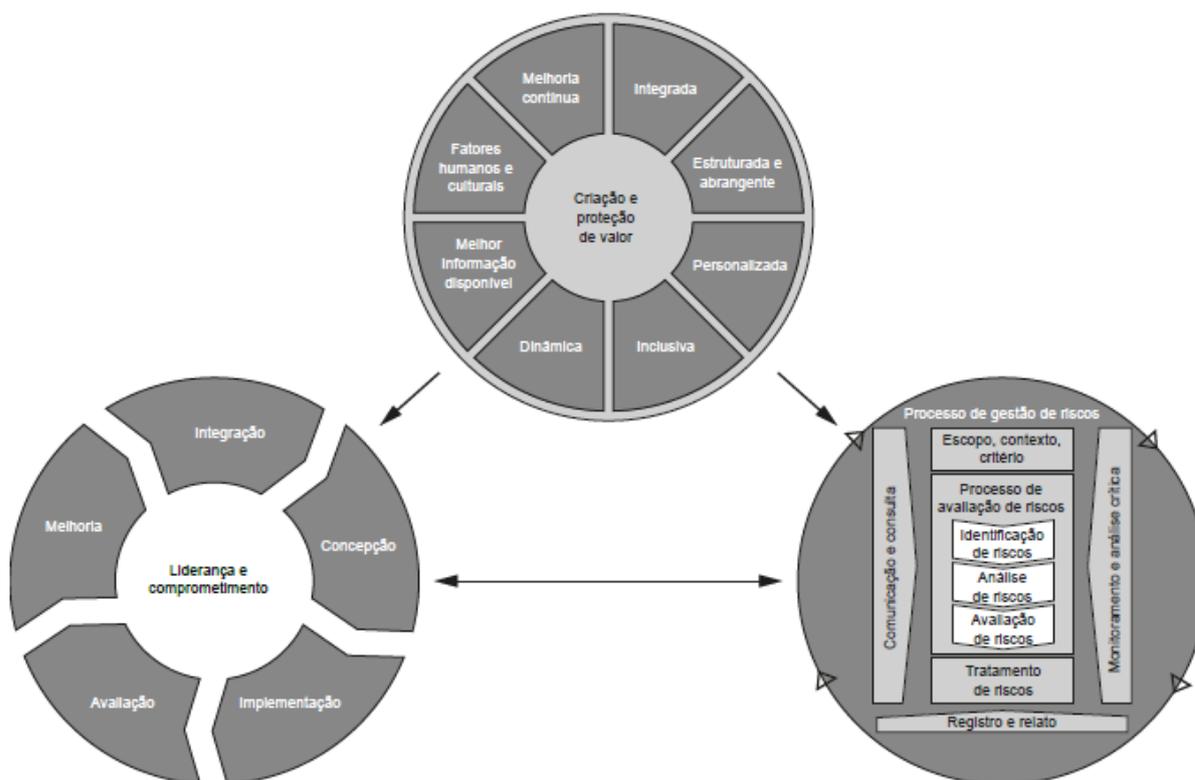


Figura 5 - Princípios, estruturas e processos. Fonte: ABNT (2018).

Os elementos acima não serão discutidos e apresentados em sua totalidade neste estudo de revisão bibliográfica. Cabe ressaltar que a disponibilidade das etapas envolvidas nos princípios, estruturas e processos de gerenciamento de risco, segundo à ISO 31000:2018, estão em sua plenitude presentes na norma. Porém, entende-se que um recorte sobre as etapas do processo, consideradas críticas, estruturarão a conceituação proposta neste trabalho: obtenção de um modelo teórico-conceitual aplicado às práticas de gerenciamento de risco nas operações minero-metalúrgicas. Desta forma, conforme apresentado por Santos e de Oliveira (2019), onde é defendido que a etapa de avaliação de risco, torna-se uma das mais críticas do processo, pois envolve os estágios de identificação de risco e considerações sobre as fontes causadoras de perigo que ensejam impactos nos objetivos da organização. Ademais, esta fase fomenta o suporte à decisão na escolha entre alternativas e implementação de medidas de mitigação e tratamento de risco (AVEN, 2016). Sendo assim, serão discutidos, de forma adicional os conceitos apresentados no normativo ISO 31010 (ABNT, 2012), que fornece orientações sobre a seleção e aplicação de técnicas sistemáticas para o processo de avaliação de riscos.

De acordo com a norma ISO 31010:2012, as técnicas para o processo de avaliação de riscos são a parte da gestão de riscos que fornece um processo estruturado para identificação e como os objetivos das organizações podem ser impactados. Analisa os riscos em termos de aspectos, consequências e impactos, assim como as suas probabilidades e avaliação em termos qualitativo ou quantitativo, a fim de permitir a decisão quanto aos controles e tratamentos dos riscos requeridos. Este processo busca responder às seguintes questões fundamentais:

- ✓ O que pode acontecer e a motivação, por meio da identificação de riscos?
- ✓ Quais são as consequências, impactos e aspectos envolvidos?
- ✓ Qual é a probabilidade de sua ocorrência em um determinado espaço temporal?
- ✓ Há fatores mitigatórios para a consequência do risco ou que reduzam a probabilidade do risco?
- ✓ O nível de risco é tolerável ou aceitável e requer tratamento adicional?

De acordo com Bissacot (2016), o modo como o processo de avaliação de risco é realizado, depende não somente do contexto da gestão de riscos, porém também dos métodos e técnicas utilizados para condução da análise. E conforme trazido na norma, a análise de riscos envolve a consideração das causas e fontes de risco, suas consequências e a probabilidade de que podem causar impactos aos objetivos das organizações. Para tal, é conveniente que os elementos que afetam as consequências e a probabilidade sejam identificados de forma exaustiva, visto que um evento pode ter múltiplas consequências e pode afetar múltiplos objetivos. Medidas de controles de riscos em redundâncias aumentam a eficácia dos sistemas.

E em termos de técnicas para o processo de avaliação de riscos, elas são apresentadas e classificadas de acordo com o Anexo A da norma ISO 31010:2012, onde estão manifestadas as correlações de algumas técnicas potenciais e suas categorias. A descrição detalhada das técnicas está presente no Anexo B, estratificada quanto à natureza da avaliação que elas fornecem e a orientação para sua aplicabilidade em certas situações. Ademais, temos a exposição de atributos para uma seleção de ferramentas aplicadas às avaliações de risco, de acordo com a pertinência de fatores, que está classificada em: recursos e capacidades, natureza e

grau de incerteza e complexidade, assim como a observância se é possível o fornecimento ou não de dados quantitativos.

Não será escopo desta revisão de conceitos a discussão e apresentação de cada técnica presente na norma, visto que, muitas das técnicas, para sua aplicação em sua integralidade, necessitam de conhecimentos avançados para o exercício. Para exposição das concepções e ferramentas trazidas na ISO 31010:2012, temos a Tabela 4, com a exposição das ferramentas e técnicas, e suas respectivas aplicações: identificação de riscos, consequência, probabilidade, nível de risco, avaliação de riscos e a relação de sua aplicação, assim como a orientação da descrição da técnica presente no anexo B da norma.

Tabela 4 - Aplicabilidade das ferramentas utilizadas para o processo de avaliação de riscos.

Ferramentas e técnicas	Processo de avaliação de riscos					Ver Anexo
	Identificação de riscos	Análise de riscos			Avaliação de riscos	
		Consequência	Probabilidade	Nível de risco		
<i>Brainstorming</i>	FA <sup>1</sup>	NA <sup>2</sup>	NA	NA	NA	B 01
Entrevistas estruturadas ou semi-estruturadas	FA	NA	NA	NA	NA	B 02
Delphi	FA	NA	NA	NA	NA	B 03
Listas de verificação	FA	NA	NA	NA	NA	B 04
Análise preliminar de perigos (APP)	FA	NA	NA	NA	NA	B 05
Estudo de perigos e operabilidade (HAZOP)	FA	FA	A <sup>3</sup>	A	A	B 06
Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC)	FA	FA	NA	NA	FA	B 07
Avaliação de risco ambiental	FA	FA	FA	FA	FA	B 08
<i>Técnica estruturada "E se" (SWIFT)</i>	FA	FA	FA	FA	FA	B 09
Análise de cenários	FA	FA	A	A	A	B 10
Análise de impactos no negócio	A3	FA	A	A	A	B 11
Análise de causa-raiz	NA	FA	FA	FA	FA	B 12
Análise de modos de falha e efeito	FA	FA	FA	FA	FA	B 13
Análise de árvore de falhas	A	NA	FA	A	A	B 14
Análise de árvore de eventos	A	FA	A	A	NA	B 15
Análise de causa e consequência	A	FA	FA	A	A	B 16
Análise de causa e efeito	FA	FA	NA	NA	NA	B 17
Análise de camadas de proteção (LOPA)	A	FA	A	A	NA	B 18
Árvore de decisões	NA	FA	FA	A	A	B 19
Análise da confiabilidade humana	FA	FA	FA	FA	A	B 20
Análise <i>Bow tie</i>	NA	A	FA	FA	A	B 21
Manutenção centrada em confiabilidade	FA	FA	FA	FA	FA	B 22
<i>Sneak analysis (SA) e sneak circuit analysis (SCA)</i>	A	NA	NA	NA	NA	B 23
Análise de Markov	A	FA	NA	NA	NA	B 24
Simulação de Monte Carlo	NA	NA	NA	NA	FA	B 25
Estatística Bayesiana e Redes de Bayes	NA	FA	NA	NA	FA	B 26
Curvas FN	A	FA	FA	A	FA	B 27
Índices de risco	A	FA	FA	A	FA	B 28
Matriz de probabilidade/consequência	FA	FA	FA	FA	A	B 29
Análise de custo/benefício	A	FA	A	A	A	B 30
Análise de decisão por multicritérios (MCDA)	A	FA	A	FA	A	B 31

<sup>1</sup> FA - Fortemente aplicável.  
<sup>2</sup> NA - Não aplicável.  
<sup>3</sup> A - Aplicável.

Fonte: ABNT (2012).

Destaca-se que, independentemente do método, o processo de avaliação de riscos precisa ser capaz de identificar, analisar e avaliar os riscos de forma a garantir o desenvolvimento de ferramentas de tratamento de riscos, por intermédio de controle, mitigação e eliminação da fonte causadora de perigo, para assim cumprir com a finalidade do processo de avaliação de riscos, que é fornecer informações baseadas em evidências e análise para tomadas de decisões sobre como gerenciar os riscos.

### **3.3.2. Das práticas de mercado para o gerenciamento de risco**

Neste capítulo o leitor encontrará um breve descritivo das aplicações de gerenciamento de riscos nos setores: elétrico, aeronáutico, nuclear, químico e mineiro. Com destaque para as metodologias, técnicas e diretrizes empregadas em cada setor, a fim de embasar o desenvolvimento do modelo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração.

#### **3.3.2.1 Das práticas de gestão de risco aplicadas ao setor elétrico brasileiro**

Em um diagnóstico procedimental sobre as práticas operacionais e manutentivas, Dias *et. al.* (2000) constatou que em um amostral de 41 usinas geradoras de energia elétrica, sendo 36 geradoras hidráulicas e 5 termais, selecionadas de acordo com a sua potência instalada superior a 0,5 GW ou pela sua importância estratégica no setor energético brasileiro, tínhamos um total de 11% de itens verificados não conformes os requisitos legais e práticas de gerenciamento de risco. Onde os maiores percentuais foram referenciados: 76% aos planos de segurança da planta, 49% aos planos de ações de emergência e 38% aos planos contingenciais de cheias.

A totalização de 69% em não-conformidades identificadas, referentes à inexistência ou inadequação dos planos, são referentes às normas, instruções, recursos humanos, capacitação técnica de mão de obra, procedimentos operativos e restabelecimento autônomo. Dias *et al.* (2000) ainda destacam a importância

estratégica para o setor de energia elétrica dos planos de segurança da planta e ações emergenciais e contingenciais de cheias. Onde diagnosticaram falhas e oportunidades.

Conforme trazido por Calil (2009) em sua tese de doutorado, os resultados da pesquisa de Dias *et. al.* (2000) evidenciaram a carência do setor de geração elétrica de uma aplicação metodológica que visa as tratativas da temática gerenciamento de risco. A situação confirma-se em uma pesquisa realizada no estudo de doutoramento de Calil (2009), onde análise de duas empresas do setor de energia que mantêm programas de gerenciamento de risco em ambos os casos, as implementações dos programas aconteceram pela governança e esforço das companhias, ponderando o que deviam fazer, visto que não dispunham de uma metodologia presente aplicado ao setor.

Nos objetos de estudo de Calil (2009), um dos empreendimentos elétricos teve o seu plano de contingência de cheias elaborado em 1984. Porém, somente 11 anos após a elaboração, em decorrência de um incidente, foi evidenciado a falta de capacitação, em sua plenitude, da equipe, e a partir disso criou-se uma comissão para elaboração dos planos de ação emergencial. Calil (2009) ainda reforça como o suporte da liderança foi importante no momento de revisitar e elaborar os planos de ação emergencial. No outro empreendimento de estudo, destacou-se que, desde a década de 80, há a preocupação de se aprender com a análise dos incidentes anteriores, na década de 1990, elevou-se as tratativas e compreensão dos incidentes que ocorreram de forma integralizada com todas as usinas. E nos anos 2000, realizou-se os planos de emergência, de forma proativa, não apenas de incidentes que já tinham ocorridos, começando pelo de rompimento de barragens.

Calil (2009) também destaca que em uma visita técnica de campo, em 2008, em uma companhia distribuidora de energia elétrica na Espanha, identificou-se práticas equivalentes às identificadas nos empreendimentos pesquisados no Brasil, no que se refere principalmente ao transbordo, à redundância da comunicação e redundância ativa de instalações.

A ênfase por parte da aplicação metodológica desenvolvida por Calil (2009) e adotado por dois empreendimentos, uma distribuidora e ou transmissora de energia elétrica, habilitou confirmar a carência de uma metodologia para o gerenciamento de risco no setor elétrico. Neste contexto, tivemos a tomada de iniciativa por parte das próprias empresas, que iniciaram o desenvolvimento de suas próprias formas de

trabalhar o risco. É apresentado por Lefevre *et al.* (2001), as etapas sequenciadas para a implementação do sistema de gerenciamento de risco na Usina Hidroelétrica Binacional de Itaipu, conforme evidenciado:

1. Identificação das possíveis contingências: tarefa baseada na experiência dos membros da comissão e suporte técnico da equipe. Avaliação dos perigos e riscos e dos aspectos das consequências de cada contingência: atividade base para priorização das contingências.
2. Definição dos comitês de análise: a partir da lista de prioridade elaborada no item anterior, formam-se comitês de estudos de para cada contingência necessária.
3. Criterização dos comitês de análise: cada comitê analisa cada contingência. O estudo deve conter se o risco é real ou se medidas estruturais podem minimizar, ou até eliminar, a probabilidade de ocorrência. Fica a cargo do comitê examinar as ações para mitigar as consequências. Por fim, mas não exaustivo, o comitê elabora o plano de ações que devem ser tomadas no caso de a contingência ocorrer.
4. Unificação dos colaboradores: antes de estabelecer como concluído, o plano deve ser submetido a uma consulta aberta às áreas técnicas de Itaipu. Esta medida permitiu uma considerável contribuição dos profissionais que não participaram do grupo de estudo. À parte desta apresentação, todas as recomendações apresentadas que incorram em grande custo são objetos de avaliação da superintendência ou até da diretoria da corporação.
5. Capacitação: base fundamentada na prática de simulações do combate às contingências, via cronograma sistemática de simulados e retroalimentação dos aprendizados dessas simulações, a fim de gerar ajustes ao plano e melhorar as capacitações de sua aplicação.
6. Promoção permanente do plano de ação emergencial: a permanência da comissão, em caráter contínuo, habilita as retro análises e aprendizado para plano a partir de novas contingências que sejam identificadas.

7. Revisão metodológica: obter uma abordagem científica para as práticas presentes.

A evolução nos conceitos de gestão de perigos, riscos e aspectos associados é evidente no setor elétrico, ainda por cima, considera-se um setor com procedimentos bem estruturados e que aplica as melhores práticas de atendimento às garantias de segurança de suas operações, sendo este o principal ponto de observação deste *benchmarking* setorial. A Norma Regulamentadora 10 diante das suas evoluções, traduz os tópicos do estado do conhecimento para a segurança em instalações e serviços em eletricidade. A Figura 2 evidenciou os resultados dos setores em termos de impactos e danos maiores. Apesar do setor de geração de energia elétrica compreender o oitavo lugar em termos de número de eventos maiores, nota-se uma evolução satisfatório nos últimos anos de operação.

### **3.3.2.2 Das práticas de gestão de risco aplicadas ao setor aeronáutico**

A partir da década de 1960, sobre o incremento tecnológico dos projetos aeronáuticos, o setor iniciou uma busca a estudos estruturados na teoria de probabilidade de falhas e avaliações de segurança (SILVA, 2006). Neste contexto, que H. A. Watson, representando o *Bells Laboratory* em parceria com a Força Aérea Americana, concebeu o *fault tree analysis* (FTA), sendo traduzido para o português como: Árvore de Análise de Falha, que seria até um hoje uma das principais ferramentas técnicas aplicada ao gerenciamento de risco. Tal ferramenta, foi posteriormente aplicada e modificada em partes para o uso na Boeing, durante o projeto de aeronaves comerciais (ERICSON II, 1999).

Em termos de organizações, institutos e sociedades, temos atualmente, um número considerável no setor aeronáutico, trabalhando em prol do desenvolvimento de normas, recomendações, técnicas, regulamentações e métodos a fim de garantir o gerenciamento de risco e segurança das operações aéreas. Algumas internacionais que podemos citar, são: *Society of Automotive Engineers* (SAE), *European Joint Aviation Authorities* (JAA), *Federal Aviation Administration of United States of America* (FAA) e *European Organization for the Safety of Air Navigation*

(EUROCONTROL). No âmbito brasileiro temos como órgãos regulamentadores Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e Força Aérea Brasileira (FAB).

O setor possui um grau de maturidade elevado em termos de práticas de gerenciamento de perigos, riscos e avaliação de seus elementos, análise *post mortem*, desenvolvimento de tecnologias de segurança e abrangência de casos. Para exemplificar, trazido do referencial bibliográfico desenvolvido por Calil (2009), temos o caso da EUROCONTROL, onde é proposto a técnica *European air traffic management programme safety assessment methodology* (EATMP SAM), que pode ser observado o seu fluxo metodológico na Figura 6 e sendo traduzida como: Metodologia de avaliação de segurança do programa europeu de gestão de tráfego aéreo. A metodologia é similar as demais técnicas propostas por outras organizações, tais como o método o recomendado pela SAE: *Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment* – ARP 4.761.

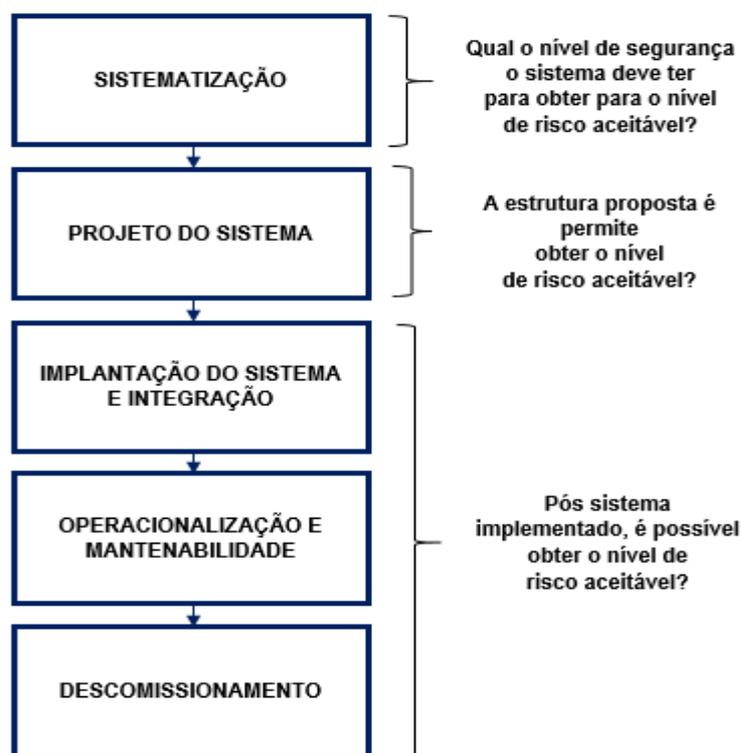


Figura 6 - Processo de análise para avaliação da segurança e o ciclo de vida do sistema aéreo, EATMP SAM, proposto pela EUROCONTROL. Fonte: EUROCONTROL (2006) adaptado pelo autor por meio de CALIL (2009).

Conforme pontuado por Calil (2009), a Figura 6 acima, ilustra como o método recomendado para a avaliação de riscos e segurança está presente em todo o ciclo de vida de um sistema aéreo. Sendo evidenciado a partir das definições iniciais do sistema, passando por seu projeto, implementação dos sistemas, operação e manutenção e o seu descomissionamento. Em Eurocontrol (2006), encontramos basicamente, temos três etapas fundamentais para a prática da metodologia, sendo:

1. Avaliação do perigo funcional – *functional hazard assessment* (FHA): identificam-se os modos de falha, os perigos, seus elementos e suas consequências para a segurança das operações dentro de um ambiente específico. Utilizando-se a experiência e o julgamento operacional e de engenharia, a severidade de cada efeito é determinada e classificada em 5 níveis. Podem-se, então, especificar os objetivos, sendo uma declaração, quantitativa ou qualitativa, que define a máxima probabilidade na qual um risco pode ser aceito.
2. Avaliação preliminar de segurança do sistema – *preliminar system safety assessment* (PSSA): processo iterativo da fase inicial do projeto, com objetivo de compreensão se o sistema analisado alcança os objetivos de segurança estabelecidos. A PSSA examina a estrutura do sistema proposto e determina como as falhas dos componentes e eventos externos podem contribuir para os riscos identificados na FHA. Na PSSA, os objetivos de segurança são desdobrados em requisitos de segurança alocados em cada componente do sistema.
3. Avaliação de segurança do sistema – *system safety assessment* (SSA): tem como objetivo demonstrar que o sistema, implementado, tem um nível de risco aceitável e conseqüentemente atende aos objetivos de segurança estipulados na FHA. Os elementos do sistema, por sua vez, também devem atender aos requisitos de segurança especificados na PSSA. Demonstra-se que todos os riscos foram identificados, eliminados, e quando não possível mitigados tanto quanto o praticável razoavelmente. Em seguida, aplica-se o gerenciamento de rotina e desempenho do sistema durante sua fase de operação.

O que pode ser tratado como o principal ponto de *benchmarking* provido pelas operações aeronáuticas, é a capacidade de aprendizado com eventos anteriores. Qualquer acidente aéreo é tratado por meio de uma análise de evento e abrangência de forma criteriosa e rigorosa. ANAC e a FAB encarregam-se da atuação e atendimento às causas e motivações de acidentes aéreos para promoção das operações brasileiras. Como tratado anteriormente, o setor carrega um grau de maturidade elevado em termos análise *post mortem*, desenvolvendo tecnologias de segurança e abrangência de casos.

### **3.3.2.3 Das práticas de gestão de risco aplicadas ao setor nuclear**

A catástrofe de Chernobyl, já exemplificada neste estudo, evidencia à proporção que um acidente em planta nuclear pode alcançar. Para o setor nuclear, a segurança é o foco do gerenciamento de risco (CALIL, 2009), o que deflagra um sistema de aversão ao risco, com a necessidade da garantia técnica exaustiva de sistemas preventivos.

O setor nuclear, conforme apresentado por Dias *et al.* (2007), tem em seu contexto histórico a avaliação de risco sobre um viés determinístico, permanecendo como base de aprovação para empreendimentos nucleares nos Estados Unidos da América (EUA). Porém, uma abordagem probabilística foi impulsionada com a publicação do relatório *reactor safety study, an assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants*. Como é tratado por Keller e Modarres (1998) onde grande parte dos procedimentos e técnicas descritos são utilizados nos dias de hoje, como exemplo a técnica *Event Tree Analysis* (ETA) que pode ser traduzida ao português como Análise de Árvore de Eventos, por exemplo, foi proposta neste relatório.

Na abordagem determinística, a avaliação é feita de forma a garantir que um conjunto básico de “incidentes de projeto” não ocorra (CALIL, 2009). Isso é feito atendendo a uma série de premissas previamente definida. Como consequência dessa abordagem, o projeto das plantas nucleares se caracteriza por ser bastante conservador, aplicando elevadas margens de segurança e de redundância de barreiras e sistemas de segurança independentes (KELLER; MODARRES, 1998).

Segundo Keller e Modarres (1998), um grande passo regulatório ocorre com a incorporação no processo de aprovação e licenciamento de plantas nucleares no EUA do *Procedures Guide: a guide to the performance of probabilistic risk assessments for nuclear power plants* (PRA), do português: Guia de Procedimentos: um guia para o desempenho de avaliações probabilísticas de risco para usinas nucleares. Como efeito desta normatização, iniciou-se o processo de elaboração de padrões procedimentais, e deste produto surgiram uma série de normas e regulamentos americanos na primeira metade da década de 2000, sendo considerados base de consulta e replicação para demais estados no mundo.

Conforme Calil (2009) pontua, o guia PRA é empregado e utilizado, sendo o primeiro que propôs a segregação em três níveis, dependendo da profundidade da análise, a saber (IAEA, 2002):

Nível 1: visa a identificação da sequência de eventos que podem levar a danos no núcleo. Fornece a frequência de danos no núcleo e os aspectos indicativos das capacidades e fragilidades dos sistemas de segurança e dos procedimentos para prevenir danos ao núcleo (CALIL, 2009).

Nível 2: busca agrupar as sequências de acidentes conforme características similares dos estados de danos na planta; identificar os modos pelos quais vazamentos radioativos da planta podem ocorrer; estimar a intensidade e frequência dos vazamentos (CALIL, 2009).

Nível 3: agrupar as categorias de vazamento; estimar consequências e riscos para a saúde pública e ambiental.

De um ponto de vista teórico, atuação para prevenção de um evento indesejado ou incidente é a garantia de não falha. Entretanto, se a ocorrência da falha vier a se materializar, pode-se prevenir sua propagação e, por consequência, o acidente. No entanto, se a prevenção da propagação falha ou se o distúrbio supera as premissas de projeto, o incidente irá ocorrer (CALIL, 2009). Nesta situação, pode-se agir para mitigar as consequências e não permitir que elas extrapolem os limites do empreendimento. Todavia, caso elas extrapolem, existe, ainda, a possibilidade de mitigar as consequências fora dos limites do empreendimento, ou graves consequências podem ocorrer (CALIL, 2009).

O primeiro meio de prevenir falhas é se esforçar para que se tenha uma qualidade de projeto, manutenção, construção e operação da planta, de tal forma que desvios operacionais estejam dentro dos limites aceitáveis de operação e não sejam frequentes ao ponto de obterem *outputs* fora das especificações de processos (KUMAMOTO; HENLEY, 1996). A prevenção da propagação visa assegurar que os desvios ou a falha incipiente não se desenvolva, transformando-se em uma situação mais severa até o ponto da perda. Uma vez que ocorreu o incidente, deve-se controlar o seu curso e mitigar suas consequências por meio de medidas como: executar bloqueio efetivo de segurança; manter a continuidade das utilidades, manter a integridade das clausuras; e manter ambiente externo à planta preparado (CALIL, 2009).

No caso remoto de as medidas de segurança (mitigação interna) falharem, medidas preventivas devem ser tomadas a fim de mitigar as consequências à população e ao meio ambiente nas redondezas da planta (mitigação externa) – como evacuação da população, por exemplo, o que envolve atividades coordenadas em conjunto com as autoridades locais.

As especificidades do setor nuclear e abrangência em *benchmarkings*, evidencia uma série de premissas preventivas. Sendo o principal chamativo a abordagem de projetos conservativos com aplicação de elevadas margens de segurança e de redundância de barreiras e sistemas de segurança independentes. Ou seja, o alicerce do gerenciamento de riscos para o setor nuclear consiste na concepção de projetos que não admitem falhas. Critérios regulatórios são estabelecidos no processo de aprovação e licenciamento de instalações nucleares e a aplicação de um guia para o desempenho de avaliações de risco para usinas nucleares são definidos como requisitos de segurança.

#### **3.3.2.4 Das práticas de gestão de risco aplicadas ao setor químico**

De fato, a indústria química historicamente apresenta os maiores e mais frequentes eventos de perdas indesejáveis que muitas vezes extrapolam os limites temporais e espaciais dos empreendimentos químicos, como já apresentado no capítulo 3.1 Da compreensão dos acidentes ampliados.

As concepções de processos e tecnologias químicas complexas para processamento e síntese de substâncias primárias e secundárias são aplicadas em transformações de elementos de alto teor de risco, como: altas pressões, altas temperaturas, produtos químicos mais reativos e reações químicas que podemos rotular como exóticas; desta forma, o setor passa a conviver com novos riscos até então não conhecidos (CROWL; LOUVAR, 2001).

Conforme trazido por Fawcett e Wood (1982, p. 1) em seu livro *Safety and Accident Prevention in Chemical Operations* “o conhecimento é base fundamental para sobrevivência, enquanto desprezar os fundamentos da química é caminho certo para desastres e eventos indesejáveis”. Esta citação abstrai que diversos acidentes tiveram como origem a falta de domínio sobre novos processos químicos que vieram incorporar-se às operações industriais. (CHINAQUI, 2012).

Segundo Chinaqui (2012), encontra-se, basicamente no setor químico, a existência de três grandes grupos de eventos que fomentam os principais efeitos de acidentes químicos, sendo eles: emissão acidental de substância tóxica, explosão e incêndio. Muitos acidentes podem envolver simultaneamente dois ou mesmo os três tipos de eventos.

Das variáveis relacionadas ao acidente químico, duas são de particular importância. A localização da fonte, esta variável está relacionada ao fluxo de produção ou de consumo onde o acidente se localiza, envolvendo produção, armazenamento, transporte, abastecimento, consumo e despejo de substâncias químicas perigosas. A outra variável é o raio de alcance da liberação de matéria ou energia, dependendo da quantidade, das características físico-químicas e toxicológicas das substâncias envolvidas e das características do acidente propriamente dito, tais como tipo de acidente, localização das fontes, aspectos geográficos, geológicos e meteorológicos da região entre outros, o acidente poderá ter seu raio de alcance mais restrito ou mais ampliado (CHINAQUI, 2012).

Em termos de gestão da Segurança de Processos para produtos químicos altamente perigosos, nos EUA, tivemos o desdobramento em duas vertentes, uma ligada ao Ministério do Trabalho e outra ao Ministério do Meio Ambiente. E no âmbito da segurança do trabalho, e sob a jurisdição do *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), foi instituído o *Process Safety Management Program* (PSMP), Programa de Gerenciamento de Segurança de Processo, compreendendo basicamente 12 elementos de gestão de segurança e riscos, com pretensão de

prevenir perdas e minimizar consequências catastróficas decorrentes de operações químicas (CHINAQUI, 2012).

Conforme evidenciado por Chinaqui (2012) em seu estudo sobre Análise e Gerenciamento de Riscos de Processo na Indústria Química, os 12 elementos de gestão onde o Ministério do Trabalho Americano realiza auditorias periódicas, são compreendidos por: informações de segurança de Processo, análise de risco de processos, procedimentos operacionais, programas de treinamento e capacitação, gestão de empresas contratadas, revisões de partida operacional, programas de garantia de integridade mecânica de instalações, gestão de operações perigosas, gerenciamento de modificações, investigação de incidentes e acidentes, desenvolvimento de planos de controle de emergência, assim como, a realização de auditorias de atendimento e conformidade (MORAN, 1990).

Os números do setor químico em termo de eventos e impactos motivaram o desenvolvimento de bases sólidas aplicáveis ao gerenciamento de riscos. Um dos exemplos trata-se do sistema empregado pelas organizações *DuPont* e *Dow Chemical*, onde estabeleceu-se técnicas avançadas para análises de riscos de processo, como o Índice de Fogo e Explosão (F&EI) desenvolvido pela *Dow Chemical Company*, que pode ser observado, como o método mais aplicável para avaliação de possíveis cenários de fogo e explosão. Outro exemplo, observado por Chinaqui (2012), é a estrutura *Layers of Protection Analysis* (LOPA), aqui traduzido do como Análise de Camadas e Proteção. Tratando-se de uma técnica simplificada de análise risco e elaborada em sequência ao uso de uma técnica qualitativa de identificação de perigo, como por exemplo o *Hazard and operability study* (HAZOP). Desta forma, pode ser definida como uma técnica semiquantitativa, pois gera uma estimativa do risco sendo seus resultados deliberadamente conservadores (CHINAQUI, 2012).

Os aprendizados provenientes do *benchmarking* setorial com as práticas da indústria química para gestão de perigos e riscos, evidenciam um setor com técnicas e ferramentas avançadas, já estabelecidas e provadas a sua tecnologia de uso. Além da metodologia, destaca-se a compatibilidade de conceitos com demais setores, ou seja, podem ser aplicados sem restrições.

### 3.3.2.5 Das práticas de gestão de risco aplicadas ao setor mineiro

De posse de uma corrida bibliográfica observou-se que os conceitos, técnicas e ferramentas empregadas nas disciplinas de gestão de perigos, riscos e seus aspectos associados no setor mineiro-metalúrgico são, em quase sua plenitude, técnicas desenvolvidas por outros setores e contextos muitas vezes distintos, porém replicados nas operações mineiras sem a perda do conceito original.

Salvo uma exceção, do que o autor aqui tratará como o estado do conhecimento para o gerenciamento de risco no setor mineiro, é a iniciativa denominada *Global Minerals Industry Risk Management (G-MIRM)*, que segundo as informações disponível no site<sup>6</sup> do programa G-MIRM (2020), trata-se de um projeto liderado pelo professor Jim Joy, da Universidade de Queensland na Austrália. Onde desenvolveu-se, por intermédio de uma rede de universidades ao redor do mundo, a aplicação do conceito. No Brasil, a representante é a Universidade de São Paulo (USP), que através do Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração (LACASEMIN) do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica (PMI/EPUSP) ministra os cursos, sendo o professor Sérgio Médici de Eston, professor titular e coordenador do LACASEMIN, o representante autorizado para realizar o programa G-MIRM no Brasil.

Os principais propósitos desse projeto consistem na promoção de uma mudança no *modus operandi* da gestão de riscos nas empresas mineiro-metalúrgicas em caráter duradouro e o fomento ao questionamento e influência técnica nas tomadas de decisões em todos os níveis hierárquicos (G-MIRM, 2020).

O projeto G-MIRM é produto de uma parceria iniciada pela empresa de mineração multinacional *Anglo American*, que reconheceu a necessidade de mudar seu desempenho em termos de gestão de riscos e perigos aplicados à segurança de suas operações. Desta forma, em 2007, a então *Chief Executive Officer (CEO)* da corporação, Cynthia Carroll, reuniu os principais executivos para reavaliar a abordagem de segurança. Como consequência a *Anglo American* associou-se ao professor Jim Joy do *Mineral Industry Safety and Health Centre (MISHC)* da Universidade de Queensland, para liderar a transformação dos tópicos de

---

<sup>6</sup> O referencial aqui citado encontra-se disponível no site do programa G-MIRM, podendo ser acessado para maiores informações por meio do endereço: <https://gmirmusp.com.br/>. Acesso em 28 nov. 2020. Entretanto, para uma maior abrangência ao assunto o leitor também poderá acessar o site: <https://smi.uq.edu.au/mishc>

gerenciamento de riscos e segurança (G-MIRM, 2020). Dessa parceria, foi desenvolvido o conteúdo para o programa, que consiste um curso de gerenciamento de risco de segurança na mineração, envolvendo aspectos de treinamento e de educação.

Conforme trazido no site do programa G-MIRM (2020), o primeiro case de sucesso, retratado como “piloto”, ocorreu em dezembro de 2007, o professor Jim Joy ministrou o primeiro o curso em nível de diretoria na Austrália e, em fevereiro de 2008, a USP participou do curso em nível de gerência na África do Sul. Demais classes de cursos foram desenvolvidos para aplicação da jornada educacional, das técnicas e ferramentas do G-MIRM.

É evidenciado na página do projeto G-MIRM (2020), que o diferencial desse curso é o fato que todos os participantes desenvolvem um plano de ação para melhorar suas práticas de segurança e, com isto, obtém a possibilidade de alcançar um estágio superior na jornada de maturidade da empresa.

Da concepção das técnicas do G-MIRM para os dias atuais, temos a consolidação das práticas deste projeto, com sua tecnologia já testada e comprovada em diversas operações mineiras, tornando-se o principal referencial técnico da temática gestão de riscos para a mineração. Entretanto, devido ao programa oferecer os conceitos, técnicas e ferramentas por meio de um curso, com o envolvimento de todos os quesitos de proteção da propriedade intelectual, torna-se hermético a compreensão das técnicas e inacessível para a comunidade acadêmico-científica e para os empreendimentos míneros-metalúrgicos que não se dispuseram à aquisição do programa.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste capítulo apresenta-se a metodologia utilizada para este estudo e para o desenvolvimento do modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltado para acidentes ampliados na mineração, assim como as bases adotadas para o fomento teórico e cognição das causas motivadoras dos acidentes.

O método utilizado é o qualitativo com viés analítico, visto que a análise dos dados históricos, aliado ao embasamento teórico da revisão bibliográfica

conceitualizam o modelo proposto. A Figura 7 ilustra o fluxo metodológico empregado nesta pesquisa.

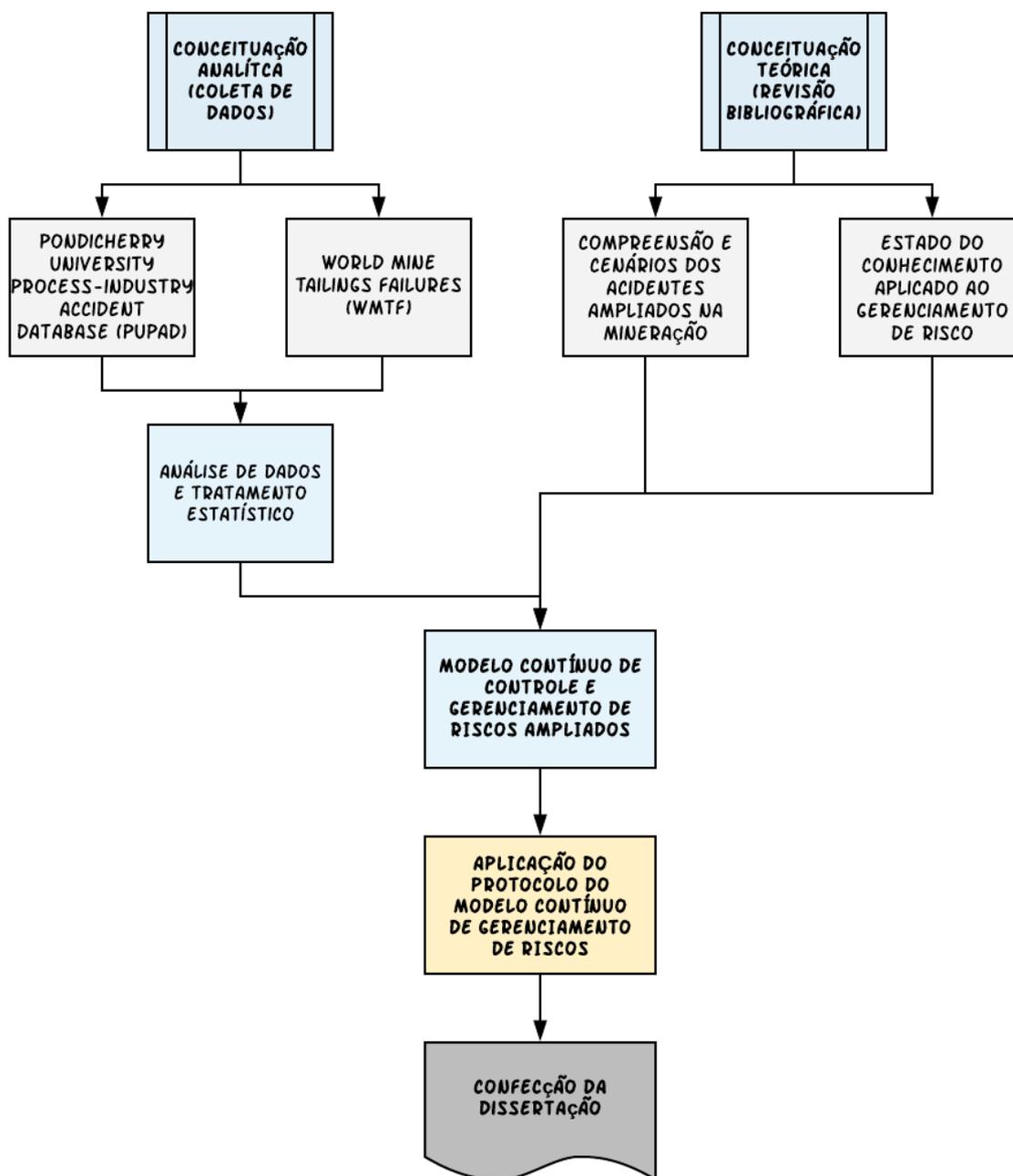


Figura 7 - Fluxo metodológico para o desenvolvimento do modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltado para acidentes ampliados na mineração. Fonte: O autor (2020).

As etapas construtivas do modelo se desenvolveram em duas frentes de atuação, sendo ramificado em conceituação analítica e conceituação teórica.

A conceituação analítica consistiu na análise das bases de dados PUPAD, que diante de sua extensa lista de eventos, promoveu o posicionamento do setor perante outras indústrias e a compreensão dos elementos causais dos acidentes ampliados. Em paralelo obtivemos, a fim de abranger os eventos voltados às barragens de mineração, a investigação da base de dados WMTF, que proporcionou o olhar analítico diante dos rompimentos de barragens, suas dimensões, índices comparativos de magnitude e causas potenciais. A análise conjunta alicerçou o modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, assim como proporcionou a compreensão e visão dos cenários dos acidentes ampliados na mineração.

O desenvolvimento da conceituação teórica ocorreu por meio da revisão da literatura com foco no estado do conhecimento das técnicas, ferramentas e normativos dos sistemas existentes aplicados à gestão de riscos. Também foi abordado uma análise de *benchmarking* setorial para a promoção das práticas e técnicas desenvolvidas e aplicadas em setores como: setor elétrico brasileiro, aeronáutico, nuclear, indústria química e práticas existentes na mineração.

Com o propósito de aplicar os conceitos desenvolvido no modelo contínuo de controle e gerenciamento de riscos e mensurar o nível de atendimento das operações mineiras no modelo, desenvolveu-se um protocolo de utilização, onde por meio de seu emprego, foram diagnosticadas duas operações mineiras em contextos operacionais distintos, finalmente evidenciado os seus resultados e análise de atendimento ao modelo contemplará o desfecho deste estudo.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo o leitor encontrará os elementos fundamentadores do modelo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas voltados para mineração, assim como apresentação do modelo, seu protocolo e um exemplo de aplicação, onde empregou-se os conceitos em duas operações mineiras distintas. Para tal fim, teremos como alicerces e princípios a observância das investigações de acidentes anteriores, suas causas e motivações em eventos ampliados e uma visão geral de acidentes em barragens de mineração.

Finalmente, as conclusões são perante as observações teóricas e conceituais aqui formuladas e análise da aplicação do protocolo desenvolvido.

### **5.1. A Observância das Investigações Anteriores como Elemento Modelador**

Os acidentes ampliados, em solo brasileiro do triênio de 2017 a 2020, trouxeram à tona questionamentos acerca da segurança do setor mineiro. Constatamos que acidentes maiores não se caracterizam apenas na indústria da mineração, pelo contrário, são significativamente impactantes, tanto em números absolutos de eventos quanto em potencial de danos, os acidentes ampliados das operações químicas, petroquímicas e de transporte e armazenamento de substâncias perigosas. Todavia, um estudo que busca resgatar a noção dos desastres ampliados de mineração assume relevância.

Dessa forma, o propósito desse trabalho é estabelecer um modelo de aplicação teórico-conceitual para mitigação e redução de eventos ampliados na mineração, construído a partir de dois pilares: análise de acidentes anteriores (AAA) e conceituação teórica sobre técnicas de gerenciamento de risco.

Para AAA, considerou-se a investigação de duas fontes distintas, primeiramente para uma maior abrangência dos processos de alto risco utilizou-se a base de dados PUPAD. Visando suprir as lacunas informativas sobre os registros de acidentes ampliados na mineração, especialmente para os casos de falhas em barramentos, explorou-se a base de dados do WMTF, ambos citados anteriormente. O embasamento teórico será arquitetado sobre a literatura atual da temática, segundo estudos notáveis e processos aplicáveis à indústria da mineração.

### **5.2. Um Recorte Sobre as Motivações de Acidentes Ampliados**

Conforme elucidado por Tauseef, Tasneem e Abbasi (2011), AAA é um dos exercícios mais potentes e mais empregados para obtenção de insights e respostas sobre as motivações e razões das quais os acidentes ocorrem na indústria de processos. É trazido que “análise de acidentes passados fornece inestimável sabedoria da retrospectiva com as quais estratégias para prevenir acidentes futuros ou mitigar o impacto podem ser desenvolvidos”.

São 1.065 notificações com referência dos tipos de motivações dos acidentes presentes no PUPAD. Levantou-se, por recurso do diagrama de Pareto, a relação entre as causas, os números de eventos registrados e óbitos. O descritivo dos tipos

de causas foi pautado de acordo com análise do autor nas breves descrições dos eventos presentes no banco de dados e classificado como segue a Tabela 5.

Tabela 5 - Descritivos das classificações do tipo de causa para análise, baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente.

MOTIVAÇÃO	TIPO DE CAUSA	DESCRIPTIVO
(1) EQUIPAMENTOS	(1.1) ELÉTRICA	Relativo a curtos-circuitos, dispositivos de proteção, eletrização, sobrecarga, fuga de corrente, sobretensão, aterramento.
	(1.2) MECÂNICA	Relativo a mecânica da fratura, estruturais, corrosão, fadiga, vibração, desgaste, sistemas de proteção.
	(1.3) PERDA DE FUNÇÃO / CATASTRÓFICO	Relativo ao sequenciamento catastrófico de eventos. Ocorrência em mais de uma etapa, referente aos lapsos primários de e secundários de equipamentos, envolvendo múltiplos modos de falhas.
	(1.4) VAZAMENTOS	Efeitos de fluxos e transferências de fluidos.
(2) FATORES EXTERNOS	(2.1) METEREOLÓGICOS	Referente aos eventos naturais, como: terremotos, inundações, tsunamis, raios, deslizamentos de terra.
(3) HUMANAS & ORGANIZACIONAL	(3.1) DESCONHECIMENTO DO RISCO	Relativo a incompreensão integral dos aspectos, perigos e riscos relacionados à atividade.
	(3.2) FALHA HUMANA	Efeitos de erros humanos relacionados a operação e gestão organizacionais.
	(3.3) INTERVENÇÃO OPERACIONAL	Efeitos de erros humanos relacionados a interface técnica e intervenções operacionais e manutivas.
(4) NÃO ESCLARECIDO	(4.1) NÃO ESCLARECIDO	Sem evidências notificadas.
(5) PROCEDIMENTAL	(5.1) GERENCIAMENTO	Convivência gerencial dos aspectos, perigos e risco das atividades. Consentimento do encargo de atividade proibitiva perante as normas, padrões técnicos e parâmetros processuais.
	(5.2) PARÂMETROS TÉCNICOS	Efeitos das especificações físicas, mecânicas, químicas, construtivas, normativas atuado fora dos parâmetros de processos.
	(5.3) REAÇÕES QUÍMICAS	Relativo as reatividades químicas incompatíveis.

Fonte: PUPAD adaptado pelo autor.

Observa-se, na Figura 8, que 76% dos acidentes registrados com descrições de causa são relativos aos itens:

- (1.3) Perda de Função / Catastrófico – 483 eventos classificados (48%);
- (3.3) Intervenção Operacional – 162 eventos classificados (17%);
- (3.2) Falha Humana – 146 eventos classificados (14%).

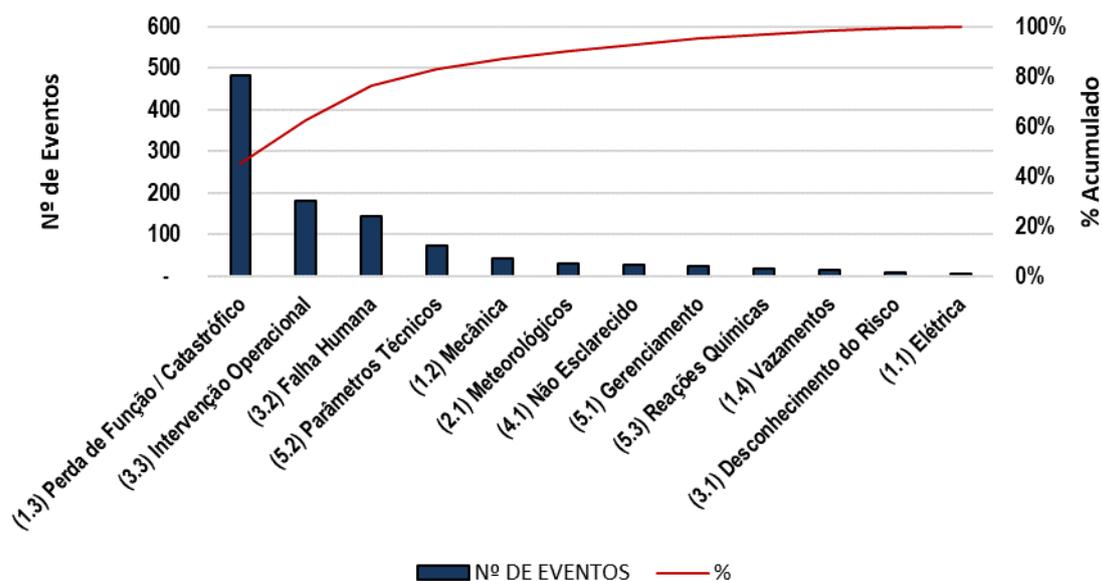


Figura 8 - Diagrama de Pareto para os tipos de causas relativos ao número de eventos, baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente. Fonte: Baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente (2020).

Constata-se, na Figura 9, que 79% dos óbitos registrados com descrições de causa ocorreram devido aos itens:

- (3.3) Intervenção Operacional – 1.993 óbitos decorrentes (44%);
- (1.3) Perda de Função / Catastrófico – 957 óbitos decorrentes (21%);
- (3.2) Falha Humana – 585 eventos classificados (13%).

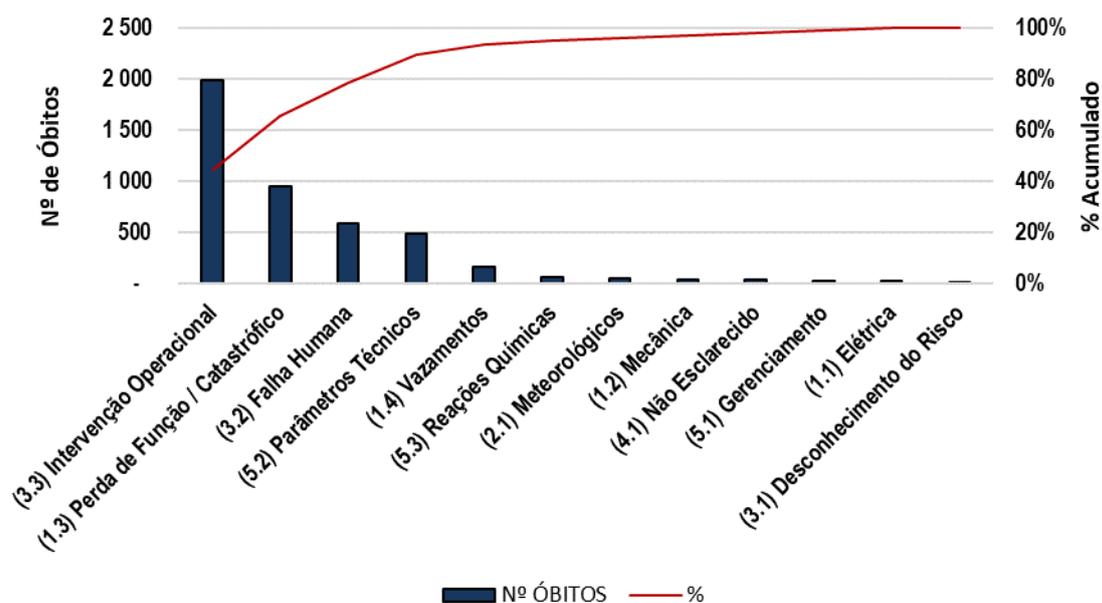


Figura 9 - Diagrama de Pareto para os tipos de causas relativos ao número de óbitos, baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente. Fonte: Baseado nos 1.065 registros na base PUPAD com descrições e causas do acidente (2020).

Análise técnica estampa que, comumente, os acidentes ocorrem devido a uma sucessão de falhas causadoras. Isso é verificado no item (1.3) Perda de Função / Catastrófico, presente no exercício do diagrama de Pareto, tanto em referência ao número de eventos, relativo a 48% das causas, quanto em número de óbitos, (21%) das fatalidades. Pode-se extrair do descritivo que o sequenciamento catastrófico de eventos, devido a lapsos primários e secundários de equipamentos, envolvidos em múltiplos modos de falhas, é o maior causador de acidentes ampliados e o segundo em potencial de vitimização.

Em termos de número de óbitos relativos aos tipos de causa e tratando-se da capacidade em vitimar, temos em destaque o item (3.3) Intervenção Operacional, pertinente a (44%) dos óbitos, segundo Figura 9. O exemplo trazido da base PUPAD da explosão em Neunkirchen, Alemanha, em 1933, ilustra bem esta motivação. Durante os reparos manutentivos em um gasômetro, uma faísca ocasionou uma explosão com mais de 70 m de altura. Foram 65 vítimas fatais, 90 feridos, 170 residências destruídas e mais de 700 habitantes da comunidade vizinha ficaram desabrigados. Apesar do episódio ser longínquo, possui referências bastante atuais. Em 2018, na usina siderúrgica da Gerdau, em Ouro Branco-MG, cinco pessoas vieram a óbito e outras 12 com ferimentos após uma explosão na coqueria da unidade, que também estava em uma intervenção de manutenção (BRASIL, 2017).

O que corrobora para as intervenções operacionais apresentarem alto potencial de fatalidade é o fato de apresentarem uma minimização espacial e temporal do operador com a fonte de perigo, ou seja, a exposição é intrínseca, sendo qualquer falha crucial para o desencadeamento de um acidente.

Abreviando a análise, nota-se que os principais contribuintes para as causas de acidentes maiores apresentados nos diagramas de Pareto se intercalam nas primeiras posições, item (1.3) e (3.3), sequenciado do item (3.2) Falha Humana, sendo vinculada a gatilhos como: não cumprimento procedimental, não percepção dos aspectos e perigos, treinamentos inadequados, controles de risco administrativos, comunicação e planejamento inadequado.

### 5.3. Visão Geral das Motivações de Acidentes em Barragens de Mineração

Do ponto de vista dos acidentes ampliados, decorrentes do rompimento de barragens de mineração, expõe-se duas análises, por recurso do diagrama de Pareto, para assimilação de causa e efeito, sendo: Figura 10 as causas notificadas relativas aos rompimentos e Figura 11 os tipos de alteamento em relação ao número de eventos. Ambos embasados de acordo com o registro do WMTF.

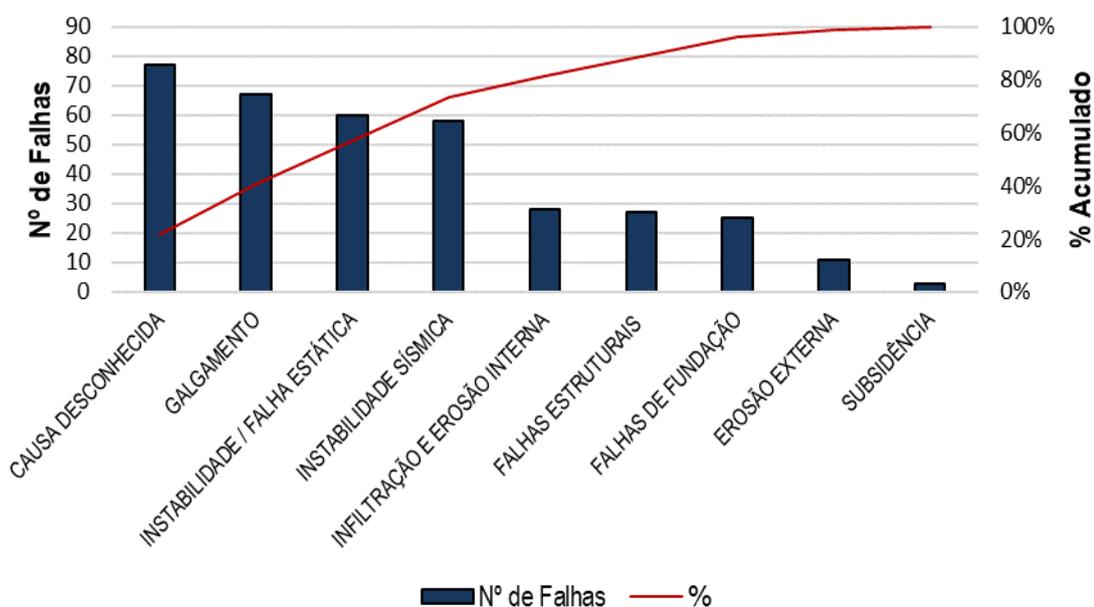


Figura 10 - Diagrama de Pareto para os tipos de causas relativos ao número de rompimento, baseado nos 356 registros na base WMTF normalizados com descrições para causas do evento. Fonte: Baseado nos 356 registros na base WMTF normalizados com descrições para causas do evento (2020).

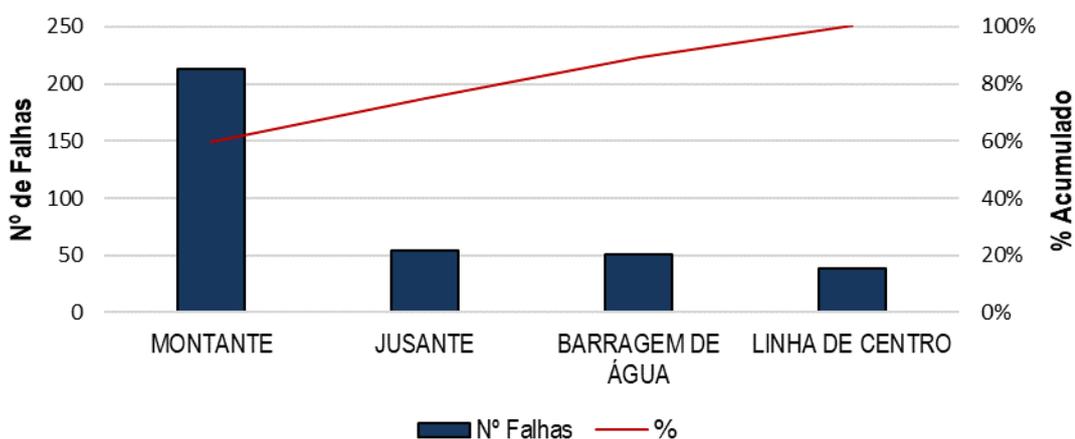


Figura 11 - Diagrama de Pareto para os tipos de alteamento relativos ao número de rompimento, baseado nos 356 registros na base WMTF normatizados com descrições para causas do evento. Fonte: Baseado nos 356 registros na base WMTF normatizados com descrições para causas do evento (2020).

Em termos de qualificação das principais causas que ensejam os rompimentos de barramentos, pode-se concluir, de forma indistinta, visto que (22%) das amostras não contemplam a descrição das causas, que os modos de falha mais presentes, tratando-se de mecanismos propulsores dos eventos em barragens, são:

- Galgamento (19%);
- Instabilidade / falha estática (17%);
- Instabilidade sísmica (16%).

Do ponto de vista tecnológico de construção dos barramentos é evidenciado, dentro do espaço amostral, normatizado, da base de dados do WMTF, como os alteamentos a montante sobressaem em números absolutos de falhas em paralelo aos outros métodos. Contemplando (60%) das falhas notificadas. Em contraposição há o questionamento técnico do método a montante, seria de fato eficiente?

A fim de prosperar com o estudo dos AAA, testou-se as correlações entre óbitos, altura do barramento e volume liberado, via método de Pearson <sup>7</sup>. Não sendo observado correlações entre os itens. Dessa forma, a conclusiva da análise é bastante ampla, porém, de fato, observa-se que o potencial de vitimização é relativamente alto. No espaço amostral do WMTF, encontra-se 365 notificações referente aos últimos 104 anos de coleta, deste total, em 309 registros (85%) não

<sup>7</sup> O coeficiente de Pearson mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados ente -1,0 e 1.0 e reflete a intensidade relativa a dois conjuntos amostrais.

houve nenhuma vítima fatal. Do restante, 47 registros contemplam pelo menos um óbito, sendo a média de mortalidade por eventos desta amostra de 61 óbitos por rompimento. Análise crítica do fato traduz que os maiores impactos, em termos de potencial de vitimização, estão no contexto espacial das vítimas, como por exemplo, localizações dentro das zonas de autossalvamento (ZAS)<sup>8</sup> no momento do rompimento.

A confirmação da temática é exposta quando olhamos o recorte dos acidentes com mais de 100 óbitos presente no WMTF. São dez eventos contabilizados, oito com tecnologia de alteamento a montante, média de 3,3 milhões de metros cúbicos liberados (relativamente baixo perante os atuais reservatórios), média de mortalidade de 233 óbitos por rompimentos e a ocorrência de 100% das vítimas estarem a jusante aos eventos, dentro da área de autossalvamento, no momento do acidente.

#### **5.4. As Análises de Acidentes Anteriores e a Proposta para um Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Risco de Sistemas Passíveis de Falhas**

A partir das análises do capítulo anterior, as quais foram baseadas nas motivações e atribuições causais, evidenciadas nas análises de dados do PUPAD e WMTF, serão apresentadas respectivas barreiras de preventivas e mitigatórias de falhas, aliadas às propostas técnicas de gerenciamento de risco. O trabalho é restrito às análises fundamentadas nos impactos maiores causados por acidentes graves. Outros elementos de risco, como riscos laborais, de negócios e riscos para meio-ambiente estão fora do escopo e limites de controle aqui proposto. Assim como não compete os julgamentos referentes aos requisitos legais aplicáveis dentro de cada contexto, suas alterações regulatórias motivadas pelas catástrofes anteriores e critérios e condições inspeccionais.

Vinculou-se diretamente as causas dos efeitos maiores de múltiplas indústrias ao estudo. A Figura 12 ilustra o diagrama de Causa e Efeito das causas principais e

---

<sup>8</sup> Conforme dispõe a política estadual de segurança de barragens do Estado de Minas Gerais, LEI 23.291, de 25/02/2019, compreende-se zona de autossalvamento (ZAS) como a porção do vale a jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para uma intervenção da autoridade competente em situação de emergência. A delimitação da extensão da zona de autossalvamento, é considerada a maior entre as duas seguintes distâncias a partir da barragem: dez quilômetros ao longo do curso do vale ou a porção do vale passível de ser atingida pela onda de inundação em um prazo de trinta minutos.

seus concernentes desdobramentos, resultado do compilado de investigação de acidentes ampliados, conforme explicitado.



Figura 12 - Diagrama de Causa e Efeito para as principais causas mapeadas que ensejam acidentes ampliados. Fonte: O autor (2020).

Observa-se um universo dos agentes causadores amplo, entretanto concentrado em áreas restritas do conhecimento e gerenciamento de risco, como: controles administrativos, passividades e deficiências tecnológicas, saúde dos ativos e disciplina operacional, gerencial e fiscal sobre os riscos conhecidos. E, em caráter não exaustivo, o desconhecimento do risco, que não sendo compreendido em sua total integralidade, inviabiliza qualquer medida preventiva e mitigadora de acidentes ampliados.

Segundo Kidam e Hurme (2013), há casos em que a contribuição principal, por si só, é suficiente para instaurar e estabelecer o acidente. Entretanto, o desdobramento das causas traz subsídios significativos para o evento. O modelo elaborado por James Reason em 1990, após análise circunstanciada de acidentes, respalda o entendimento trazido por Kidan em sua análise estatística de contribuintes para acidentes de processos químicos. A estratégia Reason (1997), em seu modelo conhecido como queijo suíço, elucida o mecanismo de falhas e acidentes em sistemas complexos. Na estrutura representativa da Figura 13, propõe-se que todo perigo possui salvaguardas e que, na ocasião da transposição e alinhamento das lacunas entre as barreiras, há a ocorrência de perdas e acidentes.

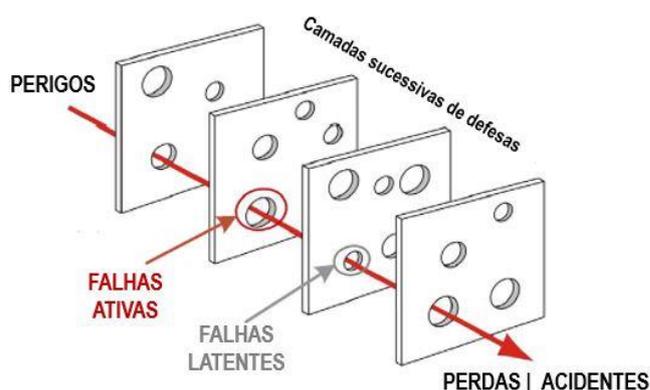


Figura 13 - Modelo de queijo suíço de Reason (1997). Fonte: Yang e Haugen (2018) adaptado pelo autor.

As falhas ativas são os atos inseguros, cometidos pelas pessoas por processo de interferências diretas no sistema, e acionam eventos indesejados. Via de regra, possuem impactos momentâneos na integridade das barreiras. De acordo com a análise estatística das principais causas, apresentada no capítulo anterior, podemos exemplificar as falhas ativas por meio das intervenções operacionais manutentivas e operações fora dos parâmetros técnicos procedimentados.

De acordo com Reason (2000), relativos às falhas latentes, há os “patógenos residentes” dentro do sistema, que surgem de exposições, como: decisões equivocadas tomadas por gestores e engenheiros, deficiências tecnológicas, procedimentos e normas técnicas falhas, controles administrativos e ativos não confiáveis. Cabe ressaltar que mecanismos de fiscalização destituídos e escassos, aliados ao não conhecimento íntegro dos riscos envolvidos nas atividades, fortalecem e criam fendas nas falhas latentes.

Segundo Yang e Haugenb (2018), pode-se considerar uma interpretação clássica tratar barreiras, sobretudo, como meios técnicos para impedir a progressão de uma fonte perigosa. São estratégias de controle comumente referidas como princípio de “defesa em profundidade” (IAEA, 1999). Amparado no modelo de Reason (2000) e nos fundamentos causais dos acidentes ampliados levantados, a análise destaca-se promovendo quais seriam os modos de defesa investidos, assim como a delimitação para os papéis e responsabilidades dos agentes envolvidos na indústria mineira para um gerenciamento de risco coeso, racional e harmônico. A Figura 14 remete ao compilado das falhas mapeadas, barreiras de controle recomendáveis e mecanismo gerencial aplicável, apresentando o Modelo contínuo

de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, proposto neste trabalho.

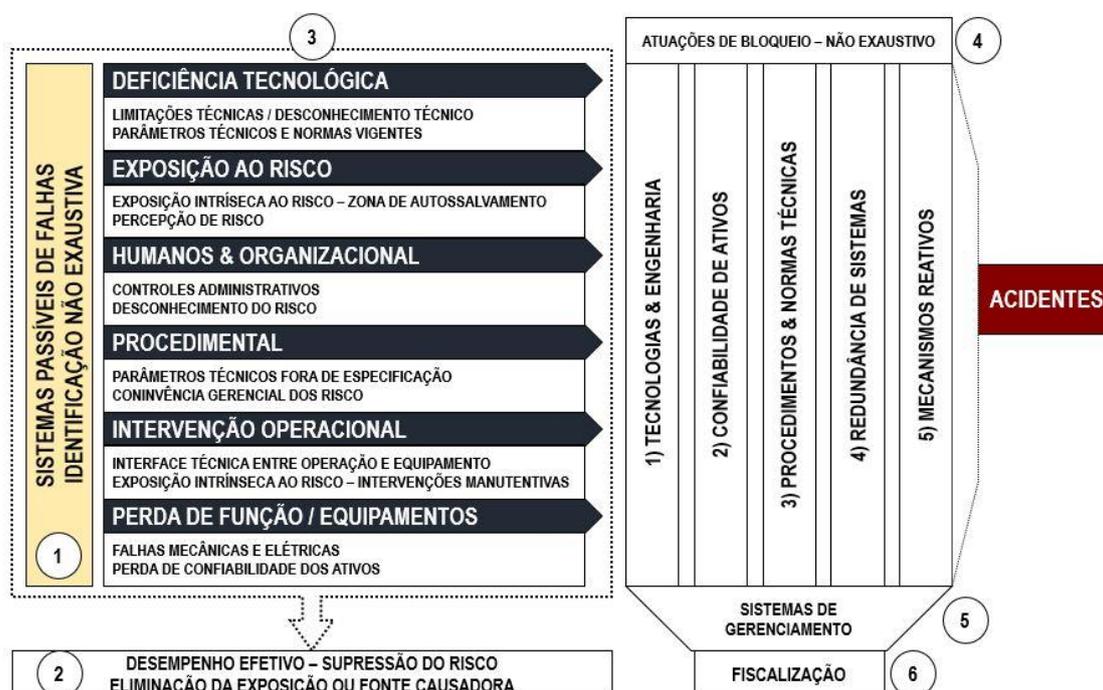


Figura 14 - Modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração. Fonte: O autor (2020).

Cada setor específico traz consigo necessidades particulares para o gerenciamento de risco, não sendo diferente na mineração. Dessa forma, esse modelo sugere, como primeira etapa (1), sob responsabilidade de gerenciamento de alto nível, o estabelecimento do contexto histórico como um mecanismo de observação e levantamento dos perigos, riscos, aspectos e impactos referente aos riscos na indústria mineira, sendo necessário e mandatário o mapeamento não exaustivo dos riscos da atividade, que em muitas práticas são mapeados por matrizes de riscos alimentadas por protocolos padrões preestabelecidos. Esta etapa é crucial para o processo, pois averigua onde ocorre as identificações das fontes potenciais de perigo. Deve-se ser revisitada em caráter periódico, assim como realizar análise de abrangência de acidentes anteriores similares à área. Observa-se que o fomento dos sistemas passíveis de falha originou-se das análises estatísticas das bases de informações PUPAD e WMTF, aqui identificados.

De posse da identificação das fontes de ameaça, inicia-se a etapa (2), com a adoção de uma estrutura técnica e científica de engenharia para aplicar o desempenho efetivo com a supressão do risco. A eliminação ocorrerá de forma

eficiente, quando não houver exposição ou a fonte for neutralizada. Não sendo possível a anulação do risco, desdobra-se os sistemas passíveis de falhas identificados previamente, etapa (3), com objetivo de discernir os sistemas sujeitos às falhas ativas e latentes.

Etapa (4), processo de atuação de bloqueios aos sistemas passíveis de falhas, deve ser desenvolvida iterativamente por equipe multidisciplinar, envolvendo equipe técnica de engenharia, fornecedores de novas tecnologias, centro de pesquisas, universidades, comunidades e *benchmarking* setoriais. Como modo de defesa primário, deve-se submeter preferencialmente, bloqueios e controles de engenharia, relativos a soluções tecnológicas voltadas para o risco. Para isso, é imprescindível o envolvimento com centros de pesquisa, desenvolvedores de novas tecnologias e soluções, parcerias com as universidades e por fim, modelar-se diante dos *benchmarkings* existentes.

Como segunda atuação de bloqueio, deve-se encarregar da confiabilidade dos sistemas e saúde dos ativos. A intervenção operacional é um dos fatores mais desencadeadores de grandes acidentes. Sendo assim, manter um comitê técnico de engenharia de confiabilidade voltado para ativos críticos, aliados às manutenções sistemáticas, é fundamental para garantia da salvaguarda.

Procedimentos e normas técnicas estabelecidos de acordo com os parâmetros de processos e requisitos legais vigentes irão formar a terceira atuação de bloqueio. As responsabilidades da execução dentro dos limites aceitáveis são estritamente da gestão do empreendimento, entretanto, as agências reguladoras devem auferir normas e requisitos que garantam os critérios e fatores mínimo para a segurança das operações e comunidades. A redundância de sistemas deverá compor a quarta atuação de bloqueio, no qual, se houver alinhamento prévio das lacunas nos três primeiros modos, este garantirá a segurança das operações. O corpo técnico de engenharia tem como papel desenhar e projetar instalações industriais que proporcionem o uso da redundância de sistemas de segurança.

Por fim, deve-se habilitar nos mecanismos reativos como quinta atuação de bloqueio. Capacitações e simulações persistentes, com todos os *stakeholder*, devem ser contempladas em cronogramas pela equipe técnica de engenharia e segurança do trabalho. Além disso, envolver atores externos é fundamental para a certificação da eficácia do sistema, assim como todas as atuações de bloqueio devem ser encaradas, compulsoriamente, como não exaustivas.

A etapa (5) refere-se à governança e gerenciamento de risco. Portanto, diz respeito às Certificações em protocolos normativos, célula de gestão interna e auditorias para precaver o fluxo do executivo e, portanto, devem ser tratadas com bons olhos pelas operações; e havendo fendas dentro do processo. Ademais, a etapa (6) é de suma importância para blindar, visto que, de responsabilidade de órgãos governamentais, as fiscalizações devem atuar incisivamente junto às operações para garantia dos requisitos legais. Finalmente, o sequenciamento do modelo deve ser tratado em caráter periódico e vivo, havendo sempre o questionamento se estamos operando da melhor forma possível.

### **5.5. Aplicação do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Risco de Sistemas Passíveis de Falhas**

Nesse capítulo será observado a introdução do protocolo de aplicação do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Riscos. Como exemplo de aplicação, será apresentado o emprego do protocolo em duas operações mineiras e seus resultados. Por fim, teremos o embasamento teórico e conceitual, aliado a análise de estudo do protocolo do modelo que compreenderá as conclusões deste estudo.

#### **5.5.1. Protocolo para aplicação do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração.**

Com o propósito de experimentar os conceitos do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Riscos e mensurar o nível de atendimento das operações mineiras no modelo, desenvolveu-se um protocolo<sup>9</sup> de aplicação, baseado em cinco elementos, sendo:

---

<sup>9</sup> O protocolo de aplicação do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas, voltados para acidentes ampliados, presente no ANEXO deste trabalho, tem como objetivo apoiar a comunidade acadêmico-científica e os empreendimentos mineros-metalúrgicos na compreensão das práticas de gerenciamento de riscos e prevenção das perdas. Os autores autorizam a reprodução total e parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo, pesquisa ou em caráter profissional deste que citada a fonte. O protocolo está disponível em:

[https://drive.google.com/drive/folders/1zKbIhADvXch\\_Kk4SymmaQE2fel8iQTey?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1zKbIhADvXch_Kk4SymmaQE2fel8iQTey?usp=sharing)

1. **ESTRUTURA:** compreende os tópicos relacionados à governança, organização, concepção e integração dos elementos essenciais que compõem um corpo de gerenciamento de riscos da organização. A configuração de itens e seus componentes descritos em subitens verificam os atendimentos em termos de: estrutura de governança verticalizada na organização voltada para o gerenciamento de riscos, política integrada dos elementos de gestão de riscos, estrutura técnica e científica para gerenciamento de riscos e a garantia dos processos de gestão de riscos como parte das atividades da organização.
  
2. **PROCESSOS:** comporta às alíneas relacionadas à identificação, avaliação e tratamento de riscos, assim como os aspectos de gestão de processos, tais como: *inputs*, *outputs*, fornecedores e clientes do sistema de gerenciamento de riscos, indicadores de performance de riscos e processo de procedimentação e padronização.
  
3. **TECNOLOGIA:** o elemento trata-se do conjunto de técnicas, habilidades e métodos empregados para o desempenho efetivo do risco, ou seja, eliminação do perigo ou da exposição, e do desempenho reativo, onde considera-se os itens de controle e mitigação do impacto.  
Neste conceito, o elemento tecnologia pode ser compreendido em termos do domínio de técnicas científicas e processos de engenharia aplicados sobre os conceitos de tratamento e controle dos riscos. Entre os efeitos da tecnologia estão a não observância de controles administrativos voltados ao gerenciamento de risco ampliados.
  
4. **SISTEMAS DE GERENCIAMENTO:** é o elemento do modelo que integra as disciplinas de planejamento, organização, controle e monitoramento. A integração pode ser vista por meio de um processo de perspectiva funcional, como planejamento estratégico voltado para a gestão de riscos, planos de atuação para atendimento às práticas de gerenciamento de riscos e estabelecimento de metas; mediante a perspectiva sistêmica, como o desdobramento de metas dos riscos ampliados, sistemas de controle e monitoramento das variáveis críticas do processo, metodologias técnicas e

gerenciais para verificação da eficácia do tratamento dos desvios identificados ao gerenciamento de riscos maiores.

5. SISTEMAS TÉCNICOS E RESULTADOS: o elemento contém os aspectos relacionados ao desempenho e evolução dos resultados do processo de gerenciamento de riscos, tendências, atendimento aos prazos e critérios dos planos de metas, requisitos e expectativas previamente definidos. Assim como é trazido as pontuações referentes aos fatores técnicos e humanos, tais como: observância de técnicas gerenciáveis a partir de *benchmarking* setoriais, desenvolvimento de tecnologia, aprimoramento intelectual por meio das universidades e centro de pesquisa, capacitação da estrutura voltada ao gerenciamento de riscos da companhia, planos emergenciais e mitigatório, agenda de comunicação e responsabilização por atributos dentro da estrutura de gerenciamento de riscos.

Para aplicação do protocolo qualifica-se o atendimento em quatro aspectos, sendo:

- ✓ INEXISTENTE: o subitem não é atendido;
- ✓ INFERIOR: existe o conceito e a prática do subitem em caráter primário, sendo necessário tempo e/ou recursos para o atendimento e desenvolvimento da maturidade;
- ✓ EXISTENTE: observa-se o conceito e a prática do subitem, porém não em sua plenitude e/ou com a maturidade ainda em fase de desenvolvimento;
- ✓ ATENDIMENTO PLENO: o subitem é atendido em sua plenitude, com observação de maturidade dentro do elemento.

A Figura 15 abaixo ilustra o termômetro métrico do nível de atendimento e qualificação aos itens do protocolo de Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas, voltados para riscos maiores no setor mineiro-metalúrgico. Os aplicadores capacitados à aplicação do protocolo, devem precisar necessariamente ter como critério qualitativo, os quatro aspectos aqui apresentados.

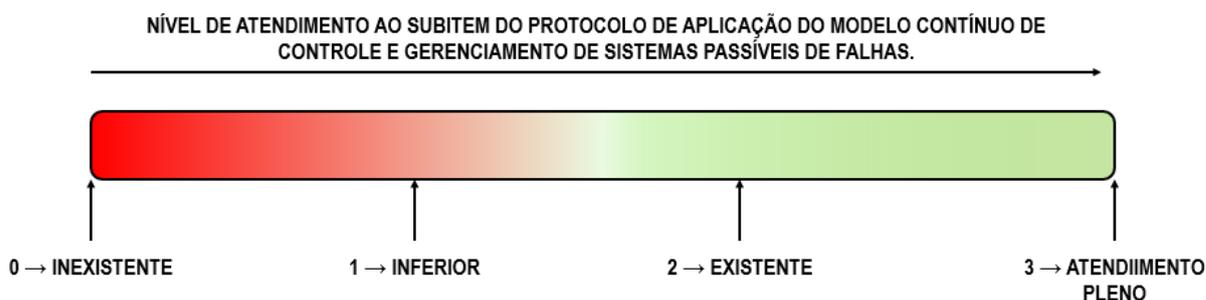


Figura 15 - Nível de atendimento e qualificação aos itens do protocolo do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas Fonte: O autor (2020).

Os elementos são examinados e qualificados por meio das pontuações de atendimentos ao protocolo do MCCG. Obtém-se o resultado quantificado por meio de uma régua métrica percentual de cada elemento, como evidenciado na Figura 16.



Figura 16 - Nível de atendimento e qualificação aos itens do protocolo do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas. Fonte: O autor (2020).

Em princípio, o potencial de uma organização, em sua plenitude de gerenciamento, mitigação e controle de risco é alcançado quando se obtém 100% de atendimento na métrica do MCCG. Entretanto, por meio das premissas teóricas e conceituais aqui apresentadas, trata-se a proposição métrica de 67% de

atendimento como limítrofe mínimo de segurança exigido para prevenção e gerenciamento dos riscos maiores, face ao fato de representar a aplicação estruturada de controles aos sistemas passíveis de falha, mesmo reconhecendo-se pela aplicação da metodologia, haver potencial de melhoria. Ou seja, neste contexto, deliberou-se em caráter arbitrário, sustentado por meio dos conceitos técnicos aqui desenvolvidos a métrica limítrofe mínimo.

Desta forma, as organizações e seus *stakeholders* precisam se autodiagnosticar e promover as condições necessárias para elevar os níveis de atendimento até a plenitude do MCCG, sugerindo-se o uso do protocolo desenvolvido para esta finalidade.

### **5.5.2. Exemplo de aplicação: emprego do protocolo do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Risco voltados para riscos maiores no setor mineiro-metalúrgico.**

Com a intenção de prover um caráter experimental e trazer à luz os tópicos desenvolvidos no Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Risco, diagnosticou-se, por meio da aplicação do protocolo MCCG, dois empreendimentos mineiros. Que serão tratados aqui por simplesmente: OPERAÇÃO 1 e OPERAÇÃO 2; a fim de proteger e não expor a imagem, haja visto que não se tem autorização para divulgação detalhada das operações. Essa omissão não compromete o estudo, uma vez que o que se discute e apresenta é a aplicação do método baseado no protocolo MCCG.

A seleção dos empreendimentos compreendeu-se por meio de duas operações mineiras distintas, a fim de obter uma maior abrangência ao uso do MCCG. A aplicação ocorreu por intermédio de profissionais capacitados<sup>10</sup> de cada operação, aqui identificados como Avaliador 1 para a OPERAÇÃO 1 e Avaliador 2 para a OPERAÇÃO 2. A Tabela 6 traduz os aspectos das operações diagnosticadas por meio do protocolo MCCG.

---

<sup>10</sup> Entenda-se profissionais capacitados aqueles que obtêm capacitações sob orientação e responsabilidade de profissional legalmente habilitado. Aqui considerados competentes e aptos para a aplicação do MCCG. Prezando uma análise técnica, íntegra e imparcial.

Tabela 6 - Descritivos das operações mineiras diagnosticadas por meio do protocolo MCCG.

# ITEM	OPERAÇÃO 1	OPERAÇÃO 2
<i>Commodity</i>	Ouro	Fosfato
<i>Método de Lavra</i>	Operação subterrânea em subnível por realces	Operação céu aberto em lavra por bancadas
<i>Movimentação Anual de ROM</i>	480 kt	520 kt
<i>Operações Unitárias</i>	Operação integrada em lavra, beneficiamento e metalurgia	Operação semi-integrada em lavra e beneficiamento
<i>Região da Operação</i>	Sudeste	Nordeste
<i>Número de Empregados</i>	500	220
<i>Sistema de Gestão</i>	Sistema de gestão interno, compreendendo gestão, saúde, segurança e meio ambiente. Aplicação do <i>Enterprise Risk Management</i> .	Sistema de gestão interno e aplicação do protocolo ISO 9001, 14001 e 45000. Porém, não contemplando a certificação.

Fonte: O autor (2020).

A Tabela 7 ilustra o painel de resultados do diagnóstico de aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 1, sendo observado o resultado de cada elemento desdobrado em seus itens e o nível de atendimento de cada item ao modelo aqui proposto. Os elementos da OPERAÇÃO 1 diagnosticados obtiveram o resultado quantificado de acordo com régua métrica percentual de cada elemento, como evidenciado na Figura 17.

A observância é análoga para OPERAÇÃO 2, onde a Tabela 8 ilustra o painel de resultados do diagnóstico de aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 2 e a Figura 18 evidencia o resultado quantificado de acordo com a régua métrica percentual para a aplicação na OPERAÇÃO 2.

Ambos os resultados foram conduzidos pelos avaliadores das operações em questão, considerados competentes e aptos para a aplicação do MCCG. Foi prezado uma análise técnica, íntegra e imparcial; onde as partes diagnosticadas não impuseram interesse no processo de aplicação e objetivaram um resultado coeso, a fim de identificar e promover atuações que possibilitam um cenário futuro promissor em termos de gerenciamento de riscos.

Tabela 7 - Painel de resultados da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 1.

PAINEL DE RESULTADOS OPERAÇÃO 1		
ELEMENTO	ITEM	NÍVEL
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	INFERIOR
	1.2. Concepção	INEXISTENTE
	1.3. Integração	INEXISTENTE
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	INEXISTENTE
	2.2. Tratamento dos Riscos	INEXISTENTE
	2.3. Gestão de Processos	INEXISTENTE
3. TECNOLOGIA	3.1 Desempenho Efetivo	INEXISTENTE
	3.2 Desempenho Reativo	INEXISTENTE
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	INEXISTENTE
	4.2 Organização	INEXISTENTE
	4.3. Controle e Monitoramento	INEXISTENTE
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	INEXISTENTE
	5.2. Fatores Técnico e Humanos	INFERIOR

Fonte: O autor (2020).

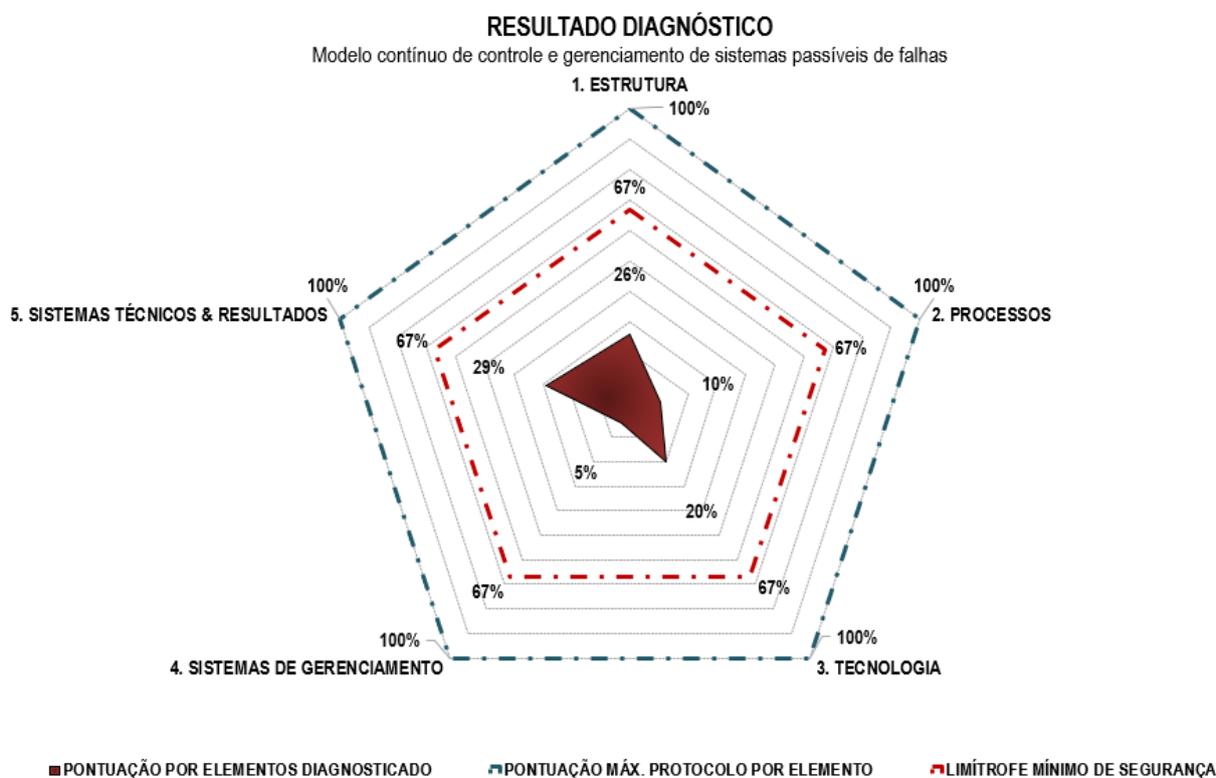


Figura 17 - Resultado métrico da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 1. Fonte: O autor (2020).

Tabela 8 - Painel de resultados da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 2.

PAINEL DE RESULTADOS OPERAÇÃO 2		
ELEMENTO	ITEM	NÍVEL
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	INFERIOR
	1.2. Concepção	INEXISTENTE
	1.3. Integração	INEXISTENTE
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	INEXISTENTE
	2.2. Tratamento dos Riscos	INFERIOR
	2.3. Gestão de Processos	INEXISTENTE
3. TECNOLOGIA	3.1 Desempenho Efetivo	INEXISTENTE
	3.2 Desempenho Reativo	INEXISTENTE
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	INEXISTENTE
	4.2 Organização	INEXISTENTE
	4.3. Controle e Monitoramento	INEXISTENTE
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	INEXISTENTE
	5.2. Fatores Técnico e Humanos	INFERIOR

Fonte: O autor (2020).

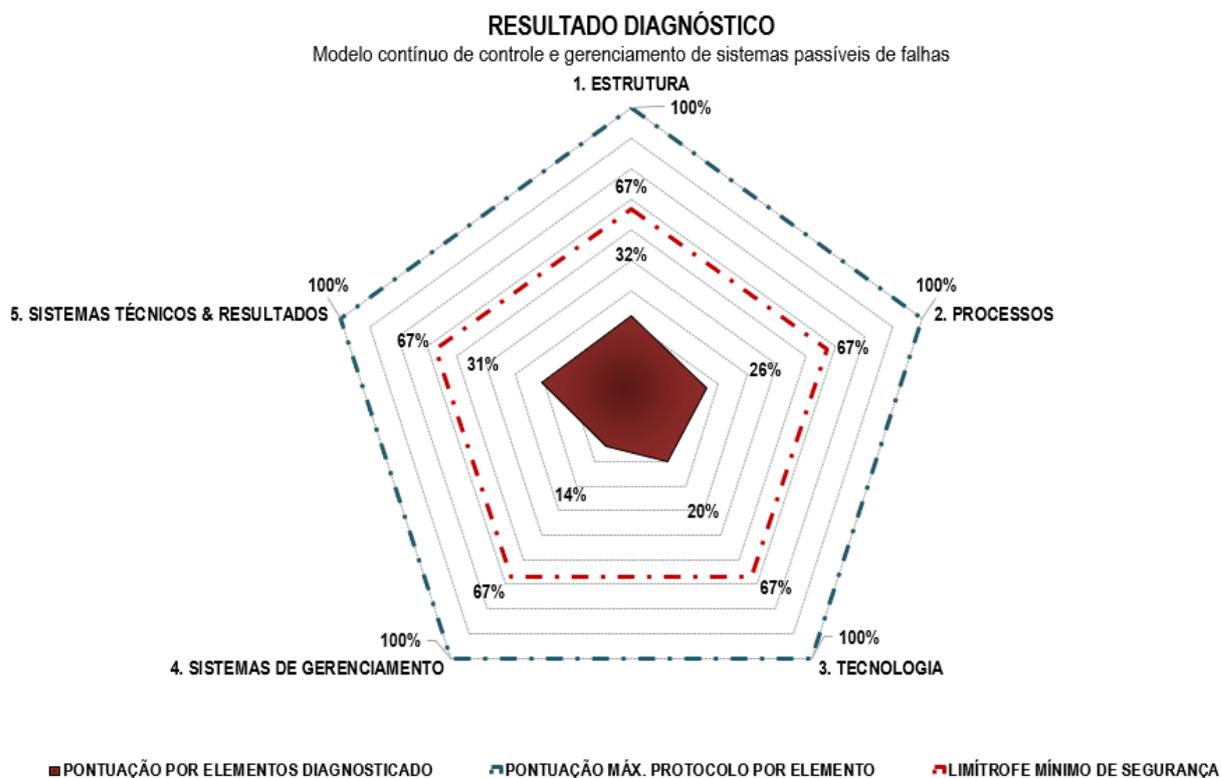


Figura 18 - Resultado métrico da aplicação do protocolo MCCG na OPERAÇÃO 2. Fonte: O autor (2020).

Uma análise prévia do resultado, com base nos elementos diagnosticado, sugere patamares de não atendimento ao MCCG e equivalência em níveis de inexistência dos itens do protocolo entre as duas operações. A Tabela 9 abaixo sumariza os resultados métricos da aplicação do protocolo MCCG nas OPERAÇÃO 1 e 2.

Tabela 9 - Compilado do resultado métrico da aplicação do protocolo MCCG nas OPERAÇÃO 1 e 2.

ELEMENTO	OPERAÇÃO 1	OPERAÇÃO 2
1. ESTRUTURA	26%	32%
2. PROCESSOS	10%	26%
3. TECNOLOGIA	20%	20%
4. SISTEMA DE GERENCIAMENTO	5%	14%
5. SISTEMAS TÉCNICOS E RESULTADOS	29%	31%

Fonte: O autor (2020).

Entretanto, entende-se que a análise *ipsis litteris* do resultado não se refere que as operações estão com exposições elevadas e probabilidade de riscos maiores com eminência de perdas. Tendo em conta que parte das práticas propostas nos itens dos elementos do protocolo, como já evidenciado na fundamentação teórica, consistem em conceitos, técnicas, ferramentas e *modus operandi* relativamente recente para as operações mineiras, reconhecido como o estado do conhecimento para o gerenciamento de riscos já consolidado para alguns setores. O que se obtém é uma maior compreensão sobre o processo de aplicação do modelo proposto, os conceitos concebidos com a finalidade de evitar perdas maiores e uma correlação direta de como essas operações diagnosticadas estão perante o estado da arte da gestão de risco apresentado por meio do MCCG. Ou seja, temos muitas oportunidades em elevar o atendimento ao MCCG e tornar essas operações mais seguras, confiáveis e sustentáveis.

A opinião dos avaliadores sobre o processo de aplicação do protocolo MCCG objetiva evidenciar o que diferencia a proposta em questão dos recursos até então empregados e o torna um modelo a ser considerado. Sendo assim, alguns pontos foram abordados, tais como: aplicabilidade, viabilidade, representatividade, relevância e o quão abrangente pode ser dentro do cenário mineiro-metalúrgico.

Os avaliadores das operações selecionadas para aplicação do protocolo MCCG, expuseram, em forma de entrevista, as respostas para as solicitações dos pontos abordados, sendo que o Avaliador 1 destacou:

O uso de MCCG mostrou-se fundamental para a uma maior compreensão e auxílio das práticas de gerenciamento de riscos e prevenção das perdas. Uma das principais vantagens do método é visualização gráfica do nível de atendimento e a exposição de quais elementos estão deixando por desejar. A aplicação mostrou-se simples e ampla, alguns itens, de fato são tratados como novos em nossa operação, como análise e abrangência por meio dos acidentes anteriores, ferramentas de controle de riscos e *dashboard* de indicadores de performance de risco. Entendo que representa bem os pontos que precisamos melhor dentro de uma mina, porém para a implementação modelo, será necessário que alta liderança a inclua na estratégia de gestão da empresa.

O mesmo aspecto repete-se para o Avaliador 2, onde observa-se o seguinte comentário sobre a proposta de gerenciamento por intermédio do MCCG.

A aplicação do protocolo do Modelo de Controle Contínuo de Gerenciamento de Risco é extensa e abrangente. Falamos de 100 itens a serem diagnosticados e atendidos. Isto mostra como a análise é completa. É importante destacar que alguns itens são novos para a nossa operação, apesar de entendermos a relevância dentro do cenário de gestão de riscos, por isso acredito não haver dificuldades nas implementações e aplicações futuras desses itens. Destaco a importância da elaboração de planos e de um sistema de gestão que já contemplam os itens de riscos, conforme o modelo sugere. Para termos o atendimento em 100% dos itens em nossa operação não basta apenas recurso e tempo, e sim o empenho de todos da organização.

De fato, o que se observou, nas aplicações do protocolo MCCG nas duas operações, foi uma não utilização dos conceitos, técnicas e melhores práticas de gerenciamento de riscos. No entanto, ambas as operações possuem sistemas e tratativas internas que conduzem as disciplinas de perigos, aspectos e riscos; e são favoráveis ao entendimento e prática previstos no MCCG. Isto demonstra que o diagnóstico possibilitou uma melhor contextualização na temática e, por consequência, uma análise crítica mais eficaz do cenário atual de cada operação, além de evidenciar os itens providos de melhorias.

Em ambos os diagnósticos, observou-se que o apoio da liderança é fundamental para o sucesso do gerenciamento de risco e aplicação das práticas do MCCG, pois determina a garantir de disponibilidade de recursos, suporta no comprometimento dos colaboradores envolvidos e no apoio das tomadas de decisão. Também foi evidenciado a necessidade de se adaptar às melhores práticas de mercado em termos de gestão de riscos, como análise e abrangência de eventos anteriores, exposição dos indicadores de performance de riscos por meio de *dashboards* e que tenhamos planos que considerem os tópicos de prevenção de perdas e identificação, análise e tratamento de riscos como prioritários.

Por fim, como trazido previamente, trata-se em princípio, o potencial máximo de gerenciamento, mitigação e controle de risco é alcançado quando se obtém 100% de atendimento na métrica do MCCG. E por intermédio das premissas teóricas e conceituais, extrapola-se a métrica de 67% de atendimento aos itens dos elementos do protocolo como limítrofe mínimo de segurança para o gerenciamento dos riscos maiores. Embora reconhecendo-se que a aplicação, em sua plenitude, do MCCG não é garantia dá não possibilidade de perdas, sendo um mecanismo gerencial, de análise e aprimoramento contínuo a ser utilizado em conjunto com as inspeções e vistorias técnicas, diretrizes e requisitos legais estabelecidos para as operações mineiras.

A aplicação do MCCG é uma diretriz teórico-conceitual para a indicação de atuações, promovendo às tomadas de decisões com base nos conceitos de gestão de riscos. Desta forma, as organizações e seus *stakeholders* precisam se autodiagnosticar e promover as condições necessárias para elevar os níveis de atendimento até a plenitude do MCCG, que se sugere ocorrer por meio de um plano de ação e atendimento aos itens dos elementos do MCCG, sendo alicerçados nas premissas internas de cada organização. Isto posto, entende-se que a cultura do gerenciamento de risco e prevenção de perdas estará no *modus operandi* da operação.

É de consciência do autor que o progresso e evolução do modelo acontecerá por meio da aferição da tecnologia na prática, como evidenciado em primeira mão neste estudo. Sendo pautados todas as contribuições necessárias à qualidade do modelo.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Iniciamos este estudo com o seguinte questionamento: é possível fazer mineração responsável e produtiva? Sim, é possível! Uma análise dos dados industriais evidenciou o lamentável fato de que acidentes ampliados são uma realidade no meio industrial há dezenas de anos, sendo impulsionados, principalmente, pelos eventos da indústria química e petroquímica, como explosões, incêndios e emissões. Entretanto, a mineração marca presença negativa no ranking. O setor de exploração de carvão mineral, alavanca a taxa de mortalidade do setor, sendo a maior parte observada na amostra. Explosões em minas subterrâneas, decorrentes de gases e poeiras inflamáveis, contribuem com o número. Rompimentos de barragens de rejeitos não são uma singularidade da mineração brasileira, havendo uma excelente oportunidade de aprendizado com o passado. Nos desastres resultantes de barragens que mais vitimaram, todas as vítimas estavam no momento do colapso, a jusante ao barramento, na zona de autossalvamento.

Ademais, observamos que as principais motivações causadoras dos acidentes ampliados são: deficiência tecnológica, exposição intrínseca ao risco, falhas humanas e organizacionais, intervenções operacionais e perdas de função de equipamentos. Todas, são passíveis da supressão do risco, como presenciamos nas atuais descaracterizações de barragem com alteamento a montante, são gerenciáveis por recurso do modelo proposto.

Conceitos, técnicas e ferramentas para o gerenciamento de riscos são evidenciados por meio do principal normativo vigente, assim como análise de *benchmarking* setorial demonstrou a possibilidade de replicar, como já acontecem em alguns casos, práticas e conceitos já consolidados em diferentes setores. Onde todos esses tópicos fomentaram a formação do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas, que finalmente foi experimentado na prática após o desenvolvimento e aplicação do protocolo MCCG em duas operações mineiras.

Como resultado do exemplo de aplicação do protocolo, concluímos que as operações diagnosticadas possuem patamares de não atendimento ao MCCG e equivalência em níveis de inexistência dos itens dos elementos do protocolo, ou seja, não possuem os conceitos, técnicas e melhores práticas de gerenciamento de

riscos dentro dos limítrofes mínimos de segurança para o gerenciamento dos riscos maiores, existindo uma grande oportunidade de progresso na temática. Por um outro lado, o exercício habilitou às operações, uma melhor contextualização do tema e uma análise crítica mais aprofundada do seu real cenário.

As qualificações providas ao MCCG por parte dos avaliadores promoveram a conclusão de que a proposta do MCCG se torna um modelo considerável, e por intermédio das entrevistas, observamos a capacidade de aplicação, viabilidade, representatividade, relevância e abrangência do modelo aqui desenvolvido e apresentado.

Em ambos os diagnósticos, observou-se que o apoio da liderança é fundamental para o sucesso do gerenciamento de risco e aplicação das práticas do MCCG, desta forma, concluímos e sugerimos que as organizações se autoavaliem, e que os atores e *stakeholders* promovam as condições necessárias para o atendimento do limítrofe mínimo do MCCG, aqui proposto.

Por fim, não cabe a nós, por meio deste trabalho, julgar as motivações anteriores que levaram a cenas lamentáveis na mineração, porém o estudo resgata a noção dos desastres ampliados e a importância de se aprender com o passado para gerir o futuro de forma segura e produtiva. Neste sentido, acreditamos que aplicação da tecnologia do MCCG na prática, permitirá seu refinamento e a elaboração de trabalhos futuros visando o seu aprimoramento e progresso das disciplinas de gestão de riscos.

### **6.1. Análise dos resultados e identificação das contribuições**

Este tópico visa responder o objetivo geral e os objetivos específicos propostos no desenvolvimento deste trabalho, sendo o objetivo geral, a apresentação à comunidade acadêmica e profissional do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração e responder, por meio da aplicação do protocolo desenvolvido, como é possível obter um processo de gerenciamento de risco que proporcione operações mineiro-metalúrgicas responsáveis, sustentáveis e produtivas.

A apresentação e desenvolvimento do MCCG é evidenciado ao longo deste estudo, e o protocolo para aplicação está disponível nos anexos, assim como *link*

para livre acesso ao protocolo. Por meio do exemplo de aplicação, evidenciamos as oportunidades de progressos e fragilidades diante dos itens de cada elemento do modelo, sendo necessário que as organizações se autoavaliem, e com uso de planos de atuações, os envolvidos nos processos, assim como os seus *stakeholders* promovam as condições necessárias para o atendimento do limítrofe mínimo do MCCG estabelecido em caráter arbitrário em 67% de atendimento.

Com relação aos objetivos específicos desta pesquisa, temos:

- ✓ O resgate da noção dos desastres ampliados na mineração, assim como apresentação do contexto histórico e atual dos acidentes maiores na mineração está demonstrado e evidenciado no embasamento teórico do desenvolvimento do modelo. As análises das bases de dados do PUPAD e WMTF possibilitaram esses resultados.
- ✓ Está presente a análise dos cenários de acidentes ampliados mineiros diante de outras indústrias, onde observamos que apesar do setor mineiro não ser o de maior frequência em termos de eventos, é o de maior potencial de fatalidade, sendo rompimento de barragens a montante e eventos em operações de carvão subterrâneas os maiores impactos deste amostral. As análises da base de dados WMTF aliado aos estudos referenciados no texto permitiram essas conclusões.
- ✓ A identificação das principais causas que ensejam acidentes ampliados na mineração é trazida no diagrama de causa e efeito para as principais causas mapeadas de acidentes e na ilustração do modelo contínuo de controle e gerenciamento de sistemas passíveis de falhas, voltados para acidentes ampliados na mineração.
- ✓ Apresentação das principais motivações de rompimentos de barragens de mineração e dimensões de impactos encontra-se no capítulo Visão Geral das Motivações de Acidentes em Barragens de Mineração, onde a partir das análises de Pareto dos registros WMTF expõe-se as causas notificadas relativas aos rompimentos e os tipos de alteamento em relação ao número de eventos.

- ✓ A proposição das atuações e responsabilidades dos envolvidos nos processos de riscos na mineração, consistem na garantia de atendimento do limítrofe mínimo do MCCG estabelecido em caráter arbitrário em 67%, para tal fim, é necessário que as operações conheçam o modelo, se autoavaliem, tenham um plano de atuação e promovam os recursos necessários para o progresso da temática.
  
- ✓ O fomento de estudos multiplicadores para garantia da segurança operacional e de processos no setor mineiro-metalúrgico acontecerá a partir da disponibilização do protocolo a comunidade acadêmico-científica e aos empreendimentos mineiros, assim como apresentação por meio desta dissertação do *modus operandi* previsto para o uso e aplicação do MCCG aos interessados.

## **6.2. Recomendações para trabalhos futuros**

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram identificadas algumas carências que não puderam ser tratadas e que podem ser alvo de futuras pesquisas, a saber:

- ✓ Desenvolvimento da tecnologia do MCCG por meios experimentais e práticos, que permitirá o refinamento e aprimoramento dos itens dos elementos do modelo aqui proposto, assim como o estabelecimento científico do limítrofe mínimo de atendimento ao modelo.
  
- ✓ Abrangência de aplicação. Aqui neste trabalho foi apresentado um estudo de caso a partir da aplicação do MCCG em duas operações mineiras. O autor entende que os resultados deste estudo de caso não compreendem o cenário mineiro em sua plenitude. Sendo necessário um maior número de aplicação e resultados do protocolo MCCG para formular um cenário estatístico que representativo.

- ✓ Mecanismo de retro análise, abrangência de eventos e modelagem contínua, a fim de obter o aprendizado com as análises *post mortem* e prover *inputs* ao MCCG.
- ✓ Consideração das questões dinâmicas dos requisitos legais aplicáveis às operações mineiras, assim como os itens proativos de desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias.
- ✓ Digitalização e automação do MCCG e seu protocolo de aplicação em uma plataforma disponível à comunidade acadêmico-científica e as organizações mínero-metalúrgicas, a fim de proporcionar o uso contínuo do modelo.
- ✓ Aplicação da metodologia como um todo: propõe-se que sejam feitos estudos que incluam aplicações da metodologia, indicação de ferramentas e técnicas contemplando os impactos financeiros, nos níveis do desdobramento da organização, a fim de identificar melhorias e evidenciar as adequações necessárias para a aplicação em sua abrangência no setor mínero-metalúrgico.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 31000:2018** - Gestão de riscos: Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2018. 22p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 31010:2012** - Gestão de riscos: Técnicas para o processo de avaliação de riscos. Rio de Janeiro, 2012. 96p.

AS/NZS. Standards Australia and Standards New Zealand. **AS/NZS 4360:1999** – Risk Management Standard. Australia and New Zealand, 2004. 120p.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA MINAS GERAIS (2016). **Lei nº 23.291**, de 25 de fevereiro de 2019. Institui a política estadual de segurança de barragens. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=LEI&num=23291&comp=&ano=2019>. Acesso em: 22 abr. 2020.

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.

BADRI, A. The challenge of integrating ohs into industrial project risk management: Proposal of a methodological approach to guide future research (case of mining projects in Quebec, Canada). **Minerals**, v. 5, n. 2, p. 314–334, 2015.

BARAFORT, B.; MESQUIDA, A. L.; MAS, A. Integrating risk management in IT settings from ISO standards and management systems perspectives. **Computer Standards and Interfaces**, v. 54, p. 176–185, 2017.

BARCELLOS, C. et. al. **Avaliação dos Impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale (Brumadinho, MG)**. Instituto de Informação e Comunicação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICt/Fiocruz), 2019. Disponível em:

[https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/iciict/32268/3/Nota\\_Tecnica\\_Brumadinho\\_impacto\\_Saude\\_01022019.pdf](https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/iciict/32268/3/Nota_Tecnica_Brumadinho_impacto_Saude_01022019.pdf). Acesso em: 01 jul. 2020.

BERNSTEIN, P. L. **Desafio dos deuses**: a fascinante história do risco. Rio de Janeiro: Elsevier 1997. 389 p. ISBN 85-352-0210-2.

BISSACOT, T. C. C.. **Desenvolvimento de ferramenta de gestão para avaliação de risco hídrico: aplicação no segmento mineiro-metalúrgico no Brasil**. 2016. Tese (Doutorado – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2017.

BOWKER, L.; CHAMBERS, D. **The risk, public liability & economics of tailings**. Stonington; 2015.

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Relatório sobre acidente na Usina da Gerdau em Ouro Branco – Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2164534> Acesso em: 22 abr 2020 abril de 2020.

CALIL, L. F. P.. **Metodologia para Gerenciamento de Risco: Foco na Segurança e na Continuidade**. 2009. 231 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CAROL, S., VILCHEZ, J.A., CASAL, J. Study of the severity of industrial accidents with hazardous substances by historical analysis. Centre d'Estudis del Risc Tecnològic (CERTEC), Department of Chemical Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya ETSEIB. Diagonal 647, 08028 Barcelona, Catalonia, Spain. Journal of Loss Preventin in the Process Industries 15 (2002) 517-524.

CAMPOS, P. H. A. *et al.* **Health and Safety in Brazilian Mines**: A Statistical Analysis. In: Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection – MPES 2019.

CANDIAN, R.C., *et al.*: **Análisis de la accidentalidad por caída de rocas en la minería de los Estados Unidos de Norte América**. In: Segundo Congresso Iberoamericano en Minería Subterránea y a Cielo Abierto Umining. Santiago de Chile, 2018.

CHINAQUI, E. F. **Análise e gerenciamento de riscos de processo na indústria química**. 2012. 91 f. Monografia – Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. Directiva do Conselho de 24 de junho de 1982 relativa aos riscos de acidentes graves de certas actividades industriais (82/501/CEE). Luxemburgo: Jornal Oficial das Comunidades Europeias, Nº L 230/1, 1982. Disponível em: <https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/bb211be1-2448-4e7c-bfc5-1d33631f3dbe/language-pt> Acesso em: 01 jul 2020.

CROWL, D.A., LOUVAR, J.F.. *Chemical Process Safety - Fundamentals with Applications*, 2001, Prentice Hall, USA.

DIAS, A. *et al.* **Diagnóstico dos procedimentos de operação e de manutenção das empresas de geração de energia elétrica no Brasil**. [S.l.], 2000. Relatório final para a Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

ERICSON II, C. A. Fault tree analysis: A history. in: International system safety conference, 17. In: . [S.l.: s.n.], 1999. **Proceedings**.

EUROCONTROL (European Organisation for the Safety of Air Navigation). **Review of techniques to support the EATMP safety assessment methodology**. [S.l.], 2004.

EVAN, W. M.; MANION, Mark. *Minding the Machines: Preventing Technological Disasters*. Upper Saddle River (USA): Prentice Hall PTR, 2002. ISBN 0-13-065646-1.

FAWCEWTT, H.H, WOOD, W.S.. **Safety and Accident Prevention in chemical Operations**, 2nd ed., Wiley, New Your, 1982.

FEAM. Lista de Barragens 2015. In: lista de barragens\_2015\_publicao.xls (Ed.). **FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente**. 2015.

FREITAS, C. M.; PORTO, MFS.; MACHADO, J. M. H. **Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2000,

FREITAS, C. M; SILVA, A. S. **Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil**. Rev Bras Med Trab. 2019;17(1):21-9.

Global Minerals Industry Risk Management (Gerenciamento de Risco na Indústria Mineral Global). G-MIRM. LACASEMIN | USP. Disponível em: <https://qmirmusp.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2020.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants **75-INSAG-3**. Report INSAG-12. International Nuclear Safety Advisory Group, Vienna, 1999.

IPHECA - INTERNATIONAL PROGRAMME ON THE HEALTH EFFECTS OF THE CHERNOBYL ACCIDENT. Health consequences of the Chernobyl accident, results of the IPHECA pilot projects and related national programmes: summary report. Geneva: World Health Organization, 1995. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41801/9241561815\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41801/9241561815_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 02 abr 2020.

KIDAM, K.; HURME, M. **Statistical Analysis of Contributors to Chemical Process Accidents**. Chem. Eng. Technol. Volume 36, No. 1, page 167–176, 2013.

KELLER, W.; MODARRES, M. A historical overview of probabilistic risk assessment development and its use in the nuclear power industry: a tribute to the late Professor Norman Carl Rasmussen. **Reliability engineering and system safety**, Elsevier, Northern Ireland, v. 89, p. 271 – 285, 1998.

KUMAMOTO, H.; HENLEY, E. J. **Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientist**. 2a. ed. New York: IEEE Press Marketing, 1996. ISBN 0780310047.

HOPE, WARREN, T. **Introdução ao Gerenciamento de Riscos**. FUNENSEG, Rio de Janeiro, 2002.

LEFEVRE, M. A. P.; JIMENEZ, R. D.; BIANCHI, P.R. Managing risks: The ITAIPU Binacional experience. In: WATERPOWER, XII. Salt Lake City, Utah. In.: [S.I.]: HCI Publications, 2001. **Proceedings**.

LIRONG, W. *et al.* Yujing. Major accident analysis and prevention of coal mines in China from the year of 1949 to 2009. **Mining Science and Technology**. China, volume 21, Issue, 5, page 693-699, September 2011.

MILANEZ, B. LOSEKANN, C. *et al.* **Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição**. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016. Disponível em: <https://ftp.medicina.ufmg.br/osat/ebook/2017/desastre-no-vale-do-rio-doce-16-03-2017.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

MORAN, M.. OSHA'S Process Safety Management Standard – A Proven Written Program for Compliance, Government Institute Inc, USA, 1996.

MORAND DEVILLER, J. O sistema pericial: Perícia científica e gestão do meio ambiente. In.: **Governo dos riscos**. Brasília: Gráfica Editora Pallotti, 2005.

PURDY, G. ISO 31000:2009 – Setting a New Standard for Risk Management. **Risk Analysis**, v. 30, n. 6, 2010. 881-886p.

REASON, J. **Human Error**. New York: Cambridge University Press, 1990.

REASON, J., **Human error: models and management**. *BMJ. Br. Med. J.* 320, 768–770, 2000.

REASON, J. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Hants (England): Aldershot; Brookfield (USA): Ashgate, 1997.

SANCHEZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental: Conceitos e métodos** – 2ª ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2013. 581p.

SANTOS, R. B.; DE OLIVEIRA, U. R. Analysis of occupational risk management tools for the film and television industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 72, p. 199–211, 2019.

SILVA, P. A confiabilidade e a avaliação de segurança no projeto de aeronaves. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONFIABILIDADE SALVADOR (SIC), Salvador. In.: [S.l.: s.n.], 2006. **Anais**.

TAUSEEF, S. M.; TASNEEM A; S.A.; ABBASI. Development of a new chemical process-industry accident database to assist in past accident analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. **Elsevier**, p. 426 – 431, 2011.

TIXIER, J. A; DUSSERRE, G. A, SALVI, O. B; GASTON, D. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 15, 2002. 291–303p.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Chemical Pollution: a global overview**. Geneva, 1992.

WORLD MINE TAILINGS FAILURES. World mine tailings failures-from 1915 [Internet]. World Mine Tailings Failures, 2019. Disponível em: <https://worldminetailingsfailures.org/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

YANG, X.; HAUGEN, S. **Implications from major accident causation theories to activity-related risk analysis.** Safety Science, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516303587?via%3Dihub>.

Acesso em: 22 abr. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.020>.

## ANEXO – Protocolo MCCG

O protocolo de aplicação do Modelo Contínuo de Controle e Gerenciamento de Sistemas Passíveis de Falhas, voltados para acidentes ampliados tem como objetivo apoiar a comunidade acadêmico-científica e os empreendimentos mineros-metalúrgicos na compreensão das práticas de gerenciamento de riscos e prevenção das perdas. Os elementos são examinados e qualificados por meio das pontuações de atendimentos ao protocolo do MCCG na sua LISTA DE CHECAGEM - MCCG\_RISCOS. Sendo necessário o preenchimento da coluna ESTÁGIO, conforme a escala de classificação do nível de atendimento ao subitem. Obtém-se o resultado quantificado por meio de uma régua métrica percentual de cada elemento, observada no PAINEL RESULTADOS - MCCG\_RISCOS e apresenta-se a análise gráfica com os limítrofes mínimos de atendimentos e resultado do diagnóstico no RESULTADO GRÁFICO - MCCG\_RISCOS.

Em princípio, o potencial de uma organização, em sua plenitude, de gerenciamento, mitigação e controle de risco é alcançado quando se obtém 100% de atendimento na métrica do MCCG. Entretanto, por meio das premissas teóricas e conceituais aqui desenvolvidas, deliberou-se a métrica de 67% de atendimento como limítrofe mínimo de segurança exigido para prevenção e gerenciamento dos riscos maiores, face ao fato de representar a aplicação estruturada de controles aos sistemas passíveis de falha, mesmo reconhecendo-se pela aplicação da metodologia, haver potencial de melhoria.

Desta forma, as organizações e seus *stakeholders* precisam se autodiagnosticar e promover as condições necessárias para elevar os níveis de atendimento até a plenitude do MCCG, sugerindo-se o uso do protocolo desenvolvido pelos autores, para esta finalidade.

Os autores autorizam a reprodução total e parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo, pesquisa ou em caráter profissional deste que citada a fonte. Abaixo encontra-se o protocolo para análise, conhecimento e uso de aplicação, assim como disponível em:

[https://drive.google.com/drive/folders/1zKblhADvXch\\_Kk4SymmaQE2fel8iQTey?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1zKblhADvXch_Kk4SymmaQE2fel8iQTey?usp=sharing)

**PROTOCOLO**  
**LISTA DE CHECAGEM → MODELO CONTÍNUO DE CONTROLE E GERENCIAMENTO DE**  
**SISTEMAS PASSÍVEIS DE FALHAS, VOLTADOS PARA ACIDENTES AMPLIADOS NA**  
**MINERAÇÃO**

ELEMENTO	ITEM	SUBITEM	REQUISITO	NÍVEL	ESTÁGIO
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.1	É identificado uma estrutura de governança verticalizada na organização voltada para o gerenciamento de riscos?		
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.2	Foi estabelecido uma política integrada dos elementos de gestão de riscos, em todos os níveis da organização? (Considerar declarações, plano, curso de ação de gerenciamento de riscos).		
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.3	A alta direção da companhia identifica os riscos maiores da companhia?		
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.4	A alta direção da companhia considera os elementos de gestão de riscos para tomada de decisão em sua plenitude?		
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.5	É identificado liderança e comprometimento em defesa do gerenciamento de riscos maiores?		
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.6	É constatado estrutura voltada ao gerenciamento dos requisitos legais, normas e leis aplicadas aos perigos, riscos e aspectos de acidentes ampliadas?		
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.7	É verificado uma estrutura de governança com regras, normas, ações estruturadas, reguladas, com definições e atribuições de papéis e responsabilidades dentro dos níveis apropriados da organização voltados ao gerenciamento de riscos?		
1. ESTRUTURA	1.1 Governança	1.1.8	É considerado um plano orçamentário para atendimento às demandas de gerenciamento de riscos maiores?		
1. ESTRUTURA	1.2. Concepção	1.2.1	É caracterizado uma estrutura técnica e científica de engenharia para gerenciamento de riscos, contemplando o desdobramento da estratégia da companhia e seus objetivos?		
1. ESTRUTURA	1.2. Concepção	1.2.2	A estrutura para gestão dos riscos ampliados leva em consideração os contextos externo e interno da companhia?		
1. ESTRUTURA	1.2. Concepção	1.2.3	A liderança compreende os pilares estratégicos dos elementos para gerenciamento de riscos?		

1. ESTRUTURA	1.2. Concepção	1.2.4	É assegurado que os perigos, riscos e aspectos de acidentes ampliados são devidamente comunicados?		
1. ESTRUTURA	1.2. Concepção	1.2.5	É concebido a identificação de indivíduos que por atribuição de responsabilidades são estabelecidos como "donos dos riscos"?		
1. ESTRUTURA	1.2. Concepção	1.2.6	Alocação de recursos para concepção e manutenção da estrutura de gerenciamento de riscos é evidenciado na companhia?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.1	A estrutura de gerenciamento de riscos maiores é observada, em seus elementos, em todos os níveis da estrutura da companhia, tendo a sua divisão em camadas de defesa?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.2	Os empregados compreendem seus papéis e responsabilidade para o controle e gerenciamento de riscos maiores?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.3	É evidenciado o desdobramento de responsabilização por atribuições em todos os níveis da companhia?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.4	As estruturas de gerenciamento de riscos conectam a estratégia da companhia por meio dos objetivos associados aos perigos, riscos e aspectos de acidentes maiores?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.5	Constata-se que o gerenciamento de riscos está integrado às rotinas de gerenciamento de requisitos legais, políticas, normas e demais procedimentos internos?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.6	A confecção do plano diretor e planos produtivos consideram os requisitos e restrições imposta pela estrutura de gerenciamento de riscos maiores?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.7	A organização estabelece as rotinas de comunicação e consulta verticalizada dentro dos níveis da companhia?		
1. ESTRUTURA	1.3. Integração	1.3.8	A estrutura de gerenciamento de riscos ampliados garante o processo de gestão de riscos como parte de todas as atividades da organização, como: tomada de decisão, gerenciamento de mudanças, requisitos legais e alterações nos contextos internos e externos?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.1	É estabelecido um processo para identificação de riscos ampliados, seus perigos, aspectos e impactos?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.2	Critérios foram estabelecidos para o desenvolvimento da identificação de riscos maiores?		

2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.3	É estabelecido o contexto histórico, como um mecanismo de observação e levantamento dos perigos, riscos, aspectos e impactos referente aos riscos na indústria mineira?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.4	Critérios foram definidos para o desenvolvimento da análise de risco, considerando os métodos: qualitativo, semiquantitativo e/ou quantitativo?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.5	Sistemática para o mapeamento mandatório, não exaustivo, dos riscos das atividades que ensejam impactos em riscos maiores são definidos por matrizes de riscos, protocolos padrões preestabelecidos e/ou outros critérios?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.6	Critério são estabelecidos para sistemáticas de revisão das identificações dos riscos maiores?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.7	É estabelecido análise de abrangência de acidentes anteriores similares à área, seus aprendizados e práticas mitigatórias?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.8	O processo de avaliação de riscos, identifica, analisa e avalia os riscos de forma a garantir o desenvolvimento de ferramentas de tratamento de riscos, por meio de controle, mitigação e eliminação da fonte causadora de perigo em caráter não exaustivo?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.9	A análise de riscos envolve a consideração das causas e fontes de risco, suas consequências e a probabilidade de que podem causar impactos aos objetivos das organizações?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.10	Ferramentas e técnicas preestabelecidas e firmadas para o processo de avaliação de riscos, são consideradas para essa etapa?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.11	Sistemas passíveis de falhas identificados previamente em análise estatística e contexto histórico são considerados no processo de identificação e avaliação dos riscos?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.12	É estabelecido um inventário de riscos maiores, com seus perigos, aspectos, impactos e atribuição por responsabilidade ao risco?		
2. PROCESSOS	2.1.Avaliação de Risco	2.1.13	Após análise de risco e aplicação de medias e controles, o risco residual foi mensurado?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.1	São instituídos fatores mitigatórios para a consequência dos riscos maiores ou que reduzam a probabilidade do risco?		

2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.2	São identificados os fornecedores, <i>inputs</i> , <i>outputs</i> e clientes (SIPOC) dos processos de gerenciamento de riscos maiores?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.3	É designado o fomento ao suporte à decisão entre alternativas e implementação de medidas de mitigação e tratamento de riscos maiores?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.4	Foi descrito o pior cenário plausível de perda associado a cada evento de risco identificado?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.5	Análise de exposição, probabilidade e impactos estão sistematizadas para diligência dos riscos maiores?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.6	Foi descrito os impactos e as causas foram analisadas a fim de obter medidas de controle e prevenção dos riscos ampliados?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.7	Para os riscos identificados e avaliados com impactos ampliados à companhia, são planejados os tratamentos devidos, alinhado aos objetivos organizacionais, critérios de riscos e recursos disponíveis?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.8	Para riscos ampliados iminentes possuem tratativas coesas ou planos mitigatórios satisfatórios de acordo com os aspectos e impactos?		
2. PROCESSOS	2.2. Tratamento dos Riscos	2.2.9	Riscos classificados como residuais ou remanescente possuem implementadas de ações de prevenção e/ou mitigação definidas de acordo com os objetivos estratégicos da companhia?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.1	É estabelecido um sistema de gerenciamento voltado aos processos de gestão de riscos ampliados, com <i>inputs</i> , <i>outputs</i> , processos e clientes definidos?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.2	Indicadores foram estabelecidos para monitoramento dos <i>inputs</i> , <i>outputs</i> dos processos de tratativas de riscos ampliados?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.3	Foi sistematizado um processo de procedimentação e padronização em defesa dos objetivos de sistema de gerenciamento de riscos ampliados?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.4	A procedimentação e padronização de gestão de risco maiores está de acordo com as políticas da organização, requisitos legais, atualizada, aprovada, rastreável e acessível aos executantes?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.5	É estabelecido um padrão de qualidade aos procedimentos, suas aplicações e atendimentos?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.6	É instituído o gerenciamento dos desvios encontrados em relação aos procedimentos?		

2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.7	Existe um processo de retroanálise e aprimoramento contínuo, com frequência estabelecida, onde são analisados a qualidade dos processos de gestão de riscos maiores existentes?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.8	É definido e cumprido uma sistemática de avaliação de riscos, perigos e aspectos voltados aos acidentes ampliados de acordo com análise estatísticas, ferramentas presentes nas melhores práticas e contexto histórico, interno e externo?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.9	Existe um <i>dashboard</i> de indicadores dos processos de gerenciamento de riscos, seus controles e nível atual de risco sendo monitorado em caráter vertical na organização?		
2. PROCESSOS	2.3. Gestão de Processos	2.3.10	É imposto um cenário de análise crítica dos processos de identificação, análise, avaliação e tratativa de riscos ampliados, onde a comunicação e consulta do time técnico impõe novos <i>inputs</i> ao processo?		
3. TECNOLOGIA	3.1 Desempenho Efetivo	3.1.1	As camadas de controles dos riscos maiores a fim de obter a supressão efetiva do risco é identificada?		
3. TECNOLOGIA	3.1 Desempenho Efetivo	3.1.2	Um processo técnico e científico de engenharia é proposto para aplicar o desempenho efetivo com a supressão dos riscos ampliados?		
3. TECNOLOGIA	3.1 Desempenho Efetivo	3.1.3	Existe um planejamento estratégico para o desempenho efetivo e supressão dos riscos maiores, desdobrado da estratégia e monitorado?		
3. TECNOLOGIA	3.1 Desempenho Efetivo	3.1.4	São testados de forma exaustivas as supressões de riscos maiores existentes?		
3. TECNOLOGIA	3.2 Desempenho Reativo	3.2.1	Para os riscos identificados, não passíveis de desempenho efetivo e supressão dos riscos, são tratados por meio de medidas de controles de engenharia?		
3. TECNOLOGIA	3.2 Desempenho Reativo	3.2.2	Os equipamentos que controlam as variáveis críticas do gerenciamento de risco, são formalizados, aferidos e calibrados de acordo com um plano sistemático?		
3. TECNOLOGIA	3.2 Desempenho Reativo	3.2.3	São aplicados redundância de itens de segurança aos riscos maiores a fim de aumentar a confiabilidade dos sistemas?		
3. TECNOLOGIA	3.2 Desempenho Reativo	3.2.4	Análise de confiabilidade, em função da probabilidade e impactos, são consideradas no gerenciamento de riscos ampliados?		
3. TECNOLOGIA	3.2 Desempenho Reativo	3.2.5	<i>Software</i> , como <i>@Risk</i> ou <i>Crystall Ball</i> , e demais plataformas gerenciáveis similares são aplicadas às variáveis de processos críticas a fim de fomentar a		

			tomada de decisão estratégica da organização?		
3. TECNOLOGIA	3.2 Desempenho Reativo	3.2.6	São propostas aplicações de supressão efetiva de riscos, redundância de controles, <i>benchmarking</i> nos planos diretores de gestão de riscos?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	4.1.1	É evidenciado planejamento estratégico para gerenciamento de riscos ampliados, considerando os temas: sistemas de identificação, desempenho efetivo e atuações de bloqueio?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	4.1.2	É estabelecido um planejamento consistente para o gerenciamento e controle de riscos maiores, considerando os aspectos: tecnologia & engenharia, confiabilidade de ativos, procedimentos e normas técnicas, redundância de sistemas e mecanismos reativos?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	4.1.3	O desdobramento do planejamento estratégico foi elaborado considerando todos os elementos do gerenciamento de riscos ampliados, sendo: Estrutura, Processos, Tecnologia, Sistemas de Gerenciamento e Sistemas Técnicos e Resultados?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	4.1.4	São considerados metas estratégicas plurianuais para atendimento às práticas de gerenciamento de riscos?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	4.1.5	As metas para o gerenciamento de riscos são específicas, mensuráveis, atingíveis, relevantes e temporais?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.1 Planejamento	4.1.6	Metas para a elevação dos sistemas de controle e gerenciamento de riscos são corretamente desdobradas, por meio de indicadores de performance de riscos, para os níveis operacionais?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.1	Foi definido e implementado uma rotina de monitoramento sistemático da evolução dos riscos, da eficiência dos controles existentes e da execução dos planos de ação?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.2	A área possui um diagnóstico de riscos ampliados, atualizado e disponível para consulta pelas partes interessadas?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.3	Os gestores identificam seus papéis e responsabilidades nos sistemas de gerenciamento de riscos maiores?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.4	O nível operacional conhece as variáveis críticas para o processo de gerenciamento de riscos maiores relacionadas à sua área de atuação e as ações necessárias sistematizadas para garantir os limites aceitáveis desses riscos?		

4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.5	Demanda identificadas nos processos de gerenciamento de riscos maiores são priorizadas nas rotinas da alta direção e possui gestão de soluções observado por meio de rotinas de follow-ups e painéis de performance de riscos?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.6	O gerenciamento de contas para as premissas de gestão de riscos ampliados é considerado nas rotinas de tomada de decisão?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.7	As metas para o gerenciamento de riscos estão alinhadas entre clientes e fornecedores, e seus respectivos <i>stakeholders</i> dos processos de gestão de riscos ampliados?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.2 Organização	4.2.8	Os empregados conhecem as metas relacionadas aos processos de gerenciamento de riscos maiores em suas responsabilidades?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.1	O inventário de riscos e indicadores de performance de riscos são monitorados por meio de dashboards disponíveis a todos os níveis da organização, com os desvios identificados e tratados conforme método estabelecido?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.2	A área estabeleceu e cumpre método de identificação, análise e avaliação de riscos e seus controles mitigatórios do processo?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.3	Há definição de gatilhos para tratamento de desvios das metas e indicadores de riscos ampliados?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.4	Há verificação da eficácia para o tratamento dos desvios identificados ao gerenciamento de riscos maiores?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.5	São estabelecidas metodologias técnicas e gerenciais para tratativas de desvios do processo de gerenciamento de riscos maiores?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.6	Revisões rotineiras dos perigos, riscos e aspectos dos acidentes maiores são considerados, juntamente com análise não exaustivas de acidentes anteriores e contextos histórico, interno e externo?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.7	As iniciativas e metas plurianuais desdobradas para gerenciamento de riscos maiores são monitoradas de forma a verificar o cumprimento das ações e resultados?		
4. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO	4.3. Controle e Monitoramento	4.3.8	É identificado análise do plano de contas para reestabelecimento de supressão efetiva de riscos, tecnologia, redundância de defesa e adequação da confiabilidade dos sistemas passíveis de falhas?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.1	É identificado rotinas de análise dos riscos e redução da probabilidade de eventos maiores dentro de um amostral de 12 meses consecutivos?		

5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.2	Os sistemas passíveis de falhas críticas são reavaliados periodicamente de acordo com o histórico, análise de acidentes anteriores e são utilizadas para revisão dos controles ou para melhorias no processo de gestão de riscos?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.3	É evidenciado a redução dos níveis de riscos, por meio da supressão efetiva e redundância de controles a fim de reduzir a exposição e impacto?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.4	As metas propostas, para gestão de riscos, no planejamento estratégico, tático e operacionais, assim como o plano de investimentos, encontra-se dentro dos prazos e do desenvolvimento proposto?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.5	É observado que parâmetros técnicos, requisitos legais e normas vigentes, que ensejam impactos maiores não são subjugados.		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.6	Resultados de falhas eletromecânicas e perda de confiabilidade de ativos apresentam tendência positiva nos últimos doze meses.		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.7	Exposição intrínseca ao risco apresentam tendência positiva nos últimos doze meses.		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.1 Resultados	5.1.9	Controles administrativos e desconhecimento dos riscos ampliados não são observados nas práticas operacionais.		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.2. Fatores Técnico e Humanos	5.2.1	São observados sistemas técnicos e gerenciáveis a partir de <i>benchmarking</i> setoriais, desenvolvimento de tecnologia, aprimoramento intelectual por meio das universidades e centro de pesquisa e capacitação da estrutura voltada ao gerenciamento de riscos da companhia?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.2. Fatores Técnico e Humanos	5.2.2	É identificado um plano emergencial mitigatório, com agenda de comunicação e responsabilização por atributos dentro da estrutura de gerenciamento de riscos?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.2. Fatores Técnico e Humanos	5.2.3	Não são observadas conviências gerenciais diante dos perigos, riscos e aspectos de acidentes ampliados?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.2. Fatores Técnico e Humanos	5.2.4	Agenda de inspeções são seguidas e não conformidade e oportunidades de melhoria são tratadas com urgência (análise de histórico de ações)?		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.2. Fatores Técnico e Humanos	5.2.5	Capacitações exaustivas a fim de aumentar as percepções de riscos e conhecimento técnicos são observadas.		
5. SISTEMAS TÉCNICOS & RESULTADOS	5.2. Fatores Técnico e Humanos	5.2.6	Agenda de simulados dos riscos maiores identificados são seguidos conforme proposto.		