

Rafael Ferreira de Souza

RISCOS ASSOCIADOS À APLICAÇÃO
DE BETÃO PROJETADO – MINA DE
ALJUSTREL



Instituto Superior de Engenharia
Faculdade de Ciências Humanas e Sociais
Escola Superior de Saúde

2025

Rafael Ferreira de Souza

RISCOS ASSOCIADOS À APLICAÇÃO
DE BETÃO PROJETADO – MINA DE
ALJUSTREL

Mestrado de Segurança e Saúde no Trabalho

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professora Doutora Maria da Conceição Rodrigues Ribeiro (UAlg, ISE)

Professora Doutora Marta Marçal Correia dos Santos Gonçalves (UAlg, ISE)



UAlg

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Instituto Superior de Engenharia
Faculdade de Ciências Humanas e Sociais
Escola Superior de Saúde

Riscos Associados à Aplicação de Betão Projetado – Mina de Aljustrel

Declaração de Autoria do Trabalho

Declaro que sou o autor deste trabalho, que é original e inédito. Os autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e listados na seção de referências incluída.

(Rafael Ferreira de Souza)

© *Copyright*: Rafael Ferreira de Souza

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

Agradecimentos

Neste momento de conclusão, gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço às minhas orientadoras. Professora Doutora Conceição Ribeiro e a Doutora Marta Gonçalves, cuja orientação e apoio foram fundamentais para a construção deste trabalho. A sua experiência e dedicação foram essenciais para me guiar em cada etapa do processo de pesquisa e escrita. Agradeço também a todos os professores e colaboradores do Instituto Superior de Engenharia – Universidade do Algarve, que, de alguma forma, influenciaram minha formação académica e profissional.

Um agradecimento especial aos meus colegas de curso e amigos, que partilharam comigo momentos de estudo, discussão e apoio emocional. As trocas de ideias foram fundamentais para superar os desafios enfrentados durante este período.

Agradeço, de coração, à minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou incondicionalmente. As suas palavras de incentivo e compreensão foram essenciais nos momentos de dúvida e incerteza. Cada sacrifício feito para que eu pudesse chegar até aqui não foi esquecido e é profundamente valorizado.

Agradeço também aos participantes da pesquisa, cuja disposição em partilhar as suas experiências e opiniões tornou este trabalho possível. Sem a colaboração de cada um de vocês, esta dissertação não teria alcançado a profundidade e relevância que se propôs a explorar.

Este trabalho é um reflexo não apenas do meu esforço, mas também de todas as influências positivas que recebi ao longo do caminho. Muito obrigado a todos!

Resumo

A exploração de minério, dentre todas as atividades da indústria extrativa, é reconhecida como uma atividade de alto risco, sujeita a legislação específica. O principal objetivo desta dissertação é desenvolver um instrumento de avaliação de riscos adaptado à indústria extrativa, visando minimizar a subjetividade nos critérios de avaliação.

Os objetivos centrais do estudo são acompanhar e verificar a correta execução do processo construtivo em obras, com foco especial na aplicação de betão projetado em galerias de mina subterrânea, priorizando a prevenção de riscos na perspetiva da segurança e saúde no trabalho. O estudo também procura compreender a correlação entre risco e trabalhadores, equipamentos e indicadores utilizados, visando otimizar a redução de acidentes de trabalho.

A avaliação de risco desempenha um papel crucial na prevenção de acidentes e na proteção da integridade física dos trabalhadores, utilizando-se neste trabalho a Matriz GUT. A identificação das condições de segurança e saúde ligadas ao processo produtivo permite uma avaliação detalhada de todas as tarefas, métodos de execução, tipos de equipamentos/materiais utilizados, número de pessoas expostas, perigos, eventos desencadeadores e riscos ocupacionais.

Embora a eliminação completa de todos os perigos e eventos desencadeadores nem sempre seja viável, medidas de controle e prevenção podem significativamente reduzir a exposição dos trabalhadores aos riscos, melhorando as condições de segurança e trabalho. Nesse contexto, o foco principal desta dissertação foi identificar o processo executivo da aplicação de betão projetado na mina subterrânea de Aljustrel, Portugal, juntamente com os seus subprocessos.

Metodologicamente, foi realizado um estudo descritivo de natureza transversal. Os dados recolhidos foram inseridos no programa estatístico Statistical Package for the Social Science (SPSS), seguido por uma análise estatística para atender aos objetivos do estudo.

Por fim, recomenda-se que novas pesquisas aprofundem a análise dos impactos das medidas implementadas ao longo do tempo, avaliando sua efetividade na redução de acidentes e na melhoria das condições de trabalho na indústria extrativa.

Palavras-chave: Betão Projetado, Saúde e Segurança, Riscos, Mina Subterrânea, Matriz GUT.

Abstract

Mining, among all the activities in the extractive industry, is recognized as a high-risk activity, subject to specific legislation. The main aim of this dissertation is to develop a risk assessment tool adapted to the extractive industry, with a view to minimizing subjectivity in the assessment criteria.

The central objectives of the study are to monitor and verify the correct execution of the construction process on construction sites, with a special focus on the application of shotcrete in underground mine galleries, prioritizing risk prevention from the perspective of occupational health and safety. The study also seeks to understand the correlation between risk and the workers, equipment and indicators used, with a view to optimizing the reduction of accidents at work.

Risk assessment plays a crucial role in preventing accidents and protecting the physical integrity of workers, using the GUT Matrix in this study. Identifying the health and safety conditions linked to the production process enables a detailed assessment of all tasks, methods of execution, types of equipment/materials used, number of people exposed, hazards, triggering events and occupational risks.

Although the complete elimination of all hazards and triggering events is not always feasible, control and prevention measures can significantly reduce workers' exposure to risks, improving safety and working conditions. In this context, the focus of this dissertation was to identify the executive process of applying shotcrete in the Aljustrel – Portugal, underground mine, along with its sub-processes.

Methodologically, a descriptive cross-sectional study was conducted. The data collected was entered into the Statistical Package for the Social Science (SPSS) statistical program, followed by a statistical analysis to meet the study's objectives.

Finally, it is recommended that further research deepens the analysis of the impacts of innovative measures over time, evaluating their effectiveness in reducing accidents and improving working conditions in the extractive industry.

Keywords: Shotcrete, Health and Safety, Risk, Underground Mine, GUT Matrix.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tabelas	viii
Siglas e acrónimos.....	ix
1 – Introdução.....	1
2 – Enquadramento Teórico	5
2.1 - Gestão de Riscos em Minas Subterrâneas.....	5
2.1.1 - Riscos e Perceção de Riscos	6
2.2 - Qualidade do Ar	12
2.3 - Betão Projetado	15
2.3.1 - Caracterização do betão projetado.....	16
2.3.2 - Métodos de projeção de betão	18
2.3.3 - Caracterização do cimento usado no betão projetado	19
2.4 - Avaliação de Riscos Associados a Aplicação de Betão Projetado.....	22
2.4.1 - Soterramento de pessoas e máquinas.....	24
2.4.2 - Desprendimento e queda de blocos	24
2.4.3 - Inalação de poeiras, fumos e gases	25
2.4.4 - Intoxicação por agentes químicos e contacto com produtos químicos.....	26
2.4.5 - Queda de nível diferente	27
2.4.6 - Atropelamento	27
2.4.7 - Capotamento/tombamento.....	27
2.4.8 - Colisão entre veículos/equipamentos	28
2.4.9 - Ruído	29
2.4.10 - Vibrações	30
2.4.11 - Incêndio	31
2.4.12 - Queda ao mesmo nível	31
2.4.13 - Choque/embate em objetos.....	32
2.4.14 - Eletrização/eletrocussão	33
2.4.15 - Corte/perfuração	33
2.4.16 - Entalamento/esmagamento	34
2.4.17 - Lesões músculo-esqueléticas	34
2.4.18 - Queda de objetos/materiais.....	35
2.4.19 - Queda de betão fresco.....	35
2.4.20 - Rebentamento/projeção de componentes do equipamento de trabalho.....	36
2.4.21 - Projeção de betão a alta pressão	37

2.4.22 - Contactos com produtos/substâncias químicas.....	37
2.5 - Equipamentos Subterrâneos para Projeção de Betão	38
2.6 - Sinalização no Local da Extração e Áreas de Acesso	41
2.7 - Controlo e prevenção na circulação de viaturas.....	44
3 - Materiais e Métodos.....	45
3.1 - Tipo de Estudo.....	45
3.1.1 Objetivos e Hipóteses do Estudo.....	47
3.1.2 Metodologia	48
4 - Resultados	52
4.1. Análise de Priorização GUT	52
4.2. Análise dos Resultados	60
4.3. Análise estatística	61
5 - Conclusões	65
Bibliografia.....	67
ANEXOS.....	79
ANEXO I - Lista de verificação para avaliação de riscos	80
ANEXO II - Pedido de Autorização para Realização do Estudo	89
ANEXO III - Grelha de Avaliação	93

Índice de Figuras

Figura 1. 1 – Galeria subterrânea na mina de Neves-Corvo	2
Figura 1. 2 - Acidentes de trabalho na indústria extrativa em Portugal entre 2000 e 2022	3
Figura 1. 3 – Esquerda: localização da mina de Aljustrel, no Alentejo; direita: área de exploração concedida à mina de Aljustrel.....	4
Figura 2. 1 – Ciclo PDCA	5
Figura 2. 2 – Aplicação do betão projetado no teto	17
Figura 2. 3 – Robôs de projeção de betão. À esquerda, o modelo SPM 4210 Wetkret; ao centro, o modelo P 715 TD - SD; e à direita, o modelo SPM 500 Wetkret	40
Figura 2. 4 – Autobetoneira.....	41
Figura 4. 1 - Prioridade do risco de acordo com os scores GUT	60
Figura 4. 2 - Tipo de Riscos	62
Figura 4. 3 - Gravidade do risco.....	62
Figura 4. 4 - Urgência do risco.....	63
Figura 4. 5 - Tendência do risco.....	63

Índice de Tabelas

Tabela 2. 1 - Avaliação Geral do Impacto	11
Tabela 2. 2 - Legislação da Qualidade do Ar em Minas Subterrâneas	13
Tabela 2. 3 - Os poluentes e as consequências para a saúde	14
Tabela 2. 4 - Planos de Segurança e Gestão em Minas Subterrâneas	15
Tabela 2. 5 - Parâmetros de aplicação de betão projetado	19
Tabela 2. 6 - Principais riscos e medidas preventivas em minas subterrâneas	39
Tabela 2. 7- Sinalização de proteção coletiva	42
Tabela 2. 8 - Equipamentos obrigatórios de proteção individual.....	42
Tabela 2. 9 - Áreas de sinalização obrigatória em minas subterrâneas e superfície	43
Tabela 2. 10 - Controlo e Prevenção na Circulação de Viaturas.....	45
Tabela 3. 1 - Matriz GUT e sua importância.....	49
Tabela 3. 2 - Matriz GUT e sua avaliação.....	50
Tabela 3. 3 – Ficha de avaliação	51
Tabela 4. 1 - Pontuação matriz GUT.....	53
Tabela 4. 2 - Correlação GUT, Gravidade, Urgência e Tendência	64
Tabela 4. 3 - Correlação entre as avaliações de dois avaliadores e a ordenação final	64

SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACT	Autoridade para as Condições do Trabalho
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DGS	Direção Geral de Saúde
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica
EFNARC	European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
EPI	Equipamento de Proteção Individual
GEP	Gabinete de Estratégia e Planeamento
GUT	Gravidade -Urgência-Tendência
ISO	International Standards Organization
LEC	Limite de Exposição de Curto Prazo
LEMP	Limite de Exposição de Médio Prazo
LER	Lesões por esforço repetitivo
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PDCA	Plan-Do-Check-Act
RJAIA	Regime Jurídico de Avaliação de Impacto Ambiental

1 – INTRODUÇÃO

A indústria extrativa é responsável por extrair recursos naturais do subsolo e pode ser dividida em vários setores, dependendo do tipo de recurso extraído. A mineração e a extração de minerais abrangem tanto a extração de minerais metálicos quanto não metálicos, que pode ser realizada através da abertura de minas subterrâneas ou a céu aberto (Liu et al., 2021). Por exemplo, a indústria petrolífera foca-se na extração e produção de petróleo bruto em campos petrolíferos e plataformas marítimas, enquanto a indústria do gás natural se dedica à extração de gás natural encontrado em reservatórios subterrâneos e plataformas offshore (Biol, 2020). Além disso, a mineração de carvão, por exemplo, é uma parte significativa dessa indústria, sendo responsável pela extração de carvão mineral.

A indústria extrativa é crucial para a economia global, pois desempenha um papel fundamental no fornecimento de matérias-primas para diversos setores, na criação de empregos, na geração de receitas governamentais e na expansão económica (Direção-Geral de Energia e Geologia, 2019; The World Bank, 2011). No entanto, também apresenta impactos ambientais significativos, como a alteração permanente do relevo da região, destruição de habitats naturais, poluição do ar e da água, emissão de gases de efeito estufa e esgotamento de recursos naturais (Boldy et al., 2021).

Nesse contexto, há uma crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável, diversificação de recursos e inclusão de inovações tecnológicas na indústria extrativa (UNEP, 2023). Considerando o papel vital que a indústria extrativa desempenha na economia global, é fundamental encontrar um equilíbrio entre crescimento económico e preservação ambiental, através de práticas sustentáveis e soluções inovadoras. Dessa forma, a indústria extrativa poderá enfrentar desafios futuros e contribuir para um desenvolvimento mais sustentável.

Também em Portugal, a indústria extrativa é uma das principais atividades económicas, contribuindo com 2,3% do PIB nacional, o que representa um importante impulso para o desenvolvimento económico (INE, 2019). Por outro lado, é um dos setores com maior incidência de acidentes, incluindo quedas, esmagamentos, choques e outros incidentes que resultam em ferimentos graves ou até mesmo morte de trabalhadores (Ceccato, 2021). Conforme noticiado em fevereiro de 2024, um trabalhador morreu soterrado por uma derrocada quando se deslocava a pé numa galeria subterrânea na mina de Neves-Corvo, no concelho de

Castro Verde, Figura 1. 1.



Figura 1. 1 – Galeria subterrânea na mina de Neves-Corvo (Expresso, 2024)

Estas preocupações levaram à criação de órgãos portugueses com autoridade para estabelecer regulamentos específicos, como a Direção-Geral de Energia e Geologia e a Agência Portuguesa do Ambiente, que estabelecem normas nacionais e específicas para cada atividade.

Na Figura 1. 2 pode observar-se que o número de acidentes de trabalho na indústria extrativa tem vindo a diminuir significativamente, atingindo valores entre 2475 e 2854 acidentes, de 2000 a 2002, e entre 703 e 726 acidentes, de 2020 a 2022, o que mostra a importância da legislação

e da sua aplicação.

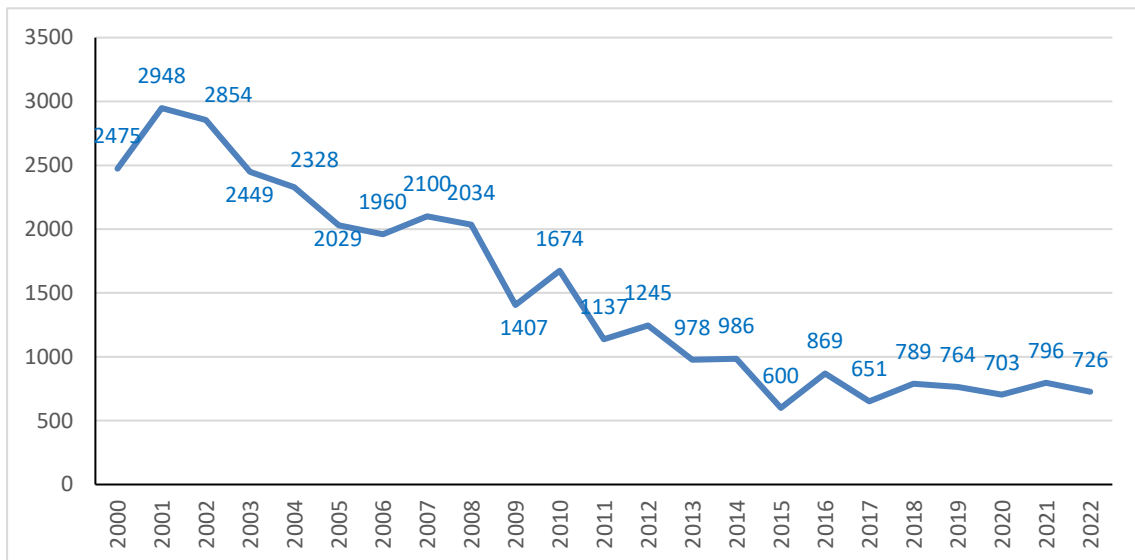


Figura 1. 2 - Acidentes de trabalho na indústria extrativa em Portugal entre 2000 e 2022 (elaboração própria baseado em GEP, 2022)

Em particular, a mineração subterrânea é uma atividade complexa e perigosa que envolve uma série de riscos inerentes devido às condições ambientais adversas e aos processos utilizados. A compreensão e gestão desses riscos são essenciais para garantir a segurança dos trabalhadores e a eficiência das operações.

Os principais minérios que Portugal explora e exporta, são o Zinco, Cobre e o Tungsténio e as 3 principais minas produtoras de minérios metálicos são: Panasqueira, Neves Corvo e Aljustrel. A mina subterrânea selecionada para o estudo está localizada em Aljustrel e serviu como exemplo prático para os trabalhadores envolvidos na pesquisa.

A Figura 1. 3 ilustra a concessão e o direito de exploração de recursos minerais em Portugal e a área destacada corresponde à mina de Aljustrel. Esta mina representa uma importante fonte de estudo devido às suas características de exploração e relevância no setor de mineração em Portugal.



Figura 1. 3 – Esquerda: localização da mina de Aljustrel, no Alentejo; direita: área de exploração concedida à mina de Aljustrel (Miningwatch, 2023)

Neste contexto, esta dissertação aborda a necessidade de desenvolver um instrumento de avaliação de riscos adaptado à indústria extrativa, visando o cumprimento das exigências legais, bem como a mitigação eficaz dos riscos associados às atividades mineiras subterrâneas. O propósito principal deste estudo é analisar os riscos relacionados com a utilização de betão projetado em galerias subterrâneas de mineração e abordar as práticas de segurança relacionadas com os procedimentos associados. Pretende-se também propor medidas para mitigar esses riscos, visando aprimorar as condições de trabalho. Deste modo, este trabalho visa analisar a aplicação de uma ferramenta amplamente utilizada para priorizar problemas e implementar medidas corretivas, a Matriz GUT (Gravidade, Urgência, Tendência), na identificação e gestão de riscos em minas subterrâneas, com base em referências científicas e nas normativas aplicáveis.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao tema. O segundo capítulo é dedicado ao enquadramento teórico, contextualização e a relevância da pesquisa, onde se analisam as principais fontes bibliográficas. Para além disso, faz-se a apresentação dos riscos em minas subterrâneas, em geral, e dos riscos associados à aplicação de betão projetado, em particular. Também é apresentada uma descrição das condições nestes ambientes de trabalho, é feito um levantamento dos processo e materiais associados a esta atividade e dos procedimentos de segurança recomendados. No terceiro capítulo, detalham-se os materiais e métodos utilizados na pesquisa, bem como a descrição da metodologia. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos com a pesquisa, os

cálculos detalhados, bem como as análises estatísticas. Finalmente, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões e considerações finais do estudo.

2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 - Gestão de Riscos em Minas Subterrâneas

A gestão de riscos em minas subterrâneas envolve a identificação, avaliação e mitigação de riscos associados às diversas operações que têm de ser executadas. Estes riscos podem incluir desmoronamentos, inalação de poeira, exposição a ruído elevado, e outros perigos que afetam a segurança dos trabalhadores e a eficiência das operações (Ramirez et al., 2018).

Para o efeito, é usual utilizar o Ciclo PDCA como uma ferramenta de gestão utilizada para controlar e melhorar processos continuamente. Este Ciclo, consiste em quatro etapas: Planear (Plan), Executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Act) (W. Edwards Deming, 2000), tal como mostra a Figura 2. 1. Esta metodologia é amplamente aplicada em diversas áreas, incluindo a gestão de segurança e saúde no trabalho (*ibidem*). Por ser uma ferramenta de fácil utilização e que, quando bem utilizada, proporciona bons resultados, passou a ser incorporado na ISO 9001 desde 2000, tendo evoluído de forma contínua na norma desde então (APCER, 2015).

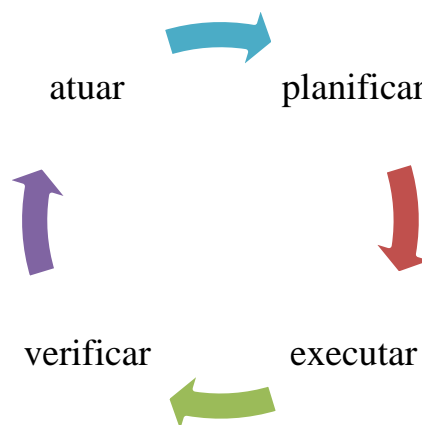


Figura 2. 1 – Ciclo PDCA (elaboração própria baseado em W. Edwards Deming, 2000)

Numa mina subterrânea, pode-se planejar a implementação de novas medidas de segurança com a intenção de reduzir o risco de acidentes, formar os trabalhadores sobre os novos procedimentos e práticas, avaliar a eficácia destas novas medidas de segurança, verificar se houve uma redução dos acidentes na mina e ajustar as medidas de segurança conforme necessário padronizando os procedimentos que se mostraram eficazes.

Além do Ciclo PDCA, é importante destacar que a gestão de riscos em minas subterrâneas também deve incluir o uso de tecnologias avançadas para monitorização e controlo das condições de trabalho. Tecnologias como sensores para deteção de gases nocivos, sistemas de ventilação automatizados e softwares de gestão integrada de riscos podem desempenhar um papel crucial na antecipação e mitigação de perigos (Wu et al., 2022) Estas ferramentas permitem uma recolha e análise de dados em tempo real, facilitando a identificação de anomalias e a implementação de ações corretivas de forma mais célere (Gavronski, 2024). Assim, ao combinar práticas tradicionais de gestão, como o PDCA, com inovações tecnológicas, é possível alcançar uma abordagem mais eficiente e abrangente na promoção da segurança em minas subterrâneas.

2.1.1 - Riscos e Perceção de Riscos

No âmbito da segurança no trabalho, a gestão de perigos e riscos constitui uma prática indispensável para assegurar ambientes laborais mais seguros e prevenir danos às pessoas, propriedades e ao meio ambiente. Conforme definido pela norma ISO 31000: Gestão de Riscos (International Organization for Standardization, 2018), um perigo refere-se a qualquer fonte potencial de dano ou efeito adverso que possa impactar a saúde, os bens materiais ou o meio ambiente. Esta definição abrange uma vasta gama de condições, materiais e atividades que, em determinadas circunstâncias, podem resultar em consequências prejudiciais. Exemplos comuns incluem substâncias químicas tóxicas, maquinaria pesada, trabalho em altura, eletricidade e incêndios. Cada um destes perigos exige a implementação de medidas preventivas rigorosas e estratégias de mitigação eficazes para minimizar os riscos associados, promovendo, assim, a segurança no local de trabalho (Aven, 2016).

Por outro lado, o conceito de risco é descrito como a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso e a gravidade das suas consequências (Aven, 2022). Ou seja, risco é a

manifestação potencial de um perigo que resulta em dano, sendo geralmente quantificado com base em dois elementos: probabilidade e impacto. Esta abordagem permite que os gestores de segurança priorizem os esforços de mitigação, concentrando-se nos riscos com maior potencial de causar danos significativos.

Para Borgonovo et al. (2018), o risco pode ser matematicamente expresso como uma função da probabilidade de ocorrência e das consequências associadas, de acordo com a equação:

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade} \cdot \text{Consequência}$$

Esta definição implica que mesmo perigos significativos podem ser considerados de baixo risco se a probabilidade de ocorrência for baixa.

Decorrente da pesquisa bibliográfica efetuada, foi possível classificar os riscos de acordo com a sua natureza, nomeadamente, como:

- a) Físicos
- b) Biológicos
- c) Químicos
- d) Mecânicos
- e) Organizacionais
- f) Psicossociais
- g) Ergonómicos
- h) Ambientais

Os riscos físicos são uma preocupação predominante na indústria extrativa, especialmente em minas subterrâneas, onde as condições de trabalho expõem os trabalhadores a fatores ambientais adversos. Estes riscos incluem ruído, vibrações, radiações, temperaturas extremas e iluminação inadequada, que podem ter impactos significativos na saúde e segurança (Benson et al., 2024).

A exposição prolongada a níveis elevados de ruído, frequentemente acima de 85 dB em

ambientes mineiros, pode causar perda auditiva irreversível, afetando a qualidade de vida e a produtividade dos trabalhadores (Krajnak, 2018; OSHA, 2014). De forma semelhante, vibrações constantes associadas à operação de maquinaria pesada estão diretamente ligadas a distúrbios musculoesqueléticos, como a síndrome mão-braço, que reduz a capacidade funcional ao longo do tempo (NIOSH, 2021).

Além disso, a presença de radiações ionizantes em certos processos extrativos pode aumentar o risco de desenvolvimento de cancro, especialmente em situações de exposição prolongada sem medidas de controlo adequadas (Puckett et al., 2023). Condições como temperaturas extremas e iluminação inadequada afetam o conforto térmico e visual, e também a segurança dos trabalhadores, aumentando a probabilidade de erros operacionais e acidentes (Benson et al., 2024).

Já os riscos biológicos referem-se à exposição a microrganismos, como bactérias, vírus, fungos e parasitas, que podem causar infeções ou doenças nos trabalhadores. Este tipo de risco é particularmente relevante em ambientes de saúde, tratamento de resíduos e setores industriais onde há contacto frequente com materiais biológicos potencialmente contaminados (Schirone et al., 2017; Singh et al., 2017).

Uma das categorias de risco ocupacional mais relevante é a dos riscos químicos, que envolvem a exposição a substâncias perigosas, como produtos tóxicos, inflamáveis, corrosivos ou reativos. A exposição a estas substâncias pode provocar uma ampla gama de problemas de saúde, incluindo irritações cutâneas, doenças respiratórias e até envenenamento (Ostad-Ali-Askari, 2022). Substâncias como o benzeno e o amianto são particularmente preocupantes devido aos seus efeitos cancerígenos que já são conhecidos (Kruopienė, 2020). Para mitigar estes riscos, é essencial implementar medidas como a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI), a monitorização ambiental e a formação contínua sobre o manuseio seguro de produtos químicos.

Além disso, a exposição prolongada a produtos químicos nocivos presentes nos materiais de construção e partículas sólidas suspensas no ar, incluindo a sílica do cimento, constitui um risco significativo para a saúde dos trabalhadores (Aven, 2016). A sílica, em particular, é um dos componentes mais perigosos, reconhecida como causa de silicose, uma doença ocupacional grave que pode levar a incapacidade permanente ou mesmo morte prematura. Este problema é

amplamente reconhecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma das principais preocupações em atividades como a projeção de cimento (Lie et al., 2016).

Os riscos mecânicos, por sua vez, estão relacionados à utilização de máquinas e equipamentos, que podem gerar lesões físicas graves em casos de falhas de segurança, manutenção insuficiente ou utilização inadequada (Duarte et al., 2021). Entre as lesões mais comuns relacionadas com estes riscos incluem-se cortes, esmagamentos, amputações e fraturas. A prevenção eficaz passa pela adoção de dispositivos de proteção, inspeções regulares aos equipamentos, e a formação dos trabalhadores para uma operação segura das máquinas. Estas medidas são fundamentais para reduzir o número e a gravidade dos acidentes associados a riscos mecânicos (Skiba, 2020).

Em relação aos riscos organizacionais, estes estão associados a fatores relacionados com a estrutura e a gestão do trabalho, podendo ter um impacto significativo na saúde e no bem-estar dos trabalhadores. Entre estes fatores destacam-se a carga de trabalho excessiva, horários desajustados, ambientes laborais pouco acolhedores e a falta de apoio social. Estas condições estão frequentemente ligadas ao stresse ocupacional, ao esgotamento físico e emocional, e à redução da satisfação no trabalho, com consequências negativas tanto para a saúde mental como física dos trabalhadores (Kiptulon et al., 2024).

A mitigação destes riscos exige uma abordagem integrada e estratégica, que inclua a gestão equilibrada das cargas de trabalho, a implementação de horários adequados e a promoção do equilíbrio entre a vida pessoal e profissional. Adicionalmente, é essencial fomentar uma cultura organizacional assente no respeito, no apoio mútuo e na valorização dos colaboradores, criando um ambiente que promova o bem-estar e a produtividade (Johnson-Hoffman, 2019).

Entre os riscos associados ao ambiente laboral, os riscos psicossociais destacam-se pelos impactos significativos na saúde mental e física dos trabalhadores. Aspectos como stresse, assédio, violência no trabalho e pressão psicológica contribuem para o desenvolvimento de condições como depressão, ansiedade e doenças físicas, incluindo hipertensão e problemas cardiovasculares (Aven, 2016). A prevenção destes riscos exige a criação de ambientes de trabalho saudáveis, com políticas que promovam a igualdade, o respeito e a proteção dos trabalhadores contra práticas abusivas.

Já os riscos ergonómicos têm origem em fatores ligados à organização do trabalho e às condições físicas do ambiente laboral. Posturas inadequadas, movimentos repetitivos e esforços

físicos excessivos são exemplos que podem levar a lesões musculoesqueléticas, como tendinites, síndrome do túnel do carpo e dores lombares. Estas lesões, quando não prevenidas, comprometem a saúde e a produtividade a longo prazo. Soluções como o design ergonómico do espaço de trabalho, a adaptação das tarefas e a formação em boas práticas posturais são indispensáveis para minimizar tais riscos (Soares et al., 2019).

A hipótese de ocorrer uma incapacidade está associada a acidentes e condições de trabalho que podem resultar em lesões permanentes ou temporárias, impossibilitando os trabalhadores de desempenhar as suas funções. Este tipo de risco inclui lesões musculoesqueléticas decorrentes do manuseio de equipamentos pesados, exposição prolongada a poeiras de cimento, que podem causar problemas respiratórios graves, e traumas auditivos devido ao elevado nível de ruído presente em ambientes industriais (Lie et al., 2016). A literatura aponta que a exposição contínua a ambientes ruidosos, sem o uso adequado de proteção auditiva, pode levar à perda permanente de audição, comprometendo a qualidade de vida e a produtividade dos trabalhadores (Santos et al., 2020).

Por último, a mineração subterrânea apresenta vários riscos ambientais que podem impactar negativamente os ecossistemas locais e a saúde pública. A gestão desses riscos é essencial para minimizar os danos ambientais e garantir a sustentabilidade das operações em minas (Onifade et al., 2024). Em Portugal, a legislação ambiental fornece diretrizes específicas para a avaliação e mitigação dos riscos ambientais associados à mineração subterrânea (DGEG, 2019).

Estes riscos incluem a contaminação de águas subterrâneas, a emissão de poluentes atmosféricos, a geração de resíduos tóxicos e a degradação do solo (*ibidem*). A infiltração de produtos químicos e metais pesados utilizados nos processos de mineração pode comprometer a qualidade dos aquíferos, afetando tanto a água destinada ao consumo humano como os ecossistemas aquáticos, representando uma ameaça significativa à saúde pública e à biodiversidade.

Para mitigar estes riscos, o Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro (Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro), estabeleceu o Regime Jurídico da Avaliação de Impacto Ambiental (RJAIA), aplicável a projetos públicos e privados com potencial para causar impactos ambientais significativos. Este diploma transpõe para a legislação portuguesa a Diretiva n.º 2011/92/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, exigindo que projetos de

mineração subterrânea sejam submetidos a uma Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) rigorosa antes de iniciarem as operações. Este processo garante que todos os potenciais impactos ambientais sejam identificados, avaliados e mitigados de forma adequada, promovendo práticas mais sustentáveis no setor extrativo.

A Tabela 2.1 apresenta uma visão geral dos possíveis impactos ambientais, assegurando que sejam analisados e mitigados de forma preventiva, contribuindo para a preservação do ambiente e a sustentabilidade das operações mineiras.

Tabela 2. 1 - Avaliação Geral do Impacto (elaboração própria baseado na Diretiva 2002/3/CE União Europeia, 2002)

IMPACTO	FONTE DE EMISSÃO	EFEITO	INTENSIDADE	MEDIDAS
Qualidade do Ar	Perfurações Movimentação de máquinas	Poeiras Gases Incómodo trabalhadores	Muito Significativa	Máscara Rega de terreno Cortina arbórea
Qualidade da água	Óleos da exploração	Contaminação de Água subterrânea	Significativa	Recolha por Firma licenciada
Nível de ruído	Equipamentos carga e transporte ou desmonte	Ruído local Diurno <65db Ruído local Noturno <55 db	Pouco significativa	Proteção ouvidos Adensamento vegetação circundante
Qualidade Ambiente	Atividade Extrativa	Empoeiramento da vegetação circundante	Significativa	Proteção de solos Envolventes com cortina de vegetação

A gestão eficaz destes riscos exige a implementação de medidas preventivas rigorosas, como o uso de EPI's, programas de monitorização ambiental contínua e formação adequada dos trabalhadores, minimizando assim os impactos na saúde e a ocorrência de incapacidades relacionadas à atividade laboral.

2.2 - Qualidade do Ar

A qualidade do ar em minas subterrâneas é uma questão de extrema importância devido aos riscos significativos que poeiras, gases tóxicos e outros poluentes representam para a saúde dos trabalhadores. Partículas em suspensão (PM), como poeiras finas e sílica cristalina respirável, podem causar doenças respiratórias graves e outros problemas de saúde (Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro).

Em Portugal, a legislação estabelece um quadro jurídico rigoroso para a avaliação e gestão da qualidade do ar em ambientes de mineração subterrânea, com o objetivo de garantir um ambiente de trabalho seguro e saudável. O Decreto-Lei n.º 102/2009, alterado pelo Decreto-Lei n.º 88/2015 (Decreto-Lei n.º 88/2015, 2015), estabelece o regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho. Complementarmente, o Decreto-Lei n.º 102/2010 regula de forma específica a qualidade do ar nos locais de trabalho, incluindo as minas subterrâneas, estabelecendo disposições claras para a monitorização da qualidade do ar e os limites de exposição a agentes químicos e físicos.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 152-B, de 11 de dezembro, que estabelece o regime jurídico da avaliação de impacto ambiental (RJAIA), todos os projetos de mineração subterrânea devem ser submetidos a uma avaliação de impacto ambiental que inclui a análise da qualidade do ar. Este diploma transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2011/92/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu, que exige que todos os projetos suscetíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente sejam avaliados antes da sua aprovação (Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro).

A avaliação da qualidade do ar em minas subterrâneas deve incluir a monitorização contínua de poeiras respiráveis e gases tóxicos, com o objetivo de assegurar que as concentrações destes poluentes estejam dentro dos limites de exposição ocupacional definidos pela legislação.

O Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro (Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro), que transpõe a Diretiva 2009/148/CE, reforça a proteção dos trabalhadores contra os riscos associados à exposição a agentes cancerígenos e mutagénicos, estabelecendo limites específicos para substâncias como a sílica cristalina respirável. A exposição prolongada a este agente pode causar graves problemas respiratórios, incluindo silicose, além de aumentar o risco de morte prematura e incapacidade laboral. Adicionalmente, o Decreto-Lei n.º 24/2012,

complementado pelo Decreto-Lei n.º 88/2015, de 28 de maio (Decreto-Lei n.º 88/2015, 2015), atualiza e reforça as disposições legais para a proteção dos trabalhadores, sublinhando a necessidade de medidas rigorosas de monitorização e controlo ambiental em ambientes subterrâneos.

Em suma, os Limites de Exposição Ocupacional (LEOs) para partículas em suspensão são definidos para garantir que a exposição a essas substâncias não cause danos à saúde dos trabalhadores e, segundo Hinze e Aiken (2005), a utilização de sistemas de monitorização em tempo real pode ajudar a identificar rapidamente qualquer desvio dos níveis seguros, permitindo a implementação imediata de medidas corretivas. Na Tabela 2. 2, são apresentados os limiares de alerta para vários poluentes.

Tabela 2. 2 - Legislação da Qualidade do Ar em Minas Subterrâneas (elaboração própria baseada na Diretiva 2002/3/CE União Europeia)

POLUENTE	TIPO	VALOR LIMIAR	PERÍODO	LEGISLAÇÃO
SO₂	Limiar de alerta	500 µg/m ³	3 horas consecutivas	Dec.-lei n.º 111/2002
NO₂	Limiar de alerta	400 µg/m ³	3 horas consecutivas	Dec.-lei n.º 111/2002
O₃	Limiar informar população	180 µg/m ³	3 horas consecutivas	Dec.-lei n.º 111/2002
CO	Limiar de exposição ocupacional	30 mg/m ³	15 minutos	Decreto-Lei n.º 102/2009
PM₁₀	Limiar de exposição ocupacional	50 µg/m ³	Valor médio 24 horas	Decreto-Lei n.º 102/2009, alterado pelo Decreto-Lei n.º 88/2015

A qualidade do ar em minas subterrâneas é um fator crítico que afeta diretamente a saúde e a segurança dos trabalhadores, conforme apresentado na Tabela 2.2. A exposição a ar de baixa qualidade pode levar a uma série de problemas de saúde (Chen et al., 2024; Manisalidis et al., 2020). Na Tabela 2.3 apresentam-se os planos que abrangem uma ampla gama de procedimentos e políticas, desde o controlo ambiental e monitorização até treinos de segurança e respostas a emergências, no ambiente de uma mina subterrânea.

Tabela 2. 3 - Os poluentes e as consequências para a saúde (elaboração própria baseado em APA, 2014)

POLUENTE	CARATERÍSTICAS	FONTE	EFEITO
SO₂	Incolor e inodoro em baixa concentração, cheiro intenso em concentração elevada	Indústria	Problemas de trato respiratório, poluente acidificante
NO₂	Castanho-claro	Indústria, Equipamentos a diesel	Problemas de trato respiratório, poluente acidificante
CO₂	Incolor e inodoro	Veículos, Indústria, Fogos, Equipamentos a combustão interna	Afeta sistema cardiovascular e sistema nervoso, tonturas, dores de cabeça e fadiga
PM₁₀	Forma sólida	Perfuração, Movimentação de máquinas, Explosões, Queima de combustíveis	Problemas de trato respiratório, problemas de troca gasosa nas plantas
O₃	Incolor, oxidante	Reações fotoquímicas, Equipamentos elétricos	Irrita o trato respiratório, danos na agricultura

A Organização Internacional do Trabalho (OIT, 1995) enfatiza que a implementação de planos de segurança e gestão em minas subterrâneas é crucial para assegurar a integridade operacional e proteger a vida dos trabalhadores. Conforme estabelecido na Convenção sobre Segurança e Saúde nas Minas, 1995 (n.º 176), os países membros devem adotar medidas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores no setor mineiro, conforme apresentado na Tabela 2.4.

López et al. (2021) abordam a problemática ambiental da indústria extrativa, sublinhando a insuficiência de dados sobre os impactos das minas em operação, incluindo a mineração offshore. Apesar de ser legalmente exigida em muitos países, a documentação ambiental raramente é cumprida de forma adequada pelas empresas mineiras, dificultando a avaliação dos danos causados. Segundo os mesmos autores, a monitorização inadequada por parte das empresas e das autoridades é identificada como a principal razão para esta lacuna, evidenciando a necessidade urgente de maior investigação e práticas mais sustentáveis e transparentes.

Tabela 2. 4 - Planos de Segurança e Gestão em Minas Subterrâneas (elaboração própria baseada no Decreto-Lei n.º 102/2015)

PLANO	DESCRIÇÃO	LEGISLAÇÃO
Plano de Sinalização	Regras de sinalização dentro da área de exploração e acessos direitos	Decreto-Lei n.º 102/2009
Plano de Gestão de Resíduos	Gestão adequada de resíduos conforme regulamentação	Decreto-Lei n.º 10/2010
Planos de Proteções Coletivas e Individuais	Prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização de equipamentos de trabalho	Decreto-Lei n.º 50/2005
Proteções Coletivas	Medidas de proteção que visam a segurança de todos os trabalhadores	Decreto-Lei n.º 102/2009
Proteções Individuais	Equipamentos de proteção individual específicos para cada tipo de risco	Decreto-Lei n.º 88/2015
Plano de Saúde	Medidas e procedimentos para garantir a saúde dos trabalhadores	Decreto-Lei n.º 102/2009

No estudo de Mackenzie et al. (2021), a identificação de perigos é destacada como a base da gestão de riscos em minas de carvão subterrâneas. Os métodos tradicionais, limitados pela sua aplicação a eventos específicos ou dependência de experiências anteriores, carecem de um quadro sistemático. Para superar essas limitações, foi desenvolvido o método de “identificação de perigos de raiz” (*Root-State Hazard Identification - RSHI*), que categoriza os perigos em “de raiz” e “de estado”, além de explorar as relações entre perigos, riscos e acidentes. Aplicado a seis minas do grupo Yima Coal Industry, este método demonstrou ser eficaz, simplificando o processo de identificação e reduzindo a necessidade de coordenação entre diferentes trabalhadores (Liu et al, 2021).

Por fim, Tender et al. (2021) propõem um conjunto de boas práticas em saúde e higiene a serem adotadas durante a construção de obras subterrâneas, reforçando a importância de um ambiente de trabalho seguro e controlado.

2.3 - Betão Projetado

Em particular, a aplicação de betão projetado é uma prática comum em operações de mineração subterrânea, é utilizada para fortalecer e estabilizar as estruturas das galerias e túneis, e exige muita cautela e diligência. Esta técnica oferece vantagens significativas em termos de

velocidade de aplicação, eficiência e durabilidade. No entanto, a aplicação do betão projetado em ambientes subterrâneos apresenta uma série de desafios peculiares, incluindo condições adversas de trabalho, riscos de segurança e seleção adequada de materiais. Neste sentido, a gestão de riscos é essencial para garantir a segurança e a eficiência operacional em minas subterrâneas (Tender & Couto, 2021).

A projeção de betão é amplamente utilizada como revestimento primário em estruturas subterrâneas, desempenhando um papel essencial no controlo de deformações. Contudo, a aplicação inadequada ou a ausência de supervisão durante o processo pode comprometer a integridade estrutural e colocar em risco a segurança dos trabalhadores (*ibidem*). Os cuidados recomendados pelos diversos autores são indispensáveis para garantir a segurança e eficácia da técnica, destacando a necessidade de uma abordagem informada e rigorosa na sua implementação, e, segundo Fernandes, S. (2015) um dos riscos apontados é a queda de torrões de betão antes de o material alcançar a resistência necessária, representando um perigo significativo durante o processo de aplicação. Estudos como o do autor mencionado, enfatizam a importância de otimizar o processo de aplicação do betão projetado para garantir a segurança dos trabalhadores e a integridade das estruturas.

2.3.1 - Caracterização do betão projetado

O betão projetado é composto por uma mistura de cimento, agregados finos e grossos, como brita e areia. No entanto, quando projetado, os agregados devem ser de menor dimensão para garantir a aplicação eficiente. Essa mistura, combinada com água e ar, é aplicada por meio de uma mangueira de alta pressão sobre a superfície a ser revestida, formando uma camada de betão de alta resistência (Figura 2. 2). Para atingir essa resistência, é essencial o uso de um cimento de alta qualidade (Hou et al., 2022). Esta técnica de aplicação de betão, é amplamente utilizada em minas subterrâneas para estabilizar galerias e túneis, protegendo-os contra desmoronamentos e outras instabilidades geotécnicas (Kaiser & Kim, 2008).

O surgimento do betão projetado remonta a 1911, com o desenvolvimento da pistola de cimento, sendo inicialmente designado por “gunite”. Este material, composto inicialmente por cimento e areia, evoluiu significativamente ao longo das décadas. Em 1950, foi introduzido o processo por via seca, resultado do desenvolvimento de equipamentos mecanizados, e na

década de 1960, surgiu o processo por via húmida, o qual permitiu a designação internacional de “shotcrete” (Vandewalle, 2005). A diferença entre os processos está na forma como os materiais são misturados e projetados, sendo que a via húmida proporciona uma maior adesão ao suporte e menor dispersão de partículas, tornando-se o método predominante em aplicações modernas.

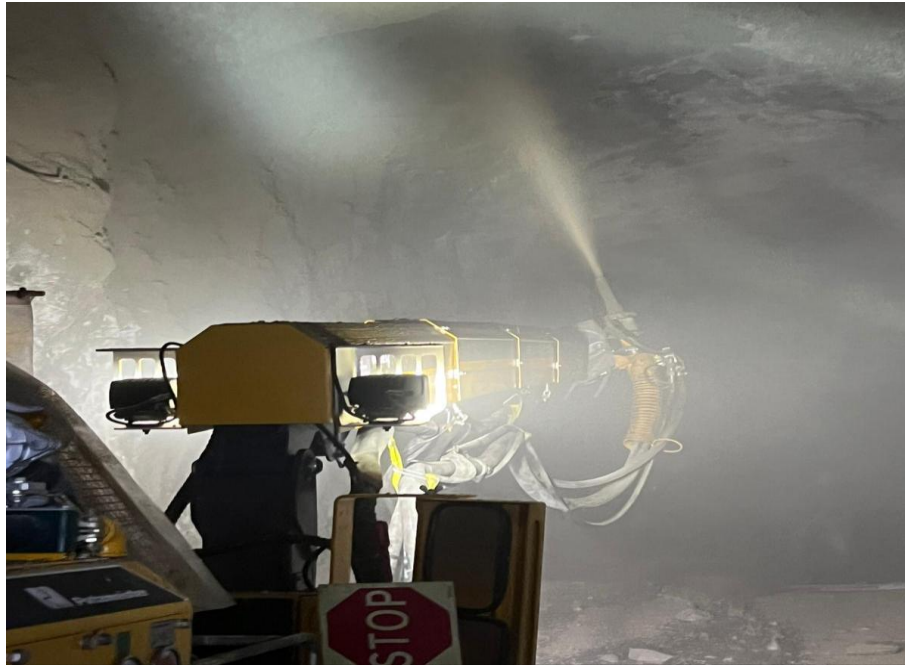


Figura 2. 2 – Aplicação do betão projetado no teto (autor)

A aplicação de betão projetado em ambientes subterrâneos, como minas, enfrenta desafios associados à caracterização geológico-geotécnica das áreas de exploração. As irregularidades no solo e nas superfícies envolventes podem dificultar o processo de projeção, interferindo na uniformidade e na qualidade do revestimento. Essa variabilidade requer análises técnicas detalhadas para garantir a eficácia do método e a segurança estrutural (Coutinho, 1988). A adaptação do processo a diferentes condições geológicas destaca a versatilidade do betão projetado e a sua importância em contextos geotécnicos complexos.

2.3.2 - Métodos de projeção de betão

A aplicação de betão projetado pode ser realizada através de dois métodos principais: o processo de fluxo diluído, que pode ser utilizado tanto por via seca quanto por via húmida, e o processo de fluxo denso, exclusivo da projeção por via húmida. Ambos os métodos têm características e aplicações distintas, dependendo das condições do projeto e das exigências técnicas (Bernardo et al., 2015).

No processo de projeção por via seca, os materiais – cimento, agregados e adjuvantes sólidos – são previamente misturados a seco. Essa mistura é inserida na torva do equipamento de projeção, sendo transportada ao longo de uma mangueira por ar comprimido até alcançar a agulheta de projeção. Este transporte por ar comprimido é característico do processo de fluxo diluído (Ikumi et al., 2022).

Na extremidade da agulheta, é adicionada uma quantidade controlada de água e, frequentemente, aceleradores líquidos, produzindo a mistura de betão projetado no momento da aplicação. Este método permite uma maior flexibilidade na aplicação e pode ser utilizado em situações de difícil acesso ou onde a logística para misturas húmidas seja limitada. Contudo, apresenta desvantagens como uma taxa de ricochete mais elevada e menor controle sobre a hidratação do cimento, o que pode comprometer a resistência e a aderência (Bernardo et al., 2015).

Por outro lado, no processo por via húmida, os materiais são misturados previamente com água, o que permite um controlo mais preciso sobre a quantidade de água adicionada e o processo de hidratação do cimento. Este método pode ser realizado tanto pelo processo de fluxo diluído quanto pelo de fluxo denso, sendo o último mais eficiente para aplicações que requerem maior densidade e uniformidade (Ikumi et al., 2022).

A projeção por via húmida é mais vantajosa em termos de eficiência e qualidade do revestimento, pois apresenta menor taxa de ricochete e permite a aplicação de camadas mais espessas de betão. No entanto, exige uma logística mais robusta e equipamentos mais sofisticados. A proporção água/cimento utilizada neste método é superior à do processo por via seca, o que pode levar a maiores efeitos de retração e menor aderência ao substrato. Apesar disso, a homogeneidade da mistura garante maior consistência nas propriedades do betão projetado (Liu et al., 2020).

A escolha entre os dois métodos de projeção depende das características do projeto, das condições do local de trabalho e dos recursos disponíveis. A Tabela 2.5 apresenta uma comparação resumida dos principais parâmetros dos processos de projeção por via seca e por via húmida, considerando aspetos como taxa de ricochete, controlo de hidratação e requisitos logísticos.

Tabela 2. 5 - Parâmetros de aplicação de betão projetado (elaboração própria baseado em Wandewalle, 2005, *apud* Santos, 2011, p.5)

Parâmetros	Via seca	Via húmida
Caudal de projeção	$Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$	$2 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 305 \text{ m}^3/\text{h}$
Ressalto ¹	15-40% hasteais ² 20-50%- coroa ³	10-15%
Qualidade	Menos homogénea	Mais homogénea
Velocidade de impacto	Maior adesão	Menor adesão (mais água)
Poeiras	Moderada	Reduzida
Custos de manutenção	Elevados	Moderados
Aplicação	Secções pequenas	Secções grandes

2.3.3 - Caracterização do cimento usado no betão projetado

O cimento Portland (CEM I), de acordo com a norma EN 197-1 do *European Committee for Standardization* (Comité Europeu de Normalização, 2011), é o ligante hidráulico mais comumente utilizado na preparação de betão projetado. Este tipo de cimento tem a capacidade de aglomerar uma elevada proporção de agregados, como areias e pedra britada, conferindo ao betão projetado uma grande coesão e resistência. A sua designação como ligante hidráulico resulta da capacidade de endurecer tanto ao ar como debaixo de água, mantendo a sua resistência mesmo estando submerso (*ibidem*).

A produção do cimento Portland envolve uma mistura de calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro) e outras substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro. Estes materiais são submetidos a temperaturas de cerca de 1450°C em fornos industriais. Durante este

¹ Ressalto – Projeção de betão que não adere às camadas projetadas, sendo considerado desperdício.

² Hasteais – Paredes laterais de uma escavação subterrânea.

³ Coroa – Teto de uma escavação subterrânea.

processo ocorre a reação dos diversos componentes, formando o clínquer, que constitui a base para o fabrico do cimento, sendo posteriormente reduzido a um pó fino (*ibidem*).

As propriedades do betão projetado dependem em grande parte das características do cimento utilizado. Para este tipo de aplicação, é essencial que o cimento tenha um tempo de presa rápido e um endurecimento acelerado, garantindo a eficácia e segurança da estrutura em construção. A quantidade recomendada de cimento a incluir na mistura situa-se entre 350 e 450 kg/m³ de betão, permitindo alcançar o desempenho necessário para as exigências da obra (*ibidem*).

O armazenamento e o manuseamento do cimento são fatores críticos para preservar a sua qualidade. O cimento não deve ser armazenado em locais sujeitos a temperaturas superiores a 70°C, pois isso pode comprometer as suas propriedades. Além disso, durante o processo de mistura, a temperatura não deve ultrapassar os 50°C, de forma a evitar alterações químicas que possam afetar a sua eficiência como ligante. O rigor na seleção e manuseamento do cimento é, assim, determinante para assegurar o desempenho e a durabilidade do betão projetado, especialmente em ambientes de aplicação exigentes, como minas subterrâneas e túneis (Yel et al., 2020).

No fabrico de betão projetado, os elementos finos não podem ter dimensões superiores a 8 mm devido às características das máquinas de projeção. As partículas incluídas na pasta de cimento são 75% do volume total do betão, o qual é afetado profundamente pelas propriedades do agregado utilizado. De acordo com a NP EN 206:2013+A2:2021/Errata1:2022, o agregado deve obedecer tanto a condições de granulometria como de resistência. Em função das curvas granulométricas das classes do agregado, é necessário obter uma mistura o mais próxima possível dos limites da curva de referência do betão projetado (Comité Europeu de Normalização, 2011).

A quantidade de finos deve ser a suficiente para assegurar a correta bombagem e projeção da mistura de betão. A quantidade de agregados grossos deve ser a adequada para assegurar a compactação e a resistência, mantendo no mínimo a relação cimento/agregados, o que irá favorecer a redução da retração e do ressalto do betão projetado (Fernandes, 2015).

O material fino, contido no peneiro inferior a 0,125mm, deve representar, no mínimo, 4 a 5% e, no máximo, 8 a 9% da proporção dos agregados. A correta percentagem de finos é muito importante na trabalhabilidade do betão. Uma quantidade excessiva de finos na composição

implica uma maior quantidade de água, que irá provocar problemas de retração no betão endurecido. No caso de a quantidade de finos ser inferior aos valores indicados, a mistura poderá sofrer segregação, provocando o risco de entupimento do equipamento. Agregados com valores superiores a 8 mm devem representar apenas 10% do betão. O betão projetado deve ser manipulado a uma temperatura de cerca de 5° C, uma vez que temperaturas inferiores fazem correr o risco de ressalto e aumentam o tempo de presa (*ibidem*).

O coeficiente de ressalto (também conhecido como coeficiente de overbreak) é um fator utilizado no cálculo do volume de betão projetado em uma obra subterrânea, como em minas, para compensar as irregularidades da superfície escavada e os excessos de escavação que ocorrem durante o processo de escavação ou desmonte.

Quando a escavação é feita em uma mina, as superfícies não são perfeitamente lisas ou uniformes, devido à natureza do terreno, aos métodos de escavação e ao comportamento do material. Essas irregularidades podem incluir fraturas, desmoronamentos ou deformações do solo, que resultam em volumes de material excedentes que não estavam planejados ou desejados, conhecidos como overbreak.

O coeficiente de ressalto tem o propósito de ajustar o cálculo do volume de betão projetado a ser aplicado, levando em consideração essas irregularidades. Ou seja, ao determinar o volume necessário de betão, o coeficiente é multiplicado para garantir que o volume de betão calculado seja suficiente para cobrir as imperfeições da superfície escavada e compensar a quantidade de betão que será consumido para preencher essas lacunas e irregularidades.

O cálculo do volume previsto de betão projetado a aplicar em uma mina ($V_{Betão}$) é feito multiplicando a área a ser revestida ($A_{teórica}$) pela espessura mínima necessária ($e_{mín}$), ajustada por um coeficiente que considera irregularidades da superfície e excessos de escavação (*over break*) conforme discute Fernandes (2015), para a otimização do betão projetado na Mina de Neves-Corvo.

$$V_{Betão} = A_{teórica} \cdot e_{mín} \cdot (1 + coef. rugosidade e over break + coef. ressalto)$$

De acordo com o mesmo autor, por exemplo, para uma espessura mínima de 0,05, considerando um coeficiente de rugosidade e Overbreak 0,75 e um coeficiente de ressalto 0,15, o volume previsto seria:

$$V_{\text{Betão}} = A_{\text{teórica}} \cdot 0,05 \cdot 1,9 \text{ (m}^3\text{)}$$

2.4 - Avaliação de Riscos Associados a Aplicação de Betão Projetado

A avaliação de riscos em minas subterrâneas é regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro, que transpõe para a legislação nacional a Diretiva 2001/45/CE, Portugal. Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro que transpõe para a legislação nacional a Diretiva 89/391/CEE, impondo aos empregadores a obrigação de identificar e avaliar todos os perigos presentes no ambiente de trabalho. Este diploma visa a implementação de medidas para promover a segurança e saúde dos trabalhadores.

Entre os riscos mais comuns em minas subterrâneas estão os riscos físicos, como ruído, vibração e radiações ionizantes e não ionizantes, que podem causar graves danos à saúde dos trabalhadores. De acordo com o Decreto-Lei n.º 46/2006, que transpõe a Diretiva 2002/44/CE, define valores-limite de exposição ao ruído e vibração, estipulando medidas de controlo para reduzir esses riscos. Paralelamente, o Decreto-Lei n.º 222/2008, de 17 de novembro, transpõe parcialmente para a ordem jurídica interna a Diretiva 96/29/EURATOM, regula a proteção dos trabalhadores contra os efeitos adversos da exposição a radiações ionizantes, complementando o quadro legislativo de segurança nas minas. Conforme este Decreto-Lei, é obrigatório implementar medidas de proteção para os trabalhadores expostos a radiações ionizantes, garantindo que as doses recebidas não excedam os limites estabelecidos.

A exposição a agentes químicos, como poeiras minerais, gases tóxicos e substâncias perigosas, é regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 24/2012 e 6 de fevereiro, que consolida as prescrições mínimas em matéria de proteção dos trabalhadores contra os riscos para a segurança e a saúde devido à exposição a agentes químicos no trabalho, transpondo a Diretiva 2009/161/EU que transpõe a Diretiva 2009/148/CE relativa à proteção dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição ao amianto no trabalho. Este diploma estabelece limites de exposição ocupacional e obriga à monitorização regular do ambiente de trabalho para detetar a presença de agentes químicos nocivos. De acordo com o Decreto-Lei n.º 24/2012, de 6 de fevereiro os empregadores devem monitorizar regularmente o ambiente de trabalho para detetar a presença de agentes químicos nocivos e assegurar que os limites de exposição ocupacional não sejam ultrapassados.

A exposição a agentes biológicos em minas subterrâneas, como fungos, bactérias e vírus, é regulamentada em Portugal pelo Decreto-Lei n.º 97/1997, de 10 de julho. De acordo com o Decreto-Lei n.º 84/97, de 16 de abril, os empregadores são obrigados a identificar, avaliar e controlar os riscos biológicos no local de trabalho, implementando práticas de higiene adequadas, posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 24/2012, que transpõe a Diretiva 2000/54/CE de acordo com Portugal. Decreto-Lei n.º 84/97, de 16 de abril este diploma estabelece medidas para identificar, avaliar e controlar riscos biológicos, obrigando à realização de avaliações de risco e à implementação de práticas de higiene adequadas.

Já os fatores ergonómicos, como posturas inadequadas, movimentos repetitivos e levantamento manual de cargas, são regulados pelo Decreto-Lei n.º 330/93 de 25 de setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 90/269/CEE, do Conselho, de 29 de maio, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde na movimentação manual de cargas. De acordo com o Decreto-Lei n.º 330/93, de 25 de setembro, os empregadores devem adotar medidas preventivas para minimizar os riscos ergonómicos associados à movimentação manual de cargas, incluindo a adaptação do posto de trabalho e o uso de equipamentos auxiliares, que transpõe a Diretiva 90/269/CEE. Este diploma define condições e limitações para a movimentação manual de cargas, estabelecendo medidas preventivas, como a adaptação do posto de trabalho e o uso de equipamentos auxiliares, para minimizar os riscos ergonómicos, especialmente os relacionados com lesões na região dorso-lombar.

Os riscos de acidentes em minas subterrâneas, como desmoronamentos, explosões e inundações, são regulamentados pelo Decreto-Lei n.º 162/90 de 22 de maio, que aprova o Regulamento Geral de Segurança e Higiene no Trabalho nas Minas e Pedreiras, alterado pelo Decreto-Lei n.º 273/2003, que de acordo com o Decreto-Lei n.º 162/90, de 22 de maio, é obrigatório realizar inspeções regulares das instalações, utilizar Equipamentos de Proteção Individual e fornecer formação específica aos trabalhadores em procedimentos de emergência para garantir a segurança nas atividades de perfuração e extração subterrâneas que, estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde a aplicar nas atividades de perfuração e extração subterrâneas. Este diploma exige a implementação de medidas preventivas, como a inspeção regular das instalações, a utilização de EPIs e a formação específica dos trabalhadores em procedimentos de emergência.

O estudo apresentado neste trabalho direcionou-se para os riscos observados inerentes a

aplicação do betão projetado.

2.4.1 - Soterramento de pessoas e máquinas

O soterramento em minas subterrâneas representa um risco significativo, frequentemente causado pelo colapso de paredes ou tetos das escavações. Esses desmoronamentos podem ser desencadeados por vibrações, métodos de escavação inadequados ou falhas estruturais não identificadas. O betão projetado desempenha um papel essencial na redução deste risco, ao fornecer suporte imediato e estabilização das superfícies escavadas. Contudo, a aplicação incorreta ou insuficiente do betão pode, paradoxalmente, agravar as condições de instabilidade, aumentando o perigo de colapsos (Fernandes, 2015).

A prevenção de soterramentos exige planeamento rigoroso e uma coordenação eficiente em todas as etapas das operações. Antes de qualquer escavação ou aplicação de betão projetado, é indispensável realizar um estudo geotécnico detalhado, que identifique zonas de fraqueza, descontinuidades ou instabilidades potenciais. Este levantamento permite a definição de estratégias específicas de reforço para áreas mais vulneráveis, garantindo que o betão projetado seja aplicado de forma precisa e eficaz, minimizando os riscos associados ao colapso estrutural.

2.4.2 - Desprendimento e queda de blocos

O desprendimento e queda de blocos podem ocorrer devido a vários fatores, incluindo condições geológicas instáveis, vibrações de equipamentos pesados, explosões e erros de escavação. Esses eventos podem causar ferimentos graves ou fatais aos trabalhadores, além de danos ao equipamento e interrupções nas operações (Fernandes, 2015).

Antes da aplicação do betão projetado, é essencial realizar uma avaliação geotécnica detalhada para identificar áreas de fraqueza e instabilidade. Esta avaliação ajuda a determinar as necessidades específicas de suporte e a desenvolver um plano de aplicação adequado (Silva & Rodrigues, 2018).

Os trabalhadores devem usar EPIs apropriados, incluindo capacetes, botas de segurança e

óculos de proteção, para minimizar os riscos de ferimentos causados por quedas de blocos. A monitorização contínua das condições das escavações é fundamental. Sensores de movimento e sistemas de alerta precoce podem detetar deslocamentos de rochas e outros sinais de instabilidade, permitindo intervenções preventivas antes que ocorram quedas de blocos (Fernandes, 2015).

2.4.3 - Inalação de poeiras, fumos e gases

A inalação de poeiras, fumos e gases durante a aplicação de betão projetado pode causar diversos problemas de saúde. As poeiras de cimento e sílica são particularmente perigosas, podendo levar a doenças pulmonares crônicas como a silicose e a asma ocupacional (López-Arquillos et al., 2014). Além disso, os fumos e gases libertados durante a aplicação podem incluir substâncias tóxicas como monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogénio (NO₂), que afetam o sistema respiratório e cardiovascular (*ibidem*).

A adoção de medidas preventivas e de controlo, como técnicas de aplicação adequadas e o uso de adjuvantes menos nocivos, é essencial para mitigar estes riscos.

A implementação de sistemas de ventilação eficazes é fundamental para dispersar poeiras e gases nocivos no ambiente subterrâneo. De acordo com Silva e Rodrigues (2018), a ventilação deve ser projetada para garantir uma renovação constante do ar e a remoção eficiente de poluentes.

Os trabalhadores devem utilizar EPIs adequados, incluindo máscaras respiratórias com filtros específicos para poeiras e gases, para reduzir a exposição a substâncias perigosas. Além disso, a formação sobre o uso correto dos EPIs é essencial para garantir a proteção eficaz. Também aqui a monitorização contínua da qualidade do ar é crucial para detetar níveis perigosos de poeiras, fumos e gases, bem como os sensores de qualidade do ar podem ser instalados para fornecer dados em tempo real, permitindo ações corretivas imediatas quando os níveis de poluentes excedem os limites de segurança (Yel et al., 2020).

2.4.4 - Intoxicação por agentes químicos e contacto com produtos químicos

Os agentes químicos utilizados na formulação do betão projetado, como cimentos, adjuvantes e aceleradores de cura, podem libertar vapores e partículas potencialmente perigosas durante o processo de mistura, aplicação e cura do material. Essa exposição representa um risco significativo para os trabalhadores, podendo causar intoxicações agudas e crónicas (Silva & Rodrigues, 2018).

Entre os principais riscos, destaca-se a inalação de poeiras de cimento, que pode levar a problemas respiratórios, irritação das vias aéreas e, em casos graves, pneumoconiose. Os adjuvantes químicos, como plastificantes, retardadores e aceleradores de cura, também apresentam perigos, pois podem ser tóxicos por inalação ou contacto dérmico, provocando irritações e outras complicações. Além disso, a sílica cristalina, frequentemente presente no cimento, é especialmente preocupante, uma vez que a sua inalação prolongada pode causar silicose, uma doença pulmonar crónica grave. Estes riscos sublinham a necessidade de medidas rigorosas de proteção e prevenção para garantir a saúde e a segurança dos trabalhadores expostos (Health and Safety Executive, 2020).

Também nesta situação, a instalação de sistemas de ventilação eficientes é crucial para dispersar vapores e poeiras químicas, reduzindo a concentração de agentes tóxicos no ar. Estes sistemas devem ser projetados para renovar o ar continuamente e remover poluentes de maneira eficaz (*ibidem*).

Mais uma vez, é essencial o uso apropriado de EPIs, como máscaras respiratórias com filtros específicos para poeiras e vapores, luvas resistentes a produtos químicos e roupas de proteção (Kissell, 2003). A formação sobre o uso correto dos EPIs é essencial para garantir a sua eficácia.

A formação contínua dos trabalhadores sobre os riscos associados aos agentes químicos e as práticas seguras de trabalho é fundamental. Isto inclui a manipulação adequada de produtos químicos, procedimentos de emergência e primeiros socorros em casos de intoxicação (Dhillon, 2009).

2.4.5 - Queda de nível diferente

As quedas de nível podem ocorrer devido a vários fatores, incluindo superfícies irregulares, falta de barreiras de proteção, iluminação inadequada e uso incorreto de equipamentos de elevação. Durante a aplicação de betão projetado, os trabalhadores operam frequentemente em alturas variáveis, o que aumenta o risco de quedas. Segundo Kissell (2003), a falta de medidas de segurança adequadas é um fator significativo que contribui para a ocorrência de quedas de nível em minas subterrâneas.

Uma iluminação adequada é essencial para garantir que os trabalhadores possam ver claramente as áreas de trabalho e os obstáculos potenciais. A iluminação deve ser suficiente para cobrir todas as áreas de risco e deve ser mantida em boas condições de funcionamento (Dhillon, 2009).

2.4.6 - Atropelamento

O risco de atropelamento em minas subterrâneas é elevado devido à presença constante de veículos e máquinas em movimento, muitas vezes em espaços confinados e com visibilidade limitada. Durante a aplicação de betão projetado, os trabalhadores podem estar concentrados na operação dos equipamentos de projeção, diminuindo a sua atenção ao tráfego ao redor. Segundo Kissell (2003), a falta de sinalização adequada e a má coordenação das atividades são fatores que contribuem significativamente para os acidentes de atropelamento.

Para minimizar este risco, é essencial um planeamento detalhado e uma coordenação eficaz das operações. Deve-se definir rotas exclusivas para veículos e áreas segregadas para pedestres, assim como implementar cronogramas de trabalho que evitem a sobreposição de atividades potencialmente perigosas (Dhillon, 2009).

2.4.7 - Capotamento/tombamento

O capotamento e o tombamento de veículos e equipamentos em minas subterrâneas podem ocorrer devido a várias razões, incluindo superfícies irregulares, manobras impróprias, sobrecarga de equipamentos e falta de manutenção adequada. Esses eventos podem resultar em

ferimentos graves ou fatais para os operadores e outros trabalhadores próximos, além de danos aos equipamentos e interrupções nas operações (Dhillon, 2009).

Antes da aplicação do betão projetado, é fundamental realizar uma avaliação abrangente dos riscos associados ao uso de veículos e equipamentos pesados. Este processo deve incluir a identificação de áreas de risco e a implementação de medidas preventivas específicas, como o reforço da estabilidade do solo e a delimitação de zonas de circulação seguras, para minimizar as possibilidades de capotamento e tombamento (Silva & Rodrigues, 2018).

A formação contínua dos operadores é igualmente essencial para a prevenção de acidentes. Devem ser ministradas formações regulares que abranjam técnicas de condução segura, manobras em terrenos irregulares, práticas para operar em áreas confinadas e procedimentos de emergência. Esses programas devem enfatizar a importância de manter velocidades adequadas e respeitar os limites operacionais do equipamento, promovendo uma cultura de segurança no local de trabalho. (Dhillon, 2009).

Além disso, a manutenção periódica dos veículos e equipamentos pesados é crucial para garantir condições seguras de operação. Devem ser realizadas inspeções regulares para identificar e corrigir possíveis problemas mecânicos que possam comprometer a estabilidade e aumentar o risco de capotamento ou tombamento. A implementação de um plano de manutenção preventiva contribui não apenas para a segurança, mas também para a eficiência operacional, ao reduzir o tempo de paragem devido a avarias (Oliveira, 2019).

2.4.8 - Colisão entre veículos/equipamentos

As minas subterrâneas são ambientes confinados e complexos, com rotas de tráfego limitadas e visibilidade reduzida. Esses fatores, combinados com o uso de veículos e equipamentos pesados, aumentam o risco de colisões. Durante a aplicação de betão projetado, a movimentação simultânea de camiões de transporte de materiais, máquinas de projeção de betão e outros equipamentos pode resultar em acidentes graves se não forem seguidos procedimentos de segurança rigorosos (Silva & Rodrigues, 2018).

Um planeamento rigoroso e uma coordenação eficiente do tráfego são essenciais para minimizar o risco de colisões. Deve-se estabelecer rotas de tráfego específicas para veículos e

equipamentos pesados e áreas segregadas para pedestres. Além disso, é importante criar um cronograma de trabalho que evite a sobreposição de atividades perigosas (*ibidem*).

Como referido anteriormente, a sinalização clara e visível é crucial para alertar os operadores de veículos e trabalhadores sobre as áreas de risco e as rotas de tráfego. Sinais luminosos, sonoros e indicadores de direção podem ser usados para melhorar a comunicação no ambiente subterrâneo. Sistemas de comunicação eficientes entre os operadores de veículos e os supervisores também são essenciais para coordenar as movimentações e evitar colisões (Sparer et al., 2016).

A instalação de tecnologias avançadas de prevenção de colisões, como sensores de proximidade, câmaras de visão traseira e sistemas de alerta, pode ajudar a evitar acidentes. Além disso, todos os veículos e equipamentos devem ser equipados com luzes de sinalização e buzinas de alerta para aumentar a visibilidade e a percepção de risco (Silva & Rodrigues, 2018).

2.4.9 - Ruído

O ruído gerado pela aplicação de betão projetado em minas subterrâneas é causado principalmente pelo funcionamento de equipamentos pesados, como bombas de betão, compressores de ar e veículos de transporte. A exposição contínua a níveis elevados de ruído pode levar a uma série de problemas de saúde, incluindo perda auditiva induzida por ruído (PAIR), stresse, fadiga e problemas cardiovasculares (Chinmay et al., 2020; Sensogut, 2007). De acordo com Oliveira e Costa (2020), o ruído é um dos principais fatores de risco em ambientes de mineração subterrânea devido à reverberação do som nas paredes das escavações, aumentando a intensidade do ruído percebido. A exposição contínua a níveis de ruído superiores a 85dB pode ser prejudicial à audição, podendo levar a perda auditiva temporária ou permanente (Krajnak, 2018; OSHA, 2014).

A monitorização contínua dos níveis de ruído é essencial para garantir que os níveis de exposição não excedam os limites de segurança estabelecidos. Podem ser instalados sensores de ruído em pontos estratégicos das minas para fornecer dados em tempo real sobre os níveis de ruído, permitindo ações corretivas imediatas quando necessário.

O uso de EPIs adequados, como protetores auriculares e abafadores de ruído, é crucial para

proteger a audição dos trabalhadores. Além disso, é crucial que os trabalhadores recebam formação contínua sobre o uso correto desses equipamentos, garantindo sua utilização eficaz e minimizando os riscos de danos auditivos (McGuinn et al., 2021).

2.4.10 - Vibrações

As vibrações geradas pelo uso de equipamentos pesados, como bombas de betão e compressores de ar, podem causar uma série de problemas de saúde ocupacional e estrutural. De acordo com Gerhardsson (2024), a exposição contínua a vibrações pode levar a distúrbios músculo-esqueléticos, problemas circulatórios e neurológicos, além de aumentar a fadiga dos trabalhadores. As vibrações também podem afetar a estabilidade das estruturas subterrâneas, causando fissuras e desmoronamentos.

As vibrações em ambientes de minas subterrâneas apresentam efeitos significativos tanto na saúde dos trabalhadores quanto na integridade estrutural das escavações. No que diz respeito à saúde ocupacional, a exposição prolongada às vibrações pode provocar lesões por esforço repetitivo, síndrome de vibração mão-braço (HAVS) e síndrome do túnel do carpo. Esses impactos podem resultar em danos permanentes ao sistema nervoso e vascular, comprometendo a qualidade de vida e a capacidade laboral dos trabalhadores. Além disso, no contexto estrutural, vibrações excessivas podem comprometer a estabilidade das paredes e tetos das minas, elevando o risco de desmoronamentos e outros acidentes graves (Gerhardsson, 2024; Silva & Rodrigues, 2018).

O uso de EPIs, como luvas antivibração, pode ajudar a reduzir a transmissão de vibrações para o corpo dos trabalhadores. Além disso, a formação contínua sobre o uso correto desses equipamentos é essencial para garantir a sua eficácia (Oliveira & Costa, 2020). Podem ainda ser instalados sensores de vibração em equipamentos e estruturas para fornecer dados em tempo real, permitindo ações corretivas imediatas quando os níveis de vibração excedem os limites seguros.

2.4.11 - Incêndio

Os incêndios em minas subterrâneas podem ter consequências catastróficas devido ao ambiente confinado, à presença de materiais combustíveis e à dificuldade de evacuação. Durante a aplicação de betão projetado, os riscos de incêndio podem ser exacerbados pelo uso de equipamentos elétricos e a presença de substâncias inflamáveis, como solventes e adjuvantes químicos. Segundo You Fei et al. (2023), a falta de manutenção adequada dos equipamentos e a ausência de procedimentos de segurança rigorosos são fatores que contribuem para a ocorrência de incêndios em minas subterrâneas.

A manutenção regular dos equipamentos elétricos e mecânicos é crucial para prevenir incêndios. Equipamentos bem mantidos operam de maneira mais segura e eficiente, reduzindo o risco de falhas que possam levar a incêndios (*ibidem*).

A instalação de sistemas de extinção de incêndios em áreas estratégicas das minas é fundamental. Para além disso, detetores de fumo e calor podem fornecer um aviso precoce de incêndio, enquanto extintores e sistemas de aspersores podem ajudar a controlar o fogo antes que ele se espalhe. Os trabalhadores devem estar familiarizados com as rotas de evacuação, o uso de equipamentos de combate a incêndios e os procedimentos de emergência (*ibidem*).

2.4.12 - Queda ao mesmo nível

As quedas ao mesmo nível em minas subterrâneas podem ocorrer devido a diversos fatores, como superfícies irregulares, áreas escorregadias, obstruções no caminho e iluminação inadequada. Durante a aplicação de betão projetado, frequentemente os trabalhadores movem-se, rapidamente em ambientes confinados e complexos, aumentando o risco de tropeçar ou escorregar (Silva & Rodrigues, 2018). De acordo com Oliveira e Costa (2020), a falta de manutenção adequada das áreas de trabalho e a ausência de sinalização apropriada são fatores que contribuem significativamente para a ocorrência de quedas ao mesmo nível.

Para prevenir quedas, é essencial assegurar que as superfícies de trabalho sejam mantidas limpas, niveladas e seguras, o que inclui a remoção regular de detritos, o nivelamento de terrenos irregulares e o reparo imediato de buracos ou fissuras no solo. Além disso, o uso de

calçado de segurança com solas antiderrapantes deve ser priorizado, garantindo maior aderência e proteção. A promoção de boas práticas, incluindo o uso correto dos equipamentos de segurança e a formação contínua dos trabalhadores, também desempenha um papel crucial na mitigação deste risco (Silva & Rodrigues, 2018).

2.4.13 - Choque/embate em objetos

Os choques e embates em objetos são comuns em minas subterrâneas devido à natureza confusa e restrita do ambiente de trabalho. Durante a aplicação de betão projetado, os trabalhadores podem colidir com equipamentos, ferramentas, estruturas de suporte e outros objetos fixos ou móveis. Esses incidentes podem resultar em lesões graves, incluindo contusões, fraturas e concussões (Noll et al., 2017). Conforme destacado por esses autores, fatores como a falta de sinalização adequada e iluminação insuficiente agravam a probabilidade de ocorrência destes acidentes.

A prevenção de choques e embates requer uma organização eficiente do espaço de trabalho. As áreas de operação devem ser mantidas limpas e desimpedidas, com equipamentos posicionados de forma estratégica para evitar interferências nos trajetos dos trabalhadores. É igualmente importante estabelecer rotas claras e bem demarcadas para a movimentação de pessoas e materiais, reduzindo assim as chances de acidentes. Por outro lado, a utilização de EPIs é indispensável para minimizar os impactos de choques e embates, tais como, capacetes de segurança, botas com biqueira de aço e luvas de proteção. Estes tipos de EPIs devem ser utilizados de forma consistente, assegurando-se que são de alta qualidade e ajustados adequadamente para oferecer a proteção necessária. A formação regular dos trabalhadores sobre o uso correto destes EPIs e as boas práticas de segurança no ambiente subterrâneo complementa estas medidas preventivas, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente (Iman et al., 2023).

2.4.14 - Eletrização/eletrocussão

Os riscos de eletrização e eletrocussão em minas subterrâneas podem ser decorrentes de várias causas, como falhas em equipamentos elétricos, instalações elétricas inadequadas, fios expostos e condições de humidade. Durante a aplicação de betão projetado, os trabalhadores manuseiam frequentemente equipamentos elétricos, aumentando a probabilidade de acidentes elétricos. Segundo Sunkpal et al. (2018), a combinação de humidade e eletricidade em minas subterrâneas cria um ambiente particularmente perigoso para os trabalhadores.

As instalações elétricas em minas subterrâneas devem ser cuidadosamente projetadas e mantidas em conformidade com as normas de segurança vigentes. Isso inclui a utilização de materiais de isolamento de alta qualidade, a implementação de sistemas de proteção contra sobrecargas elétricas e a instalação de dispositivos de segurança, como disjuntores e interruptores diferenciais, para prevenir acidentes e falhas no sistema. A utilização de EPIs, tais como, luvas isolantes, botas de segurança com propriedades de isolamento elétrico e vestimentas resistentes a arcos elétricos, é imprescindível para garantir uma proteção adequada contra eventuais contatos diretos ou indiretos com circuitos elétricos. A utilização correta desses equipamentos, aliada a uma formação contínua sobre práticas seguras, contribui significativamente para a redução de acidentes e para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente (Silva & Rodrigues, 2018).

2.4.15 - Corte/perfuração

Os riscos de corte e perfuração em minas subterrâneas são elevados devido à utilização de ferramentas afiadas, maquinaria pesada e ao manuseamento de materiais perigosos. Durante a aplicação de betão projetado, os trabalhadores estão particularmente expostos a lâminas, brocas e outros equipamentos de corte e perfuração, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de lesões (Santos, 2011). Segundo Vincoli (2024), a falta de formação adequada e o uso indevido de equipamentos são fatores que contribuem significativamente para a ocorrência de acidentes relacionados com cortes e perfurações.

A manutenção regular e a inspeção rigorosa de ferramentas e equipamentos são essenciais para garantir o seu correto funcionamento e segurança. Equipamentos danificados ou desgastados

devem ser reparados ou substituídos imediatamente, evitando assim potenciais acidentes. Além disso, os trabalhadores devem ser adequadamente formados no manuseamento seguro das ferramentas e no cumprimento de procedimentos de segurança, reduzindo a exposição a riscos desnecessários (*ibidem*).

2.4.16 - Entalamento/esmagamento

Os riscos de entalamento e esmagamento em minas subterrâneas são significativos devido à utilização de equipamentos pesados, como bombas de betão, camiões de transporte e máquinas de perfuração. A operação destes equipamentos em ambientes confinados e de difícil acesso aumenta a probabilidade de acidentes graves, muitas vezes com consequências fatais. A insuficiência de formação especializada e o incumprimento de procedimentos de segurança agravam consideravelmente a incidência destes acidentes (Dyreborg et al., 2022).

A organização e planeamento do espaço de trabalho são cruciais para minimizar os riscos de entalamento e esmagamento. É essencial que as rotas de circulação estejam desobstruídas, permitindo o trânsito seguro de trabalhadores e equipamentos. Além disso, a disposição estratégica dos equipamentos deve ser assegurada, evitando interferências no movimento dos trabalhadores e reduzindo potenciais zonas de risco (*ibidem*).

2.4.17 - Lesões músculo-esqueléticas

Os trabalhadores envolvidos na aplicação de betão projetado estão frequentemente expostos a posturas desconfortáveis, esforço físico intenso e movimentos repetitivos, que podem levar a lesões músculo-esqueléticas. Segundo Toderas e Danciu (2020), estas lesões incluem problemas como lombalgia, tendinite, síndrome do túnel do carpo e outras condições relacionadas ao esforço físico. A ergonomia inadequada e a falta de pausas regulares são fatores que contribuem significativamente para a ocorrência de lesões músculo-esqueléticas em ambientes de mineração (Rabiei et al., 2021). Para além disso, a prevalência de lesões nas costas é particularmente alta entre trabalhadores de mineração devido ao levantamento de cargas pesadas e à adoção de posturas inadequadas (ACT, 2018; Marras & Karwowski, 1993).

O esforço físico excessivo durante a movimentação manual de carga pode resultar em fadiga, exaustão e até mesmo em condições mais graves, como hérnias e lesões nas articulações. As condições ambientais adversas, como temperaturas extremas e baixa iluminação, exacerbam esses riscos (Krause et al., 1997).

A avaliação ergonômica das condições de trabalho é crucial para identificar os riscos associados a posturas inadequadas e esforços físicos. Esta avaliação deve levar em consideração a natureza das tarefas, as posturas adotadas pelos trabalhadores e as forças aplicadas durante a aplicação do betão projetado. A implementação de pausas regulares e a alternância de tarefas são estratégias eficazes para reduzir a fadiga muscular e prevenir lesões. As pausas permitem que os trabalhadores descansem e recuperem a força, enquanto a alternância de tarefas ajuda a evitar movimentos repetitivos e esforços contínuos (Silva & Rodrigues, 2018).

2.4.18 - Queda de objetos/materiais

Os riscos de queda de objetos e materiais em minas subterrâneas são elevados devido à movimentação constante de equipamentos e ao manuseamento de materiais pesados durante a aplicação de betão projetado. Esses incidentes podem ocorrer por várias razões, incluindo a falha de equipamentos de elevação, o armazenamento inadequado de materiais e a falta de formação adequada dos trabalhadores (Gavronski, 2024). Segundo Oliveira e Costa (2020), as quedas de objetos são uma das principais causas de lesões em ambientes de mineração, podendo resultar em contusões, fraturas e, em casos mais graves, lesões fatais.

Os trabalhadores devem receber formação adequada sobre as práticas seguras de manuseamento de materiais e operação de equipamentos. Isso inclui a correta técnica de levantamento de cargas, o uso seguro de ferramentas e os procedimentos de emergência em caso de queda de objetos.

2.4.19 - Queda de betão fresco

A queda de betão fresco representa um risco significativo em minas subterrâneas, podendo causar acidentes graves e comprometer a infraestrutura. Este fenómeno ocorre quando o betão projetado não adere devidamente às superfícies de rocha ou quando as condições de aplicação

são inadequadas (Zhou et al., 2023).

A aderência do betão projetado pode ser prejudicada por superfícies mal preparadas, contaminadas ou inadequadamente limpas (Liu et al., 2023). Além disso, proporções inadequadas na composição da mistura podem comprometer a viscosidade e a capacidade de adesão do betão (Makul, 2020). A técnica de aplicação também desempenha um papel crucial: aplicadores pouco experientes ou o uso de equipamentos inapropriados aumentam significativamente o risco de descolamento e queda (Brown, 2021).

Para prevenir este problema, é essencial garantir que as superfícies estejam devidamente limpas e secas antes da aplicação (Smith & Johnson, 2020). Ajustar a composição do betão para assegurar viscosidade e aderência ideais é igualmente importante (Makul, 2020). Além disso, a formação contínua dos operadores e a manutenção adequada dos equipamentos de projeção são medidas indispensáveis para garantir uma aplicação segura e eficiente (Brown, 2021).

2.4.20 - Rebentamento/projeção de componentes do equipamento de trabalho

O rebentamento e a projeção de componentes dos equipamentos utilizados na aplicação de betão projetado podem ocorrer devido a várias razões, como falhas mecânicas, manutenção inadequada, uso incorreto dos equipamentos e materiais defeituosos. Esses eventos podem causar lesões graves, incluindo lacerações, contusões e perfurações, além de danos aos equipamentos e interrupções nas operações (Silva & Rodrigues, 2018). De acordo com Oliveira e Costa (2020), a falta de inspeção regular e a não observância de procedimentos de segurança são fatores que aumentam significativamente o risco de rebentamento e projeção de componentes.

A instalação de barreiras de proteção ao redor das áreas de operação dos equipamentos pode ajudar a conter a projeção de componentes em caso de rebentamento. Essas barreiras devem ser construídas com materiais robustos e posicionadas de maneira a proteger os trabalhadores (Silva & Rodrigues, 2018).

2.4.21 - Projeção de betão a alta pressão

A projeção de betão a alta pressão, pode causar acidentes devido a alta pressão do equipamento, envolve o bombeamento de betão através de uma mangueira e a sua projeção a alta velocidade sobre a superfície desejada, oferecendo uma aplicação rápida e eficaz que é essencial para as condições desafiadoras encontradas em ambientes subterrâneos. A técnica permite uma rápida estabilização das superfícies, crucial em ambientes onde o tempo de resposta é crítico (Toderas & Danciu, 2020). O betão projetado pode ser aplicado em superfícies irregulares, adaptando-se à geometria complexa das minas subterrâneas (Johnson-Hoffman, 2019).

Antes da aplicação do betão, as superfícies devem ser limpas de poeira, detritos e outros contaminantes que possam comprometer a aderência do betão (Bissonnette et al., 2017). A mistura de betão deve ser preparada com a proporção correta de cimento, areia, água e adjuvantes para garantir a viscosidade e aderência adequadas (Doe, 2019). Devem ser realizados testes de qualidade da mistura regularmente para assegurar a consistência do betão projetado e oferecer-se formação especializada para operadores de equipamentos de projeção de betão, focando nas técnicas corretas de aplicação e medidas de segurança. De acordo com a EFNARC (European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems), a formação contínua é vital nas operações de betão projetado, independentemente de ser conduzida por um operador iniciante ou experiente. A EFNARC oferece um programa de certificação para operadores de bico, que combina teoria e prática, incluindo o uso de tecnologia de simulação em realidade virtual para aprimorar as habilidades dos operadores (EFNARC, 2024).

2.4.22 - Contactos com produtos/substâncias químicas

Os riscos de contato com produtos e substâncias químicas em minas subterrâneas incluem irritações cutâneas, problemas respiratórios (Polverino et al., 2017), reações alérgicas e intoxicações agudas ou crônicas. Durante a aplicação de betão projetado, os trabalhadores podem ser expostos a produtos químicos através da inalação de vapores, contato direto com a pele e ingestão acidental. Segundo Oliveira e Costa (2020), a falta de medidas de proteção adequadas e o manuseamento incorreto dos produtos químicos são fatores que aumentam

significativamente esses riscos.

A definição de procedimentos de manuseamento seguro para os produtos químicos é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores e a eficácia do processo. Estes procedimentos devem incluir instruções claras e detalhadas sobre a mistura, aplicação e armazenamento dos produtos, bem como a implementação de medidas de emergência em caso de derrames ou exposição acidental (Toderaş & Danciu, 2020).

Na Tabela 2.6 é apresentada uma descrição pormenorizada dos principais riscos associados à projeção de betão com robôs, juntamente com as respetivas medidas preventivas.

Existem riscos adicionais associados à aplicação de betão projetado em minas subterrâneas, embora não sejam analisados detalhadamente neste trabalho devido à sua natureza técnica e específica. Entre eles destaca-se a projeção de fragmentos, que pode causar lesões físicas, sendo essencial o uso de EPIs como capacetes e óculos de proteção (Kaiser & Maloney, 2018). A instabilidade estrutural é outro risco relevante, causado pela aplicação inadequada de betão que compromete a aderência às superfícies rochosas, aumentando o risco de desprendimentos (*ibidem*). A retração e fissuração durante o processo de cura do betão também representam um problema, potencialmente comprometendo a integridade estrutural das galerias (Pelisser et al., 2012).

Adicionalmente, a contaminação do lençol freático pode ocorrer devido à lixiviação de adjuvantes químicos usados no betão, contaminando fontes de água subterrânea (Abdalla et al., 2023).

2.5 - Equipamentos Subterrâneos para Projeção de Betão

Os equipamentos de projeção robótica são sistemas automatizados concebidos para a aplicação de betão projetado em superfícies de galerias subterrâneas. Operados remotamente, estes sistemas utilizam braços robóticos equipados com bicos de pulverização, garantindo uma distribuição uniforme e precisa do betão projetado (Rahmani et al., 2018).

De acordo com He et al. (2020), os equipamentos de projeção robótica foram projetados para funcionar em ambientes subterrâneos desafiantes, onde a precisão e a segurança são essenciais. Estes sistemas possuem a capacidade de ajustar automaticamente a velocidade de aplicação e a

quantidade de betão projetado, otimizando o processo de revestimento e reduzindo o desperdício de material.

Tabela 2. 6 - Principais riscos e medidas preventivas em minas subterrâneas (elaboração própria baseado no Decreto-Lei n.º 10/2010 de 4 de fevereiro 2010)

RISCO	DESCRIÇÃO	MEDIDAS PREVENTIVAS
Soterramento	Soterramento de pessoas e máquinas	Monitoramento contínuo e sistemas de alerta
Queda de blocos	Desprendimento e queda de blocos	Inspeções regulares e suporte estrutural
Inalação de poeiras, fumos e gases	Inalação de substâncias perigosas	Ventilação adequada e uso de EPIs
Intoxicação por agentes químicos	Execução de tarefas em coletores	Formação e uso de EPIs
Queda de nível diferente	Queda de trabalhadores de alturas diferentes	Instalação de proteções e uso de EPIs
Atropelamento	Atropelamento por veículos e máquinas	Sinalização e formação
Capotamento/tombamento	Capotamento de veículos e máquinas	Manutenção e operação correta
Colisão entre veículos/equipamentos	Colisão entre veículos e equipamentos	Planeamento de tráfego e formação
Ruído	Exposição a níveis elevados de ruído	Uso de protetores auriculares
Vibrações	Exposição a vibrações excessivas	Equipamentos antivibração e descanso adequado
Incêndio	Incêndios em áreas subterrâneas	Sistemas de deteção e combate a incêndios
Queda ao mesmo nível	Quedas em superfícies planas	Manutenção do piso e sinalização
Choque/embate em objetos	Choque contra objetos fixos ou móveis	Sinalização e organização do espaço
Eletrização/eletrocussão	Contato com corrente elétrica	Isolamento e formação
Corte/perfuração	Lesões causadas por ferramentas e objetos afiados	Uso de EPIs e formação
Entalamento/esmagamento	Entalamento ou esmagamento por máquinas	Dispositivos de segurança e formação
Lesões músculo-esqueléticas	Lesões devido ao esforço físico e má postura	Ergonomia e pausas regulares
Queda de objetos/materiais	Queda de objetos ou materiais sobre trabalhadores	Armazenamento seguro e uso de capacetes
Queda de betão fresco	Queda de betão durante a aplicação	Formação e uso de EPIs
Rebentamento/projeção de componentes	Rebentamento ou projeção de partes de equipamentos	Manutenção regular e uso de EPIs
Projeção de betão a alta pressão	Projeção de betão durante a aplicação a alta pressão	Equipamentos adequados e uso de EPIs

Contatos com produtos/substâncias químicas	Contato com produtos químicos perigosos	Formação e uso de EPIs
---------------------------------------------------	-----------------------------------------	------------------------

Uma das principais vantagens do uso de robôs na projeção de betão é o aumento significativo da segurança no local de trabalho. A operação remota permite que os trabalhadores evitem a exposição direta a áreas perigosas, como zonas instáveis ou contaminadas, minimizando os riscos de acidentes (Rahmani et al., 2018).

A Figura 2.3 ilustra os três tipos principais de equipamentos de projeção robótica utilizados em obras civis e mineração. Embora estes sistemas desempenhem a mesma função, são transportados até o subsolo através de rampas principais, adaptando-se às condições específicas de cada ambiente.



Figura 2. 3 – Robôs de projeção de betão. À esquerda, o modelo SPM 4210 Wetkret; ao centro, o modelo P 715 TD - SD; e à direita, o modelo SPM 500 Wetkret (putzmeister.com)

O equipamento utilizado para transportar a calda de injeção até ao robô de projeção é representado na Figura 2.4. Segundo Oliveira et al. (2020), a utilização de autobetoneiras no processo de aplicação de betão projetado contribui significativamente para o aumento da produtividade e para a melhoria da qualidade do betão aplicado. Estas máquinas são equipadas com sistemas de controlo avançados, que permitem ajustar a consistência e a composição do betão em tempo real durante o processo de projeção.

Essa capacidade de ajuste é essencial para garantir a eficácia e a durabilidade do betão em aplicações complexas, como túneis, fundações e outras estruturas subterrâneas, onde as

condições do ambiente de trabalho podem variar significativamente (Silva & Rodrigues, 2019).



Figura 2. 4 – Autobetoneira (putzmeister.com)

2.6 - Sinalização no Local da Extração e Áreas de Acesso

A sinalização de proteção coletiva é um aspeto crucial na prevenção de acidentes e na promoção da segurança nos ambientes de trabalho, especialmente em áreas industriais, de construção e em locais públicos. Essa sinalização utiliza cores, símbolos e palavras para comunicar riscos e procedimentos de segurança de maneira clara e eficaz.







Essas cores e as suas utilizações estão padronizadas em diversas normas de segurança, conforme Tabela 2.7, ajudando a criar um ambiente de trabalho mais seguro e a prevenir acidentes. A eficácia dessas sinalizações é amplamente reconhecida e implementada globalmente (Organização Internacional do Trabalho, 2020).

Os EPIs são essenciais para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores em ambientes que apresentam riscos à integridade física ou saúde. Na Tabela 2.8 apresentam-se os principais EPIs, as suas aplicações e as normativas referentes ao seu uso.

Tabela 2. 7- Sinalização de proteção coletiva (elaboração própria baseado em Organização Internacional do Trabalho 2020)

COR	SIGNIFICADO	INDICAÇÕES
Vermelho	Proibição e perigo (proibição e alerta de perigo iminente)	Usado para sinalizar ações proibidas (como não fumar ou não entrar), alertar sobre perigos (como áreas de alta tensão), e equipamentos de combate a incêndios.
Amarelo	Aviso (atenção e precaução)	Utilizado para indicar potenciais riscos ou cuidados necessários, como áreas escorregadias, obstáculos ou áreas em manutenção.
Azul	Obrigação (obrigação de realizar ou não realizar certas a�oes.)	Frequentemente usado para indicar a obrigatoriedade de uso de equipamentos de prote�o individual (EPIs) ou para seguir procedimentos específicos.
Verde	Salvamento ou socorro (segurança e vias de escape)	Utilizado para identificar equipamentos de socorro e saídas de emergência. Também � usado para indicar que uma área � segura.

Tabela 2. 8 - Equipamentos obrigatórios de prote o individual (elabora o própria baseado em Associa o Brasileira de Normas Técnicas 2022)

EPI	LOCAL
 Prote�o obrigatória da cabeça	Em todo o estaleiro e subsolo
 Prote�o obrigatória das mãos	Opera�es de carga e descarga e trabalhos específicos
 Prote�o obrigatória dos p�s	Em todo o estaleiro e subsolo
 Prote�o obrigatória dos ouvidos	Prote�o contra ruídos excessivos
 Prote�o obrigatória dos olhos	Prote�o dos olhos contra partículas ou radia�o, opera�es de fura�o, e dentro da mina
 Prote�o obrigatória das vias respiratória	Prote�o respiratória contra gases e partículas





















A sinalização adequada ajuda a identificar e comunicar os riscos presentes nas minas subterrâneas, reduzindo a probabilidade de acidentes. Sinais claros e visíveis alertam os trabalhadores sobre áreas perigosas, como locais de desmoronamento potencial, áreas com alta concentração de gases tóxicos e zonas com risco de queda de rochas (Zelege et al., 2010).

Em minas subterrâneas, onde a visibilidade pode ser limitada e a complexidade dos túneis pode causar desorientação, a sinalização desempenha um papel essencial na orientação dos trabalhadores. Sinais direcionais e mapas de evacuação ajudam a guiar os trabalhadores em condições normais e de emergência (Guimarães et al., 2020).

A sinalização é uma ferramenta eficaz para comunicar procedimentos de segurança e regulamentações. Isso inclui o uso obrigatório de EPIs, limites de velocidade para veículos e protocolos de operação segura em áreas específicas (OSHA, 2013). Na Tabela 2. 9, encontram-se a sinalética obrigatória que deve ser utilizada em minas, de acordo com a legislação.

Tabela 2. 9 - Áreas de sinalização obrigatória em minas subterrâneas e superfície (elaboração própria baseado em Mine Safety and Health Administration 2020)

Entrada				
	Proteção obrigatória da cabeça	Proteção obrigatória dos pés	Proteção obrigatória de óculos de proteção	Uso obrigatório de farda
Instalação				
	Nível sonoro elevado	Risco de escorregamento	Instalação elétrica	
Sinais de Proibição				

	Proibida a entrada a pessoas estranhas ao serviço	Proibido circular a mais de 20 km/h	Sinalização de trabalhos subterrâneo		
Sinais de Proibição					
	Não trepe aqui	Buraco aberto	Limite de altura de passagens de equipamentos		
Instalações Sociais					
	Primeiros socorros	Telefone para Salvamento de 1ºs socorros	Maca	Sanitários e vestiário	
Armazém Lubrificantes E combustíveis					
	Proibição de fumar	Proibição de fazer lume e fumar	Extintor	Gasóleo	óleo
Sinais de Emergência					
	Saída de emergência	Ponto de encontro	Hidrante	Incêndio	Saída de Emergência
Sinais de Advertência					
	Queda de rochas	Gases tóxicos	Rampa inclinada	Atenção	Correia transportadora

2.7 - Controlo e prevenção na circulação de viaturas

Para minimizar a possibilidade de ocorrência de colisões, acidentes de tráfego, atropelamento e capotagens, é imperativo controlar a circulação de viaturas na mina. As colisões entre viaturas ou entre viaturas e estruturas da mina são comuns devido à visibilidade limitada e à complexidade das vias subterrâneas. Estes acidentes podem resultar em lesões graves ou fatais para os trabalhadores (Imam et al., 2023; Ruff & Holden, 2003).

Além disso, a circulação de pedestres nas proximidades de viaturas em movimento aumenta o

risco de atropelamentos. A ausência de uma separação adequada entre vias destinadas a pedestres e rotas de veículos é um fator determinante para a ocorrência destes incidentes. A implementação de rotas segregadas, sinalização clara e formação contínua para operadores e trabalhadores são medidas cruciais para a prevenção de acidentes (OSHA, 2014).

As condições irregulares do terreno e as manobras em espaços confinados representam um risco significativo de capotagem de viaturas, especialmente quando estas transportam cargas pesadas ou são operadas a velocidades inadequadas (NIOSH, 2014). Estas situações são agravadas em ambientes subterrâneos, onde o espaço é limitado e a visibilidade reduzida.

Na Tabela 2.10, é apresentado um resumo dos principais perigos associados à circulação de viaturas nas minas, os riscos envolvidos e as respetivas medidas de controlo e prevenção. Este quadro fornece uma visão estruturada das práticas recomendadas para mitigar os riscos e assegurar operações mais seguras.

Tabela 2. 10 - Controlo e Prevenção na Circulação de Viaturas (elaboração própria baseado em Mine Safety and Health Administration, 2020)

PERIGO	RISCO GERAL	CONTROLO E PREVENÇÃO
Condução em situações adversas	Colisão entre equipamentos	Velocidade máxima 20 km/h dentro da mina
Pendentes máximos de rampas de Acesso demasiado acentuadas	Danos materiais em máquinas e equipamentos	Adaptar declives ao tipo de circulação esperada e evitar rampas muito inclinadas
Definição incorreta e insegura de Vias de circulação	Danos materiais em máquinas e Equipamentos Tombamento de máquinas Esmagamento	Evitar cruzamentos e curvas cegas As vias de circulação devem estar afastadas de locais onde existe possibilidade de queda de objetos em altura Manter vias de circulação desimpedidas

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Tipo de Estudo

O presente estudo teve por metodologia, um levantamento bibliográfico, a fonte de pesquisa

usada foi a observação direta aos profissionais que exercem a atividade da aplicação de betão projetado nas galerias da mina subterrânea de Aljustrel. Foi realizada uma abordagem observacional, direta e um estudo transversal para uma perceção dos riscos associados durante a atividade.

Para a avaliação e hierarquização de riscos, foi utilizada a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). Este método é amplamente reconhecido na área de gestão de riscos como uma ferramenta eficaz para priorizar problemas e ações corretivas. A escolha da Matriz GUT baseia-se na sua simplicidade de aplicação, que facilita a sistematização da análise de riscos, e na sua capacidade de integrar múltiplas dimensões para estabelecer prioridades de intervenção (Freitas et al., 2017).

A literatura científica fornece exemplos de estudos semelhantes onde a Matriz GUT foi utilizada com sucesso. Pinto et al. (2022) aplicaram-na em ambientes industriais, demonstrando que é uma ferramenta versátil na identificação e priorização de riscos associados a processos produtivos. Em contextos relacionados com a construção subterrânea, Neto et al. (2018) destacaram a sua eficácia na identificação de fatores críticos em operações patrimoniais, permitindo ações preventivas mais direcionadas. Adicionalmente, um estudo conduzido por Braga et al. (2019) na área de obras públicas reforça a aplicabilidade da Matriz GUT na priorização de intervenções de segurança em ambientes de trabalho de elevada complexidade.

Contudo, a utilização da Matriz GUT apresenta algumas limitações que devem ser consideradas. Primeiramente, há uma subjetividade inerente ao processo de atribuição de valores às dimensões de gravidade, urgência e tendência, o que pode levar a variações nos resultados dependendo da experiência e perspetiva dos avaliadores. Além disso, a Matriz GUT não considera diretamente variáveis quantitativas, como medições de exposição a riscos específicos, sendo mais adequada para análises qualitativas (Freitas et al., 2017).

Para mitigar as limitações da Matriz GUT, este estudo aplicou um método rigoroso de análise, baseado na revisão crítica da literatura e na recolha de dados observacionais no terreno. A atribuição dos valores de gravidade, urgência e tendência foi realizada de forma criteriosa, com base em padrões estabelecidos em estudos prévios e na experiência prática dos profissionais envolvidos na atividade de aplicação de betão projetado. Assim, procurou-se minimizar a subjetividade e garantir a maior consistência possível na avaliação dos riscos. Adicionalmente,

a utilização da matriz foi complementada pela análise detalhada dos dados recolhidos no terreno, assegurando que as conclusões fossem sustentadas por evidências concretas e alinhadas com as melhores práticas identificadas na literatura.

3.1.1 Objetivos e Hipóteses do Estudo

A presente dissertação tem como objetivo geral examinar os riscos relacionados com a utilização de betão projetado em galerias subterrâneas de mineração, e abordar as práticas de segurança e saúde relacionadas com os procedimentos associados. Pretende-se também propor medidas para mitigar esses riscos, visando aprimorar as condições de trabalho.

Com vista a atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Acompanhamento da atividade;
- Descrição da atividade realizada na empresa;
- Levantamento de dados acerca dos serviços de Segurança e Higiene no Trabalho da empresa;
- Criação de registos e recolha de informações obtidas por observação da atividade dos colaboradores durante o acompanhamento;
- Organização da lista de verificação a aplicar na empresa;
- Elaboração de uma ficha de avaliação baseada na lista de verificação e na Matriz GUT;
- Aplicação da ficha aos elementos da equipa responsável pela segurança e pela produção da empresa;
- Recolha e introdução dos dados no Excel e no software de análise estatística, IBM SPSS;
- Análise exploratória e descritiva dos dados;
- Exploração das correlações entre os resultados da pesquisa;
- Apresentação dos resultados e proposta de medidas preventivas e corretivas.

3.1.2 Metodologia

A mina subterrânea selecionada para o estudo está localizada em Aljustrel, Portugal, e serviu como local de investigação para os trabalhadores envolvidos na pesquisa. A área de pesquisa abrangeu dez galerias subterrâneas localizadas entre os 520 e os 540 metros de profundidade, com dimensões variando entre L-5.0m×A-5.0m, L-5.0m×A-5.5m e L-6.0m×A-7.0m, onde L representa a largura e A a altura das galerias (Souza, Gonçalves, & Ribeiro, 2024).

Para a realização deste estudo, em primeiro lugar, foi usado o Ciclo PDCA. Na fase de planeamento, para organizar as equipas de trabalho, foi adotado um sistema de trabalho rotativo por turnos, considerando os riscos inerentes às condições laborais. Na fase de execução, através de observação direta, foram identificados os principais riscos associados à aplicação do betão projetado. Na fase de verificação, foi elaborada uma lista de verificação de riscos para aplicação de betão projetado na mina em análise, (Anexo I). Sendo uma ferramenta essencial para a avaliação sistemática dos perigos e para a implementação de medidas de controle adequadas, esta lista abrange uma série de riscos complexos que devem ser identificados e geridos para garantir a segurança dos trabalhadores e a eficiência das operações, fazendo a verificação de riscos químicos, físicos, biológicos, de acidentes e ergonómicos.

De seguida, optou-se por utilizar a Matriz GUT como metodologia para analisar os riscos associados à aplicação do betão projetado em minas subterrâneas, por se tratar de uma ferramenta para priorizar problemas ou ações em diversos contextos organizacionais, industriais ou ambientais (Freitas et al., 2017). A sua aplicação é justificada pela necessidade de sistematizar a análise de problemas com base em critérios objetivos, permitindo uma gestão mais eficiente dos recursos e maior foco nos aspetos mais críticos.

Os riscos são classificados com base em três critérios: Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência (T). Esta ferramenta foi selecionada por facilitar a identificação das questões prioritárias e ajudar na tomada de decisões (Freitas et al., 2017). O critério Gravidade refere-se à severidade do impacto caso o risco se concretize, o critério Urgência refere-se à rapidez com que o risco precisa ser tratado e o critério Tendência refere-se à probabilidade de ocorrência do risco no futuro (Souza, Gonçalves, & Ribeiro, 2024). Os critérios podem incluir aspetos qualitativos e quantitativos, porém, neste estudo, optou-se por uma abordagem qualitativa, pois permite

avaliar os aspectos subjetivos da situação, levando em consideração diversos fatores, como o impacto humano.

A Tabela 3.1, mostra detalhadamente os conceitos da Matriz GUT, que foram considerados no tratamento dos riscos associados à aplicação de betão projetado na mina subterrânea de Aljustrel.

Tabela 3. 1 - Matriz GUT e sua importância (elaboração própria baseado em Maciel et al., 2021)

G	Gravidade	Impacto do problema para os envolvidos e efeitos que surgirão em longo prazo, caso o problema não seja resolvido.
U	Urgência	Relação com o tempo disponível ou necessário para resolver o problema.
T	Tendência	Potencial de crescimento do problema, avaliação da tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema.

Cada questão foi avaliada e analisada conforme os três fatores de avaliação, distribuindo notas de 1 a 5, de acordo com as definições dos fatores GUT – Tabela 3.2.

Em suma, como referido nos capítulos anteriores, a aplicação de betão projetado em minas subterrâneas é uma técnica amplamente utilizada para estabilizar escavações e prevenir desmoronamentos. No entanto, esta prática apresenta diversos riscos que podem comprometer a segurança e a saúde dos trabalhadores. Desta forma, a matriz GUT apresenta-se como uma ferramenta eficaz para a avaliação e priorização desses riscos, facilitando a tomada de decisões para mitigar problemas críticos.

A recolha de dados para elaboração da lista de verificação (Anexo I) ocorreu em dez galerias subterrâneas previamente mencionadas, duas das quais possuem dimensões de L-6.0m×A-7.0m e as outras oito de L-5.0m×A-5.0m e L-5.0m×A-5.5m. Esta colaboração foi formalmente solicitada conforme indicado no Anexo II. Durante a aplicação do betão, os operadores foram monitorados, assegurando o anonimato e a confidencialidade dos participantes quanto aos

dados recolhidos, garantindo sua utilização exclusiva para os propósitos desta pesquisa.

Tabela 3. 2 - Matriz GUT e sua avaliação (elaboração própria baseado em Maciel et al., 2021)

Pontos	G Gravidade Consequências se nada for feito	U Urgência Prazo para a tomada de decisão	T Tendência Proporção do problema no futuro
5	Extremamente graves	Imediatamente	Vai piorar imediatamente
4	Muito graves	Muito urgente	Vai piorar em curto prazo
3	Graves	Urgente	Vai piorar em médio prazo
2	Pouco graves	Pouco urgente	Vai piorar em longo prazo
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não vai piorar ou pode até melhorar

Os dados foram recolhidos em dois momentos distintos: inicialmente, no primeiro turno da manhã, entre as 10h e as 13h, e posteriormente no mesmo turno, entre as 15h e as 18h. Após cada observação, foi avaliada a percepção de risco do operador para verificar a sua postura ergonômica e os riscos envolvidos.

No fim das observações, os participantes assinaram em papel, confirmando a participação e especificando o turno correspondente. Posteriormente, foram registadas essas observações para entender e analisar os eventos que desencadeiam os riscos na atividade de aplicação de betão

projetado. Esse registo permitiu realizar uma avaliação de riscos com medidas mitigadoras e identificar os principais riscos associados a essa aplicação na mina de Aljustrel. Para priorizar a resolução desses procedimentos, foi aplicada a Matriz GUT, que contribuiu para determinar a necessidade de prevenção ou mitigação dos riscos identificados e da intervenção no planeamento da atividade, como explicado anteriormente.

A ficha de avaliação elaborada para o efeito e com base na lista de verificação e na Matriz GUT, pode ser visualizada na Tabela 3.3. Esta ficha é constituída pela lista dos principais riscos identificados e por uma grelha de avaliação. Com base nos valores atribuídos a cada critério GUT, cada um dos riscos identificado foi avaliado pela equipa responsável pela segurança e pela produção da mina. Esta equipa é constituída por três engenheiros de minas, sendo um deles o autor deste estudo, e dois técnicos de segurança e saúde no trabalho.

Tabela 3. 3 – Ficha de avaliação (autor)

	Riscos	Gravidade (G)	Urgência (U)	Tendência (T)	Pontuação (G × U × T)
1	Soterramento de pessoas e máquinas				
2	Desprendimento e queda de blocos				
3	Inalação de poeiras, fumos e gases				
4	Intoxicação por agentes químicos				
5	Queda de nível diferente				
6	Atropelamento				
7	Capotamento/tombamento				
8	Colisão entre veículos/equipamentos				
9	Ruído				
10	Vibrações				
11	Incêndio				
12	Queda ao mesmo nível				
13	Choque/embate em objetos				
14	Eletrização/eletrocussão				
15	Corte/perfuração				
16	Entalamento/esmagamento				
17	Lesões músculo-esqueléticas				
18	Queda de objetos/materiais				
19	Queda de betão fresco				
20	Rebentamento/projeção de componentes				
21	Projeção de betão a alta pressão				
22	Contactos com produtos químicos				

Cada avaliador classifica cada risco, em cada critério, com valores de 1 a 5. De seguida, multiplica-se os resultados para cada risco. Posteriormente, calcula-se a média dos resultados dos 5 avaliadores, para cada risco. Por fim, ordenam-se os resultados médios por ordem decrescente.

Para validar os resultados obtidos, em primeiro lugar, fez-se a comparação entre os resultados individuais de dois avaliadores com os resultados obtidos pela média de todos os avaliadores. Seguidamente, determinou-se as correlações entre os resultados individuais destes avaliadores entre si, por um lado, e com a média de todos, por outro.

Durante a pesquisa, foram identificadas algumas limitações importantes. Em primeiro lugar, destaca-se a escassez de estudos na área, o que dificultou a fundamentação dos resultados. Foi necessário recorrer a pesquisas com características semelhantes para fundamentar as conclusões. Por outro lado, a observação direta proporcionou informações valiosas que auxiliaram na investigação.

Considerando apenas a aplicação de betão projetado, foram avaliados os subprocessos, tarefas, eventos desencadeadores, observações e riscos associados. Só depois foi possível avaliar os riscos relacionados com a atividade.

4 - RESULTADOS

Os seguintes resultados são referentes a avaliação feita pelos 5 avaliadores da equipa responsável pela segurança e pela produção da mina subterrânea de Aljustrel. Os principais riscos identificados e associados a aplicação de betão projetado na mina, foram classificados com uso da Matriz GUT, com vista a priorizá-los com base em três critérios principais, conforme apresentado anteriormente.

4.1. Análise de Priorização GUT

As classificações dos 5 avaliadores foram inseridas no Excel (Anexo III) e obtiveram-se as médias dos resultados, para cada risco, Tabela 4.1. Desta forma, os riscos mais significativos

foram aqueles que apresentaram altos níveis de Gravidade, Urgência e Tendência, sendo apresentados de acordo com pontuação e, conseqüentemente, com a prioridade.

Tabela 4. 1 - Pontuação matriz GUT (elaboração própria baseado em Costa, P. A., & Mendes, T. 2019)

	Riscos	Pontuação (G × U × T) Médio
1	Soterramento de pessoas e máquinas	125
2	Desprendimento e queda de blocos	125
3	Inalação de poeiras, fumos e gases	70,4
4	Intoxicação por agentes químicos	100
5	Queda de nível diferente	80
6	Atropelamento	51,2
7	Capotamento/tombamento	48
8	Colisão entre veículos/equipamentos	54,4
9	Ruído	28,8
10	Vibrações	27
11	Incêndio	100
12	Queda ao mesmo nível	36
13	Choque/embate em objetos	36
14	Eletrização/eletrocussão	100
15	Corte/perfuração	27
16	Entalamento/esmagamento	100
17	Lesões músculo-esqueléticas	67,2
18	Queda de objetos/materiais	64
19	Queda de betão fresco	64
20	Rebentamento/projeção de componentes	100
21	Projeção de betão a alta pressão	100
22	Contactos com produtos químicos	100

A análise dos riscos associados à aplicação de betão projetado nas galerias subterrâneas da mina de Aljustrel, foi realizada com base na observação direta das atividades desempenhadas por profissionais no terreno. Este método permitiu identificar os principais fatores de risco e calcular as respetivas pontuações utilizando a Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). A observação revelou aspetos críticos relacionados com a interação dos trabalhadores com os equipamentos, as condições das superfícies e os procedimentos adotados, permitindo avaliar as situações de maior impacto na segurança ocupacional.

Cada risco identificado foi cuidadosamente analisado com base na observação direta e posteriormente classificado na Matriz GUT, destacando as situações mais críticas para

priorização de intervenções. Este processo demonstrou a importância de uma abordagem prática e detalhada no terreno, possibilitando a definição de medidas preventivas direcionadas. Entre as recomendações destacam-se a inspeção geotécnica regular, a implementação de ventilação adequada e o reforço da formação dos trabalhadores para garantir o uso correto dos EPIs e a aplicação segura do betão projetado.

No caso do soterramento de pessoas e máquinas, foi atribuída uma pontuação média de 125. De facto, durante as observações, foram identificadas zonas de instabilidade geotécnica nas galerias, onde o suporte estrutural era insuficiente ou a aplicação do betão projetado tinha falhas. Estas situações aumentaram significativamente o risco de colapso, especialmente em áreas onde os equipamentos de projecção operavam sem uma avaliação geotécnica prévia adequada.

Relativamente ao desprendimento e queda de blocos, também classificado com uma pontuação média de 125, constatou-se que as condições irregulares das superfícies rochosas, associadas a uma preparação inadequada antes da aplicação do betão projetado, contribuíram para o risco elevado. Durante a observação direta constatou-se que, em áreas onde o betão apresentava baixa aderência, o risco de desprendimento de blocos era particularmente preocupante, comprometendo a segurança tanto dos trabalhadores como da integridade estrutural das galerias.

A inalação de poeiras, fumos e gases foi igualmente avaliada e obteve uma pontuação média de 70,4. Durante o acompanhamento das atividades, foi notada uma exposição frequente a partículas em suspensão e fumos provenientes da mistura e aplicação do betão projetado, especialmente em áreas com ventilação deficiente. A ausência de EPIs adequados, como máscaras respiratórias, agravou o impacto deste risco na saúde dos trabalhadores, expondo-os ao desenvolvimento de doenças respiratórias, como silicose e asma ocupacional.

A análise do risco de intoxicação por agentes químicos, com pontuação média de 100, destaca-se como uma das prioridades mais altas identificadas. Durante a observação direta, verificou-se que os trabalhadores estão frequentemente expostos a poeiras de cimento, adjuvantes químicos e aceleradores de cura utilizados na formulação do betão projetado. Essa exposição ocorre principalmente durante a mistura e a aplicação do betão, sendo agravada pela falta de ventilação adequada em áreas confinadas. O uso inconsistente de Equipamentos de Proteção

Individual (EPIs), como máscaras respiratórias e luvas, contribuiu para a elevada probabilidade de intoxicação, aumentando o risco de doenças respiratórias graves, como silicose e asma ocupacional. Este cenário sublinha a necessidade urgente de medidas preventivas, incluindo a disponibilização de EPIs de qualidade, a realização de formações regulares sobre os riscos químicos e a implementação de sistemas de ventilação eficazes.

O risco de quedas de nível diferente foi avaliado com pontuação média de 80, representando uma prioridade média-alta para intervenção. Durante a aplicação do betão projetado, foram observados trabalhadores operando em plataformas instáveis ou em áreas sem proteção adequada contra quedas. A ausência de guarda-corpos e a falta de sinalização clara em zonas de diferentes alturas aumentaram significativamente o risco de acidentes. As quedas de nível, embora menos frequentes do que outros riscos, têm potencial para causar ferimentos graves ou até fatais. Medidas como a instalação de barreiras físicas, a utilização de arneses de segurança e a melhoria na organização das áreas de trabalho são recomendadas para reduzir a probabilidade de tais ocorrências.

Relativamente ao risco de atropelamento, a pontuação média 51,2, reflete uma necessidade moderada de implementação de medidas de segurança. Durante a observação, identificou-se que a circulação de pedestres e veículos em áreas confinadas e com visibilidade reduzida é uma prática comum. A falta de separação clara entre rotas de pedestres e caminhos destinados a viaturas aumenta significativamente a probabilidade de acidentes. Adicionalmente, verificou-se uma ausência generalizada de sinalização e iluminação adequadas, agravando os riscos. Para mitigar este problema, recomenda-se a criação de rotas exclusivas para pedestres, a melhoria na iluminação das vias subterrâneas e a instalação de sinais sonoros e luminosos em viaturas para alertar os trabalhadores sobre a sua proximidade. Estas intervenções são cruciais para prevenir ferimentos graves ou fatais, garantindo a segurança no ambiente de trabalho.

O risco de capotamento ou tombamento foi avaliado com pontuação média de 48, representando uma necessidade moderada de intervenção. Durante a observação direta, identificou-se que a operação de veículos e equipamentos pesados, especialmente em terrenos irregulares e com carga excessiva, aumenta significativamente a probabilidade de acidentes. Medidas como a realização de inspeções regulares nos veículos, o nivelamento das vias de circulação e a formação contínua dos operadores são fundamentais para reduzir o risco de capotamentos e garantir a segurança operacional.

O risco de colisão entre veículos e equipamentos, com pontuação média de 54,4, foi observado principalmente em áreas com tráfego intenso e rotas de circulação pouco organizadas. Embora os danos materiais sejam significativos, o impacto sobre os operadores pode ser grave, incluindo lesões fatais. Como medida preventiva, recomenda-se a implementação de sistemas de orientação, como sensores de proximidade e câmaras, além da definição de horários específicos para a circulação de diferentes tipos de veículos, reduzindo a sobreposição de atividades.

Relativamente ao ruído, pontuação média de 28,8, reflete uma prioridade baixa a moderada para a implementação de medidas de controle. Durante a observação, foi possível identificar que os trabalhadores estão expostos a níveis elevados de ruído, principalmente durante a operação de máquinas de projeção de betão e outros equipamentos pesados. Embora os impactos sejam menos imediatos, a exposição contínua pode levar a problemas auditivos irreversíveis, como perda auditiva induzida por ruído, além de aumento no nível de stress. A utilização de protetores auditivos adequados e a instalação de barreiras acústicas em áreas críticas são soluções práticas para minimizar a exposição ao ruído. Além disso, a realização de monitorizações regulares dos níveis de ruído e a manutenção dos equipamentos para reduzir emissões sonoras são medidas importantes para prevenir danos à saúde auditiva dos trabalhadores.

O impacto das vibrações, com pontuação média de 27, reflete uma prioridade baixa a moderada para a implementação de medidas de controle. Durante a observação direta, verificou-se que os trabalhadores operam frequentemente máquinas pesadas, como bombas de betão e equipamentos de perfuração, que geram vibrações constantes. A exposição prolongada a essas vibrações pode levar ao desenvolvimento de problemas musculoesqueléticos, como dores nas costas e síndrome da vibração mão-braço (HAVS). Para mitigar este risco, recomenda-se a utilização de equipamentos anti vibração, a redução do tempo de exposição dos trabalhadores e a manutenção regular das máquinas para minimizar as vibrações geradas.

O risco de incêndio, com pontuação média de 100, representa uma prioridade crítica para implementação de medidas preventivas. Durante a análise, identificou-se que a presença de materiais inflamáveis, equipamentos aquecidos e sistemas elétricos sobrecarregados nas galerias subterrâneas aumenta significativamente o risco de incêndios. Estes incidentes podem resultar em perdas humanas e materiais severas. Como medidas preventivas, devem ser instalados sistemas de deteção e extinção de incêndios, além de saídas de emergência

claramente sinalizadas. Formações regulares em resposta a incêndios, bem como a inspeção periódica dos sistemas elétricos e armazenamento de materiais inflamáveis, são essenciais para reduzir este risco.

Relativamente às quedas ao mesmo nível, com pontuação média de 36, destaca uma prioridade moderada para ações preventivas. Durante a observação, constatou-se que as superfícies de trabalho muitas vezes apresentam irregularidades, áreas escorregadias ou obstruções que contribuem para quedas, resultando em lesões como fraturas e contusões. A melhoria das condições das superfícies de trabalho, incluindo o nivelamento e a limpeza regular, é essencial para reduzir este risco. Além disso, a utilização de calçado antiderrapante e o fornecimento de formação em segurança para os trabalhadores podem prevenir de forma eficaz as quedas.

No caso de choques e embates em objetos, com pontuação média de 36, reflete uma prioridade moderada para ações corretivas. A observação revelou que os trabalhadores frequentemente colidem com ferramentas, equipamentos e estruturas devido à organização inadequada do espaço de trabalho e à movimentação constante de materiais. Para mitigar este risco, é essencial a implementação de sinalização adequada para destacar áreas de risco e a reorganização dos espaços de trabalho para eliminar obstruções. Além disso, formações sobre práticas seguras e o uso obrigatório de EPIs, como capacetes e luvas, podem reduzir significativamente os choques e embates, protegendo a segurança e a saúde dos trabalhadores.

Os riscos de eletrização e eletrocussão em minas subterrâneas são particularmente preocupantes devido ao ambiente muitas vezes hostil e às instalações elétricas expostas a humidade, desgaste e falhas de manutenção. Com a pontuação média de 100 valores, que destaca a necessidade urgente de ações preventivas. Durante a observação, foi evidente a falta de inspeções regulares e de manutenção em alguns sistemas elétricos, aumentando o risco de choques elétricos. A implementação de sistemas de proteção, como disjuntores diferenciais, bem como formações regulares em segurança elétrica para os trabalhadores, é essencial para minimizar este risco.

No caso de cortes e perfurações, com pontuação média de 27, reflete uma prioridade baixa a moderada para a implementação de medidas preventivas. Durante as operações subterrâneas, especialmente durante a aplicação de betão projetado, foi observado que os trabalhadores manipulam frequentemente ferramentas afiadas e máquinas com peças expostas. A utilização de EPIs como luvas de proteção e botas de segurança com biqueira de aço, bem como formações

sobre o uso correto das ferramentas, são medidas fundamentais para mitigar este tipo de risco e prevenir complicações como infecções ou incapacidades físicas.

Os riscos de entalamento e esmagamento têm uma pontuação média de 100, destacando a prioridade alta para intervenções. A observação direta revelou que os trabalhadores estão frequentemente em proximidade a maquinaria pesada, como veículos de transporte e bombas de betão, aumentando a exposição ao risco. Para mitigar este problema, recomenda-se a implementação de zonas de segurança claramente definidas ao redor dos equipamentos em funcionamento, além de inspeções regulares nos sistemas de travagem e sinalização sonora das máquinas. A formação contínua dos operadores em manobras seguras é essencial para prevenir acidentes graves e fatais.

Relativamente às lesões músculo-esqueléticas, com pontuação média de 67,2, sublinha uma prioridade moderada a alta para a implementação de programas preventivos. Durante a observação, verificou-se que muitos trabalhadores realizam movimentos repetitivos, levantam cargas pesadas e mantêm posturas inadequadas por longos períodos. A introdução de programas de ergonomia adaptados ao ambiente de trabalho subterrâneo, combinados com pausas regulares e exercícios de alongamento, pode reduzir significativamente a incidência de lesões. Além disso, o uso de ferramentas ergonómicas e formação sobre técnicas de levantamento adequadas são passos cruciais para melhorar a saúde ocupacional e a qualidade de vida dos trabalhadores.

A pontuação média de 64, reflete uma necessidade moderada a alta de implementar medidas preventivas contra a queda de objetos e materiais durante operações em minas subterrâneas. A observação direta mostrou que fatores como armazenamento inadequado e transporte em condições instáveis contribuem significativamente para este risco. Práticas como a instalação de barreiras protetoras, delimitação de áreas específicas para armazenamento e formação contínua dos trabalhadores sobre manuseio de cargas são fundamentais para reduzir acidentes. Além disso, o uso de EPIs, como capacetes e calçados de segurança, foi identificado como essencial para minimizar as consequências de eventuais quedas de materiais.

Depois, a pontuação média de 64, destaca a importância de medidas preventivas específicas durante a aplicação de betão projetado. A observação revelou que a ausência de formação técnica para operadores e a utilização de equipamentos desatualizados frequentemente resultam

em falhas na aplicação, levando a quedas de betão fresco. Para mitigar este risco, é recomendada a utilização de técnicas adequadas de projeção, além da realização de formações regulares para operadores, focando na calibração dos equipamentos e na preparação adequada das superfícies antes da aplicação. Estas práticas não só aumentam a segurança como também melhoram a eficiência do processo de projeção.

Quanto ao rebentamento/projeção de componentes, a pontuação média de 100, reflete uma prioridade muito alta para a implementação de medidas de segurança rigorosas na aplicação de betão projetado em minas subterrâneas. Durante a observação, foi identificado que condições de operação inadequadas e a manutenção insuficiente dos equipamentos de projeção aumentam significativamente o risco de rebentamento ou projeção de componentes. Para minimizar este risco, é crucial realizar inspeções regulares, aplicar protocolos de manutenção detalhados e oferecer formação especializada aos operadores. Estas medidas ajudam a garantir a integridade dos equipamentos e a segurança dos trabalhadores em áreas de alto risco.

A projeção de betão a alta pressão apresenta riscos críticos, especialmente quando não há uma análise detalhada das condições de trabalho. A pontuação média de 100, indica a urgência de implementar medidas preventivas. A observação direta revelou que equipamentos mal calibrados e a ausência de zonas demarcadas para operações de alta pressão podem aumentar os riscos. Para mitigar esses perigos, recomenda-se o uso consistente de EPIs adequados, como viseiras e luvas resistentes a impactos, bem como manutenções regulares nos sistemas de projeção. Além disso, a formação contínua dos operadores é indispensável para garantir que o equipamento seja utilizado de forma segura e eficiente, reduzindo a probabilidade de acidentes graves.

A pontuação média de 100, reflete uma alta prioridade na implementação de medidas preventivas e corretivas para reduzir os riscos associados ao manuseio de produtos químicos em minas subterrâneas. Durante a observação direta, verificou-se que a exposição inadequada a substâncias químicas, como adjuvantes de betão e agentes de cura, representa uma ameaça significativa à saúde dos trabalhadores, podendo causar irritações, intoxicações e doenças ocupacionais. Para mitigar esses riscos, são recomendadas ações como o uso consistente de EPIs, incluindo luvas, máscaras e óculos de proteção, bem como a capacitação contínua dos trabalhadores sobre procedimentos seguros de manuseio e armazenamento. Inspeções regulares e adequadas das áreas de armazenamento são igualmente essenciais para prevenir acidentes e

exposições indevidas.

Conforme se pode observar na Figura 4.1, com a aplicação da Matriz GUT, ficaram definidas 7 prioridades. Deste modo, pode-se elaborar uma lista de prioridades e respectivas medidas, com base nestes resultados.

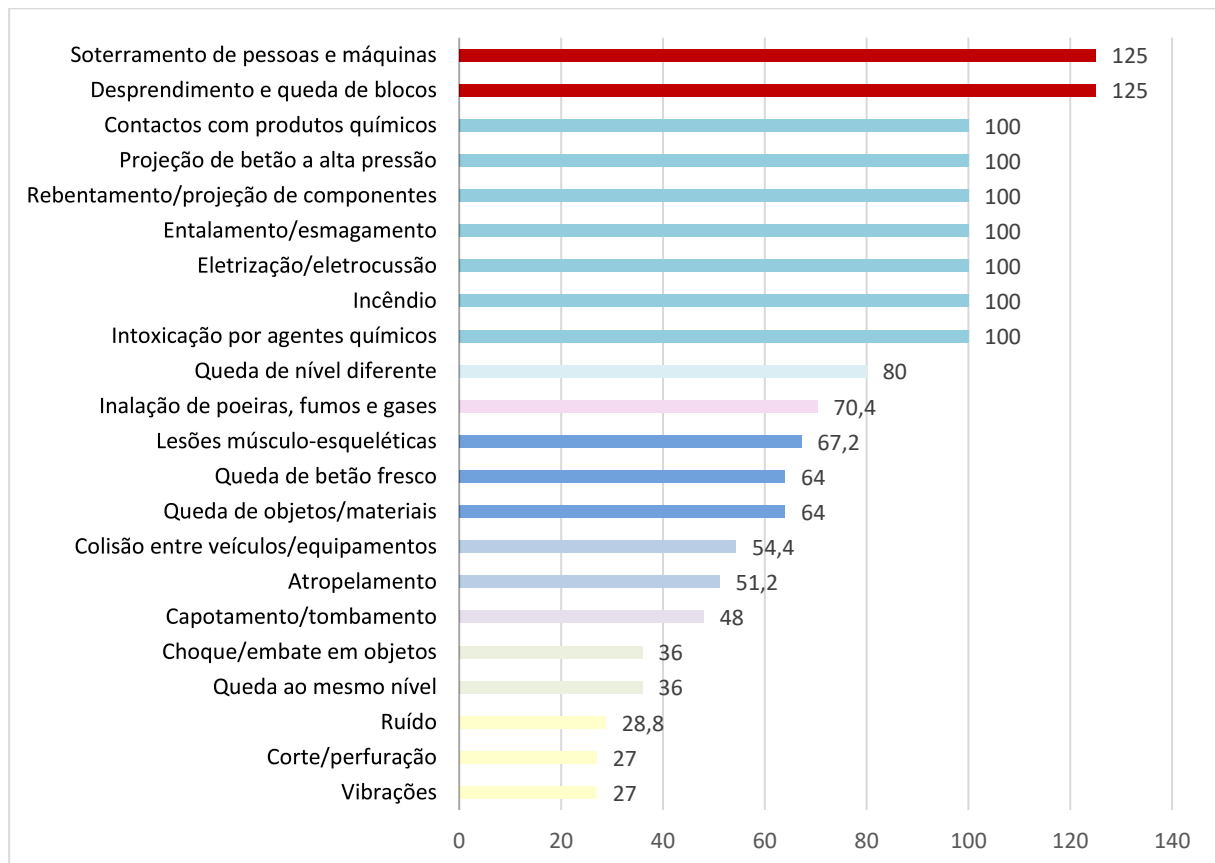


Figura 4.1 - Prioridade do risco de acordo com os scores GUT (elaboração própria)

4.2. Análise dos Resultados

Os resultados foram obtidos através do acompanhamento detalhado da aplicação de betão em várias galerias subterrâneas distintas. Num contexto mais amplo, o estudo incluiu uma análise das condições geológicas e estruturais da mina, além da explicação dos processos específicos de aplicação de betão projetado utilizado em ambientes subterrâneos. Em seguida, foram abordados os critérios de Gravidade, Urgência e Tendência da Matriz GUT para a avaliação desses riscos, seguido pela aplicação prática desta matriz para identificar e classificar os riscos específicos observados.

Por fim, foram descritos os métodos utilizados para coletar dados, incluindo observações diretas e análise de incidentes anteriores, para fundamentar as conclusões e recomendações apresentadas no estudo.

Com base no Indicador GUT, foi elaborada uma hierarquia de prioridades para a implementação de medidas preventivas dos riscos identificados. A prioridade máxima, com um valor de GUT de 125, foi atribuída aos riscos de desprendimento e quedas de blocos e soterramento de pessoas, que requerem ações imediatas para prevenir acidentes graves. Em seguida, a segunda prioridade, com um valor de GUT de 100, inclui sete riscos: intoxicação por agentes químicos, incêndio, eletrização/eletrocussão, entalamento/esmagamento, rebentamento/projeção de componentes, projeção de betão a alta pressão e contactos com produtos químicos, todos considerados de alta prioridade devido à sua severidade e urgência.

A terceira prioridade, com um valor de GUT de 80, refere-se ao risco de queda de nível diferente, que, apesar de único nesta categoria, necessita de atenção significativa para prevenir acidentes. Na quarta prioridade, com um valor de GUT de 64 a 70,4, foram identificados quatro riscos: inalação de poeiras, fumos e gases, lesões músculo-esqueléticas, queda de objetos/materiais e queda de betão fresco, todos exigindo medidas preventivas moderadas a altas para mitigar os seus impactos.

Com um valor de GUT de 48 a 54,4, a quinta prioridade abrange os riscos de atropelamento, capotamento/tombamento e colisão entre veículos/equipamentos, que, embora de menor urgência, ainda requerem ações consistentes para prevenir acidentes. A sexta prioridade, com um valor de GUT de 36, engloba os riscos de queda ao mesmo nível e choque/embate em objetos, que necessitam de medidas básicas de prevenção. Por fim, a sétima prioridade, com um valor de GUT de 27 a 28,8, inclui os riscos de ruído, vibrações e corte/perfuração, considerados menos urgentes, mas que ainda requerem atenção para melhorar a segurança dos trabalhadores e prevenir problemas de longo prazo. Esta classificação permite uma abordagem estruturada e eficiente para a gestão de riscos em ambientes subterrâneos.

4.3. Análise estatística

A análise estatística envolveu medidas de estatística descritiva (frequências absolutas e relativas, médias e respetivos desvios-padrão) e estatística inferencial. Nesta, utilizou-se o

coeficiente de correlação de Spearman. O nível de significância foi fixado em $\alpha = .05$.

A análise estatística foi efetuada com o software IBM SPSS versão 28 para Windows.

Na Figura 4.2, observa-se o tipo de riscos identificados e verifica-se que foram identificados 22 riscos e que a grande maioria são riscos de acidentes, 16 (72,7%). Foram identificados 3 (13,6%) riscos químicos, 2 (9,1%) riscos físicos e 1 (4,5%) risco ergonômico.

	N	%
Riscos de acidentes	16	72,7
Riscos químicos	3	13,6
Riscos físicos	2	9,1
Riscos ergonômicos	1	4,5
Total	22	100,0

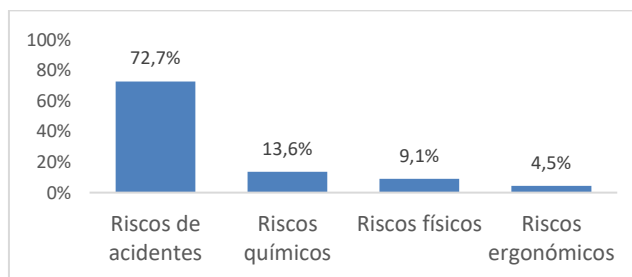


Figura 4. 2 - Tipo de Riscos

Na Figura 4.3, observa-se, no que respeita ao critério Gravidade, 5 (22,7%) riscos foram considerados graves, 8 (36,4%) foram considerados muito graves e 9 (40,9%) foram considerados extremamente graves.

	N	%
Grave	5	22,7
Muito grave	8	36,4
Extremamente grave	9	40,9
Total	22	100,0

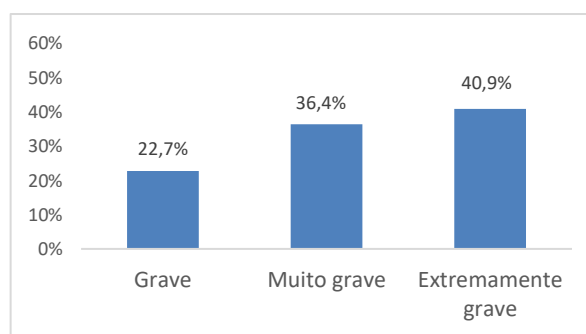


Figura 4. 3 - Gravidade do risco

Na Figura 4.4, observa-se, no que respeita ao critério Urgência, 3 (13,6%) riscos foram considerados urgentes, 9 (40,9%) foram considerados muito urgentes e 10 (45,5%) foram considerados extremamente urgentes.

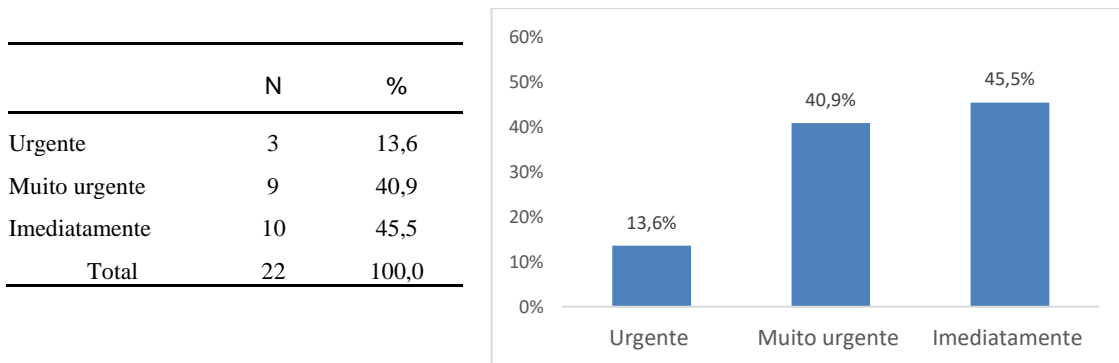


Figura 4. 4 - Urgência do risco

Na Figura 4.5, observa-se, no que respeita ao critério Tendência, 8 (36,4%) riscos foram considerados que iriam piorar a médio prazo, 12 (54,5%) foram considerados que iriam pior a curto prazo e 2 (9,1%) foram considerados que iriam piorar imediatamente.

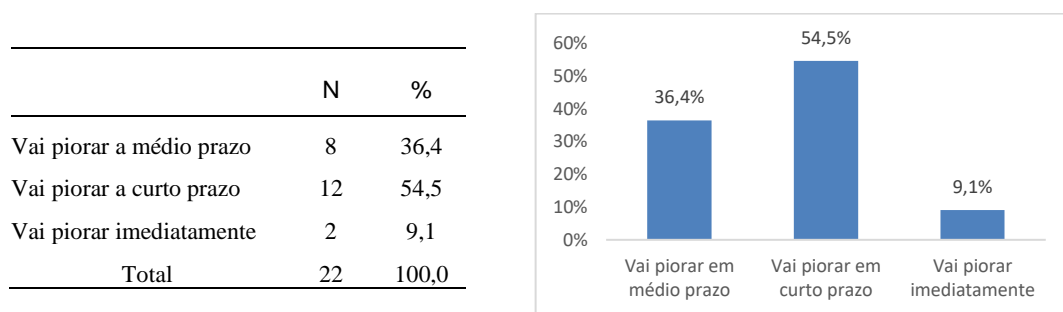


Figura 4. 5 - Tendência do risco

Como se pode observar na Tabela 4.2, todos os coeficientes de correlação são estatisticamente significativos, positivos e muito elevados. O que significa que os critérios variam no mesmo sentido e que todos contribuem para o aumento do indicador GUT. A correlação mais elevada ocorre entre o indicador GUT com a Gravidade ($r_{sp} = .954, p < .001$). A correlação mais elevada entre os critérios GUT ocorre entre a Urgência e a Gravidade ($r_{sp} = .856, p < .001$). Isto significa que quanto mais urgente um risco é, mais grave é também.

Tabela 4. 2 - Correlação GUT, Gravidade, Urgência e Tendência

			GUT	Gravidade	Urgência
			Média	Média	Média
Spearman	Gravidade	Coeficiente correlação	,954**		
	Média	Sig.	<,001		
		N	22		
Urgência	Coeficiente correlação		,933**	,856**	
	Média	Sig.	<,001	<,001	
		N	22	22	
Tendência	Coeficiente correlação		,943**	,855**	,817**
	Média	Sig.	<,001	<,001	<,001
		N	22	22	22

Nota: * $p \leq .05$ ** $p \leq .01$ *** $p \leq .001$

Para validar os resultados obtidos, em primeiro lugar, fez-se a comparação entre os resultados individuais de dois avaliadores, A2 e A3, com os resultados obtidos pela média de todos os avaliadores. Tendo-se verificado concordância na avaliação de todos os riscos. Seguidamente, determinou-se as correlações entre os resultados individuais destes avaliadores entre si, por um lado, e com a média de todos, por outro. Conforme Tabela 4.3, verifica-se que existe uma associação positiva e forte ($r_{sp}=0,993$; $p<0,01$) entre a avaliação do avaliador 2 e a ordenação final. Também se verifica que existe uma associação positiva e forte ($r_{sp}=0,995$; $p<0,01$) entre a avaliação do avaliador 3 e a ordenação final. Por último, verifica-se que existe uma associação positiva e forte ($r_{sp}=0,988$; $p<0,01$) entre a avaliação do avaliador 2 e a do avaliador 3.

Tabela 4. 3 - Correlação entre as avaliações de dois avaliadores e a ordenação final

			A2	A3
Spearman	A3	Coeficiente de Correlação	,988**	
		Sig.	<,001	
		N	22	
GUT	Média	Coeficiente de Correlação	,993**	,995**
		Sig.	<,001	<,001
		N	22	22

Nota: * $p \leq .05$ ** $p \leq .01$ *** $p \leq .001$

5 - CONCLUSÕES

A mina subterrânea de Aljustrel, assim como outras minas subterrâneas em Portugal, enfrenta grandes riscos de acidentes em trabalhos complexos representando ambientes adversos onde os trabalhadores estão expostos a uma variedade significativa de perigos e riscos.

Com a metodologia de estudo adotada, foi possível identificar e melhorar os principais riscos associados à aplicação de betão projetado na mina subterrânea de Aljustrel, Portugal. A revisão bibliográfica permitiu a verificação dos elementos preponderantes para a execução da investigação, facilitando a priorização do tema que levou aos pressupostos definidos nos objetivos e hipóteses a serem investigados.

Com base na análise realizada através da elaboração de uma lista de verificação e da aplicação da Matriz GUT, os riscos mais críticos foram identificados, destacando-se os perigos de desprendimento e queda de blocos, soterramento de pessoas e máquinas, e contactos com produtos químicos, com indicadores de máxima prioridade. Esses resultados evidenciam a necessidade de intervenções imediatas para mitigar os riscos que impactam diretamente a segurança dos trabalhadores, a integridade estrutural das galerias e a eficiência das operações. Os riscos classificados com prioridades moderadas e baixas, como ruído, vibrações e cortes/perfurações, também necessitam de atenção, mas em médio prazo e com foco em prevenção de longo prazo.

Para reduzir os riscos associados às operações em minas subterrâneas, recomenda-se a instalação de barreiras físicas para além de redes de proteção nas galerias para prevenir desprendimentos de blocos e soterramentos, priorizando as áreas de maior risco. Além disso, é essencial a capacitação contínua dos trabalhadores, por meio de formações regulares sobre segurança ocupacional, manuseio de produtos químicos, utilização de equipamentos e procedimentos de emergência, garantindo um ambiente mais seguro. A implementação de um plano de manutenção preventiva para todos os equipamentos de projeção, transporte e maquinaria pesada é indispensável, assegurando que estejam em perfeito estado de funcionamento e reduzindo falhas que possam causar acidentes. Adicionalmente, a monitorização da qualidade do ar deve ser realizada com sensores que detetem níveis elevados de poeiras, fumos e gases, permitindo ações imediatas em caso de condições inadequadas.

É igualmente importante definir rotas exclusivas para veículos e pedestres, associadas à colocação de sinalização clara, iluminação adequada e barreiras físicas, de modo a reduzir colisões, atropelamentos e capotamentos. A utilização obrigatória de EPIs, como capacetes, luvas, botas antiderrapantes, máscaras com filtros químicos e vestuário resistente, deve ser promovida para garantir a proteção contra riscos físicos e químicos. Recomenda-se também a realização de inspeções periódicas nas instalações elétricas, com a revisão de sistemas e a substituição de componentes defeituosos para minimizar os riscos de eletrização ou incêndios. Além disso, é crucial adotar práticas ergonômicas no trabalho, incluindo pausas regulares, exercícios de alongamento e a disponibilização de ferramentas ajustadas às necessidades dos trabalhadores, prevenindo lesões músculo-esqueléticas.

No que diz respeito ao betão projetado, é essencial implementar medidas específicas, como a utilização de equipamentos de projeção adequados, operadores treinados e técnicas de cura que garantam aderência e estabilidade do material. Por fim, recomenda-se a criação de um sistema de relatórios periódicos de segurança, que permita uma análise contínua das condições de trabalho e a identificação de melhorias nos processos e medidas preventivas.

A importância da Matriz GUT na identificação e priorização de riscos tem sido evidente noutras situações, pelo que foi considerada como sendo uma ferramenta valiosa para categorizar e priorizar os riscos associados à aplicação de betão projetado em ambientes subterrâneos. Esta técnica identifica os principais riscos e também destaca aqueles que requerem intervenção imediata e ao desenvolvimento de estratégias de mitigação a médio e longo prazo.

Portanto, é crucial desenvolver estratégias de mitigação para cada risco prioritário, visando reduzir sua probabilidade de ocorrência e minimizar os impactos negativos quando ocorrerem.

A gestão eficaz de perigos e riscos em minas subterrâneas é essencial para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores. Neste sentido, a utilização de abordagens proativas, como avaliações de risco contínuas e implementação de medidas preventivas robustas, é fundamental para mitigar os perigos associados a esses ambientes operacionais desafiadores, possibilitando assim que a indústria da mineração contribua para um desenvolvimento mais sustentável.

BIBLIOGRAFIA

- Abdalla, J. A., Hawileh, R. A., Bahurudeen, A., Jittin, Syed Ahmed Kabeer, K. I., & Thomas, B. S. (2023). Influence of Synthesized Nanomaterials in the Strength and Durability of Cementitious Composites. *Case Studies in Construction Materials*, Article e02197. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02197>
- ACT. (2018). *Workplace health and safety in mining: An overview of occupational injuries and diseases*. https://www.act.gov.au/_data/assets/pdf_file/0010/572801/Mining-Safety-Report.pdf
- APA. (2014). *APA: Os poluentes e as consequências para a saúde*. [Efeitos da poluição do ar | Agência Portuguesa do Ambiente](#)
- APCER (2015). *ISO 9001*. <https://apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/81/iso-9001>
- Assembleia da República. (2009). Lei n.º 102/2009, de 10 de setembro. Diário da República n.º 176/2009, Série I, pp. 6167-6192. Disponível em: [Decreto-Lei n.º 88/2015 | DR](#)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). *ABNT NBR ISO 31000:2018 - Gestão de riscos — Diretrizes*. Rio de Janeiro: ABNT. Disponível em: [2018 - Diretrizes - Gestão de Riscos ABNT NBR ISO 31000.pdf](#)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2022). *Riscos ambientais*. <https://www.ABNT.com>
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
- Aven, T. (2022). A risk science perspective on the discussion concerning Safety I, Safety II and Safety III. *Reliability Engineering & System Safety*, 217, 108077. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108077>
- Benson, C., Obasi, I., Akinwande, D. & Ile, C. (2024). The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry. *Heliyon*, 10(1), e23604. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23604>
- Bernardo, G., Guida, A., & Mecca, I. (2015). Advancements in shotcrete technology. In *STREMAH 2015*. WIT Press. <https://doi.org/10.2495/str150491>
- Birol, F. (2020, outubro). *World Energy Outlook 2020*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a72d8abf-de08-4385-8711-b8a062d6124a/WEO2020.pdf>

- Bissonnette, B., Courard, L., Garbacz, A., Vaysburd, A. M., & von Fay, K. F. (2017). Specification Guidelines for Surface Preparation of Concrete Prior to Repair. *ACI Materials Journal*, 114(2), 219-230. Recuperado de <https://www.concrete.org/publications/getarticle.aspx?m=icap&pubID=51725793>
- Boldy, R., Santini, T., Annandale, M., Erskine, P. & Sonter, L. (2021). Understanding the impacts of mining on ecosystem services through a systematic review. *The Extractive Industries and Society*, 8(1), 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.12.005>
- Borgonovo, E., Cappelli, V., Maccheroni, F. & Marinacci, M. (2018). Risk analysis and decision theory: A bridge. *European Journal of Operational Research*, 264, 280-293. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.06.059>
- Braga, I. C., Brandão, F. d. S., Ribeiro, F. R. C., & Diógenes, A. G. (2019). Application of GUT Matrix in the assessment of pathological manifestations in heritage constructions. *Revista ALCONPAT*, 9(3), 320–335. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i3.400>
- Brown, T. (2021). Effective strategies for concrete spraying in underground mining. *Engineering and Mining Journal*. <https://www.e-mj.com/articles/2021/effective-strategies-for-concrete-spraying>
- Ceccato, E. (2021). *Análise da taxa de acidentes de quedas na espanha e em portugal entre 2014 e 2018*. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto]. Repositório da UP. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/138482/2/520221.pdf>
- CEN. (2005). *EN 14487-1:2005: Shotcrete - Part 1: Definitions, specifications and conformity*. European Committee for Standardization. [EN 14487-1:2005 Sprayed concrete - Part 1: Definitions, specification](https://www.cen.eu/EN/14487-1:2005/Sprayed-concrete-Part-1-Definitions-specification)
- Chen, F., Zhang, W., Mfarrej, M. F. B., Saleem, M. H., Khan, K. A., Ma, J., Raposo, A., & Han, H. (2024). Breathing in danger: Understanding the multifaceted impact of air pollution on health impacts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 280, 116532. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116532>
- Chinmay, H., Ansari, K., Waghmare, C. & Natthu, S. (2020). Fugitive Emission and Noise impact and mitigation measures during the construction of underground station & tunneling at Mumbai Metro Line-3. *Solid State Technology*, 63(2s). <https://www.solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/1799>
- Comité Europeu de Normalização. (2011). *EN 197-1:2011 - Cimento - Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes*. Bruxelas: CEN. Recuperado de [EN 197-1:2011 - Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common](https://www.cen.eu/EN/197-1:2011-Cement-Part-1-Composition-specifications-and-conformity-criteria-for-common)
- Costa, P. A., & Mendes, T. (2019). *Matriz Gut – Riscos ocupacional*. Ed.1. <https://1library.org/article/matriz-gut-m%C3%A9todos-utilizados-no-brasil.y4w6gl5k>
- Coutinho, A. de Sousa. (1988). *Fabrico e Propriedades do Betão. Volume I*. Laboratório

Nacional de Engenharia Civil. [Fabrico e propriedades do betão, A. de Sousa Coutinho - Livro - Bertrand](#)

- Decreto-Lei n.º 10/2010 de 4 de fevereiro: Regime jurídico da gestão de resíduos. Diário da República, 1.ª série — N.º 24 — 4 de fevereiro de 2010. Disponível em <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/10-2010-617112>
- Decreto-Lei n.º 102/2009: Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho. Diário da República, 1.ª série — N.º 72 — 13 de abril de 2009. Disponível em <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/lei/2009-56365341-106425840>
- Decreto-Lei n.º 102/2015: Planos de Segurança e Gestão em Minas Subterrâneas. Diário da República, 1.ª série — N.º 322 — 24 de agosto de 2015. [Lei n.º 102/2015 | DR](#)
- Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro. Diário da República. (2017). *Decreto-Lei n.º 152-B/2017, de 11 de dezembro. Avaliação de Impacte Ambiental*. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/152-b-2017-114337013>
- Decreto-Lei n.º 162/90: Prescrições mínimas de segurança e saúde a aplicar nas atividades de perfuração e extração subterrâneas. Diário da República, 1.ª série — N.º 129 — 5 de junho de 1990. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/162-571472>
- Decreto-Lei n.º 24/2012: Proteção dos trabalhadores contra os riscos ligados à exposição ao amianto no trabalho. Diário da República, 1.ª série — N.º 67 — 3 de abril de 2012. Disponível em <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/24-2012-543690>
- Decreto-Lei n.º 273/2003: Estabelece prescrições mínimas de segurança e saúde a aplicar nas atividades de perfuração e extração subterrâneas. Diário da República, 1.ª série — N.º 198 — 28 de agosto de 2003. https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1771&tabela=leis&ficha=1&pagina=1&so_miolo=1
- Decreto-Lei n.º 330/93: Movimentação manual de cargas que comporte riscos para os trabalhadores, nomeadamente dorsolombares. Diário da República, 1.ª série — N.º 251 — 27 de outubro de 1993. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/330-653125>
- Decreto-Lei n.º 349/93: Transpõe a Diretiva 90/269/CEE sobre movimentação manual de cargas. Diário da República, 1.ª série — N.º 259 — 3 de novembro de 1993. Disponível em <https://dre.tretas.org/dre/104620/lei-113-99-de-3-de-agosto>
- Decreto-Lei n.º 50/2005: Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 89/391/CEE, relativa à implementação de medidas para promover a melhoria da segurança e da saúde dos trabalhadores no trabalho. Diário da República, 1.ª série — N.º 72 — 13 de abril de 2005. Disponível em https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1158&tabela=leis
- Decreto-Lei n.º 88/2015. (2015). *Diário da República, Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho. Diário da República, 1.ª série—N.º 72*. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/88-2015-67332417>

- Deming, W. (2000). *Out of the Crisis*. <https://mitpress.mit.edu/9780262541152/out-of-the-crisis/>
- DGEG. (2019). *Mineração subterrânea e seus riscos ambientais*. [Depósitos Minerais \(Minas\)](#)
- Dhillon, B. S. (2009). Mining equipment safety: a review, analysis methods and improvement strategies. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 23(3), 168–179. <https://doi.org/10.1080/17480930902916239>
- Direção-Geral de Energia e Geologia (2019). *Portugal Mineral Resources Statistical Data*. https://www.dgeg.gov.pt/media/105ciwvc/flyer-pt_stat_en_2.pdf
- Diretiva 2002/3/CE União Europeia. (2002). Avaliação Geral do Impacto. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32002L0003>
- Diretiva n.º 2011/92/UE. (2011). Diretiva n.º 2011/92/UE. Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho. Diário da República, 1.ª série—N.º 72. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32011L0092>
- Doe, J. (2019). Challenges in modern concrete applications. *Journal of Construction Engineering and Management*. <https://ascelibrary.org/journal/jcemd4>
- Duarte, J., Marques, A. & Baptista, J. (2021). Occupational Accidents Related to Heavy Machinery: A Systematic Review. *Safety*, 7(1), 21. <https://doi.org/10.3390/safety7010021>
- Dyrborg, J., Lipscomb, H. J., Nielsen, K., Törner, M., Rasmussen, K., Frydendall, K. B., Bay, H., Gensby, U., Bengtsen, E., Guldenmund, F., & Kines, P. (2022). Safety interventions for the prevention of accidents at work: A systematic review. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2). <https://doi.org/10.1002/cl2.1234>
- EFNARC. (2024). Training and assessment of novice operators and experienced. Recuperado de <https://efnarc.org/introduction-efnarcc2>
- Expresso. (2024, 12 de fevereiro). Morreu mineiro que ficou soterrado em Neves-Corvo. Expresso. Disponível em <https://expresso.pt/sociedade/2024-02-12-Morreu-mineiro-que-ficou-soterrado-em-Neves-Corvo-c8aca9b7>
- Fernandes, S. (2015). Estudo de otimização do betão projetado na Mina de Neves-Corvo. [Dissertação de Mestrado, Técnico Lisboa]. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/844820067124827/Estudo%20de%20otimizacao%20do%20betao%20projetado%20na%20Mina%20de%20Neves%20%20Silvana%20Fernandes.%20Final.pdf>
- Freitas, F., Lemos, R., Batista, G. & Vasconcellos, A. (2017). Matriz GUT como alternativa para priorização de requisitos no desenvolvimento de software. *Congresso Nacional de Excelência em Gestão*. https://www.researchgate.net/publication/320072274_Matriz_GUT_como_alternativa_para_priorizacao_de_requisitos_no_desenvolvimento_de_software
- Gavronski, J. (2024). *Fundamentals of safety in mining*. UFRGS: Porto Alegre.

<https://doi.org/10.29327/5430512>

GEP. (2022). *Acidentes de Trabalho*. Gabinete de Estratégia e Planeamento do Ministério do Trabalho.

<https://www.gep.mtsss.gov.pt/documents/10182/26338/at2022sint.pdf/2d7fb1d9-6714-443e-a51b-6f2281fef0dd>

Gerhardsson, L. A follow-up study of vibration-induced injuries in workers exposed to transient and high frequency vibrations. *J Occup Med Toxicol* 19, 27 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12995-024-00425-6>

Guimarães, F. J., Denardi, D. F. A., & Almeida, A. (2020). A percepção dos mineradores a respeito da sinalização na indústria carbonífera do sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia de Segurança*, 39(1), 1-10. Disponível em: https://www.academia.edu/43357514/A_percep%C3%A7%C3%A3o_dos_mineradores_a_respeito_da_sinaliza%C3%A7%C3%A3o_na_ind%C3%BAstria_carbon%C3%A9fera_do_sul_de_Santa_Catarina

He, Q., Li, G., Wang, Y., & Hou, L. (2020). Assessment of respiratory function in workers exposed to cement dust. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (5), 1550. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9518133/>

Health and Safety Executive. (2020). Exposure to crystalline silica in the workplace. Health and Safety Executive. Disponível em: [Control of exposure to silica dust: A guide for employees](#)

Hinze, W. & Aiken, C. (2005). *New standards for reducing gravity data: The North American gravity database*. <https://andeangeophysical.com/userfiles/file/Hinze%20et%20al%202005.pdf>

Hou, S., Li, F., Tang, H., Wen, T., Chen, Z., & Gao, H. (2022). Investigations on the Performance of Shotcrete Using Artificial Lightweight Shale Ceramsite as Coarse Aggregate. *Materials*, 15(10), 3528. <https://doi.org/10.3390/ma15103528>

Ikumi, T., Salvador, R. P., & Aguado, A. (2022). Mix proportioning of sprayed concrete: A systematic literature review. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 124, 104456. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104456>

Imam, M., Baïna, K., Tabii, Y., Ressami, E. M., Adlaoui, Y., Benzakour, I., & Abdelwahed, E. h. (2023). The Future of Mine Safety: A Comprehensive Review of Anti-Collision Systems Based on Computer Vision in Underground Mines. *Sensors*, 23(9), 4294. <https://doi.org/10.3390/s23094294>

INE. (2019, setembro). *Indústria extrativa população—Instituto Nacional de Estatística*. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE&xlang=pt

International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 – Gestão do risco – Linhas de orientação. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/65694.html>

Instituto Português da Qualidade. (2022). *NP EN 206:2013+A2:2021/Errata 1:2022 – Betão: Documentos normativos*. [Lista Mensal de Documentos Normativos](#)

- Johnson-Hoffman, V. (2019). Employer Strategies for Improving Employee Work-Life Balance. [Doctoral thesis, Walden University]. <https://scholarworks.waldenu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8581&context=dissertations>
- Kaiser, P., & Maloney, S. (2018). Geotechnical risks in underground mines. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 51 (7), 2031-2047. https://www.researchgate.net/publication/286936619_Rock_Mechanics_Challenges_in_Underground_Construction_and_Mining
- Kaiser, P., & Kim, B. (2008). Rock Mechanics Challenges in Underground Construction and Mining. In *First Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium*. Australian Centre for Geomechanics, Perth. https://doi.org/10.36487/acg_repo/808_83
- Kiptulon, E.K., Elmadani, M., Limungi, G.M., Gimon, K., Tóth, L., Horvath, E., Szollosi, A., Galgalo, D., Maté, O. & Siket, U. (2024). Transforming nursing work environments: the impact of organizational culture on work-related stress among nurses: a systematic review. *BMC Health Serv Res.*, 24, 1526. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-12003-x>
- Kissell, F. (2003). *Handbook for Dust Control in Mining*. U.S. Department Of Health And Human. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/mining/UserFiles/works/pdfs/2003-147.pdf>
- Krajnak, K. (2018). Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole body vibration. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 21(5), 320–334. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1557576>
- Krause, T. R., Hidley, J. H., & Hodson, S. J. (1997). The behavior-based safety process: Managing involvement for an injury-free culture (2nd ed.). Wiley. [The behavior-based safety process by Thomas R. Krause | Open Library](#)
- Kruopienė, J. (2020). Hazardous Substances. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T. (eds). *Responsible Consumption and Production. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95726-5_29
- Lie, A., Skogstad, M. & Johannessen, H. (2016). *Occupational noise exposure and hearing: A systematic review*, 89, 351-372. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4786595>
- Liu, Q., Peng, Y., Li, Z., Zhao, P. & Qiu, Z. (2021). Hazard identification methodology for underground coal mine risk management—Root-State Hazard Identification. *Resources Policy*, 72, 102052. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102052>
- Liu, G., Cheng, W., Chen, L., Pan, G., & Liu, Z. (2020). Rheological properties of fresh concrete and its application on shotcrete. *Construction and Building Materials*, 243, 118180. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118180>
- Liu, P., Li, H., Wang, L., & Yin, S. (2023). Impacts of Surface Deformation Induced by

- Underground Mining of Metal Mines on Above-Ground Structures: A Case Study. *Minerals*, 13(12), 1510. <https://doi.org/10.3390/min13121510>
- López, R., Garcia, A., & Martinez, J. (2021). Environmental impacts of mining: A review. *Journal of Environmental Management*, 287, 112-124. [Environmental Impacts of Mining | Request PDF](#)
- López-Arquillos, A., Rubio-Romero, J. C., & Gibb, A. (2014). Health risks in the use of shotcrete. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(10), 1-9. [https://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000889](https://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000889)
- Maciel, A., Pereira, A., Lima, B., Farias, H. & Leite, Y. (2021). Implantação de melhorias sistema de informação na Top Litrão distribuidora (Capítulo 5). In Leite, Y., Costa, R. & Figueiredo, S. (2021), *Gestão e pesquisa: metodologias e técnicas aplicadas* (pp. 53-64). Poisson. https://poisson.com.br/livros/individuais/Gestao_Pesquisa/Gestao_Pesquisa.pdf
- Mackenzie, A., Smith, D., & Thomson, R. (2021). Limited state governance and institutional hybridization in alluvial ASM in Peru. *Resources Policy*, 74, 102-118. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102118>
- Makul, N. (2020). Modern sustainable cement and concrete composites: Review of current status, challenges and guidelines. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, Article e00155. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00155>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Marras, W. S., & Karwowski, W. (Eds.). (1993). *Occupational ergonomics: Principles of work design*. CRC Press. https://archive.org/details/isbn_9780849318023
- McGuinn, P., Buggy, C., Drummond, A., & Sripaiboonkij, P. (2021). Factors influencing the use of hearing protection devices in Irish mine workers. *International Journal of Occupational and Environmental Safety*, 5(2), 51–61. https://doi.org/10.24840/2184-0954_005.002_0005
- Miller, J., & Davis, R. (2021). *Occupational impact*. 2, p. 63. [Organizational and occupational health issues with working remotely during the pandemic: a scoping review of remote work and health | Journal of Occupational Health | Oxford Academic](#)
- Mine Safety and Health Administration. (2020). *Annual report: Mine safety and health*. <https://www.msha.gov/sites/default/files/annualreport2020.pdf>
- Miningwatch (2023). *Contrato para exploração na baixa do Alentejo*. <https://miningwatch.pt/mapadominerio/index.html>
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2010). Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro: Estabelece o regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente. Diário da República, 1.ª série — N.º 186 — 23 de setembro de 2010. Disponível em:

[Decreto-Lei n.º 102/2010 | DR](#)

- Neto, F., Brandão, F., Diógenes, A., Mesquita, E. & Martini, R. (2018). Application of gut matrix in the inspection of a heritage construction in fortaleza-CE. *Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2018*. https://www.researchgate.net/publication/324756009_application_of_gut_matrix_in_the_inspection_of_a_heritage_construction_in_fortaleza-ce
- NIOSH. (2021). *National Institute for Occupational Safety and Health*. [Pocket Guide to Chemical Hazards | NIOSH | CDC](#)
- Noll, J., DeGennaro, C., Carr, J., DuCarme, J., & Homce, G. (2017). Causal Factors of Collision Accidents Involving Underground Coal Mobile Equipment. In *ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/imece2017-70714>
- Oliveira, J., & Costa, M. (2020). Uso do sensoriamento remoto para redução de riscos em operações de crédito rural. *Revista de Tecnologia e Inovação*, 15(2), 123-135. [Uso do sensoriamento remoto para redução de riscos em operações de crédito rural | Caderno Pedagógico](#)
- Oliveira, L. (2019). *Análise de Risco de pilares, mina subterrânea via programação não linear*. [Monografia de Bacharelado, Universidade Federal de Ouro Preto]. https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1983/1/MONOGRRAFIA_AnaliseRiscoPilares.pdf
- Onifade, M., Zvarivadza, T., Adebisi, J. A., Said, K. O., Dayo-Olupona, O., Lawal, A. I., & Khandelwal, M. (2024). Advancing toward sustainability: The emergence of green mining technologies and practices. *Green and Smart Mining Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.05.005>
- Organização Internacional do Trabalho. (1995). Convenção sobre Segurança e Saúde nas Minas, 1995 (n.º 176). Recuperado de [Convention C176 - Safety and Health in Mines Convention, 1995 \(No. 176\)](#)
- Organização Internacional do Trabalho. (2020). *Normas de segurança e saúde no trabalho: Diretrizes para sinalização de segurança*. OIT. Disponível em [ILO Homepage | International Labour Organization](#)
- OSHA. (2014). *Agency for Safety and Health at Work*. https://osha.europa.eu/sites/default/files/annual-report-2013-summary_en.pdf
- Ostad-Ali-Askari, K. (2022). Management of risks substances and sustainable development. *Appl Water Sci.*, 12, 65. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01562-7>
- Pelisser, F., Barcelos, L. F., Pich, C. T., Roesler, C. E., & Dal Molin, D. C. (2012). Effects of surface roughness on the performance of a plate heat exchanger. *Journal of Heat Transfer*, 134(10), 101701. https://www.researchgate.net/publication/334642454_Effect_of_surface_roughn

- Pinto, E. D. O., Aquino, C. R., Costa, G. D., Campos, L., Rodrigues, Y., & Thode Filho, S. (2022). A preliminary study of environmental risks through the gut matrix: application in an industrial kitchen. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.12622>
- Polverino, E., Goeminne, P. C., McDonnell, M. J., Aliberti, S., Marshall, S. E., Loebinger, M. R., Murriss, M., Cantón, R., Torres, A., Dimakou, K., De Soyza, A., Hill, A. T., Haworth, C. S., Vendrell, M., Ringshausen, F. C., Subotic, D., Wilson, R., Vilaró, J., Stallberg, B., . . . Chalmers, J. D. (2017). European Respiratory Society guidelines for the management of adult bronchiectasis. *European Respiratory Journal*, 50(3), 1700629. <https://doi.org/10.1183/13993003.00629-2017>
- Portugal. Decreto-Lei n.º 222/2008, de 17 de novembro. Diário da República, 1.ª série, n.º 223, 8000-8076. Recuperado de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/222-2008-439846>
- Portugal. Decreto-Lei n.º 330/93, de 25 de setembro. Diário da República, 1.ª série-A, n.º 226, 5391-5393. Recuperado de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/330-653125>
- Portugal. Decreto-Lei n.º 46/2006, de 24 de fevereiro. Diário da República, 1.ª série, n.º 40, 1531-1539. Recuperado de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/46-2006-694051>
- Portugal. Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro. Diário da República, 1.ª série, n.º 40, 1766-1773. Recuperado de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/50-2005-584397>
- Puckett, Y., Al-Naser, Y. & Nappe, T. (2023). Ionizing Radiation. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534237/>
- Putzmeister. (2024). Shotcrete equipment. Putzmeister. Disponível em: [Equipamentos de Concreto Projetado | MyPutzmeister](#)
- Rabiei, H., Malakoutikhah, M., Vaziri, M. H., & Salehi Sahlabadi, A. (2021). The Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Miners around the World: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Iranian Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.18502/ijph.v50i4.5992>
- Rahmani, H., Almatroudi, A., & Khan, J. (2018). Effect of Exposure to Cement Dust among the Workers: An Evaluation of Health-Related Complications. *Macedonian Journal of Medical Sciences*, 61(4), 567-576. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6026423/>
- Ramirez, G., Shaw, S. & Maloney, E. (2018). Math Anxiety: Past Research, Promising Interventions, and a New Interpretation Framework. *Educational Psychologist*, 53(3), 145-164. <https://doi.org/10.1080/00461520.2018.1447384>

- Srivastava, M., Srivastava, H., Singh N. & Awasthi, A. (2017). Behaviour of Concrete on the Use of Quarry Dust and Superplasticizer to Replace Sand. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 14(4), 06-11. <https://doi.org/10.9790/1684-1404070611>
- Sunkpal, M., Roghanchi, P., & Kocsis, K. C. (2018). A Method to Protect Mine Workers in Hot and Humid Environments. *Safety and Health at Work*, 9(2), 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2017.06.011>
- Tender, M., & Couto, J. (2021). Improving occupational health and safety data integration using building information modelling - an initial literature review. In A. Arezes (Ed.), *Occupational and Environmental Safety and Health III* (pp. 123-136). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89617-1_7
- Tender, M., Campos, M., Garcia, A., Baptista, J., Bernardo, J., Queiróz, J. & Rodrigues, V. (2022). *Guia de boas práticas de segurança e saúde para a fase de construção de obras subterrâneas*. CPT - SPG. <https://spgeotecnia.pt/wp-content/uploads/2024/02/cpt-guia-de-sh-nas-obras-subterraneas-v-final.pdf>
- The World Bank (2011, setembro). *Mining: World Bank Support to Mining Sector Reform*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/415761468313798064/pdf/689110BRI0P1200Mining0Sector0Reform.pdf>
- Toderaş, M., & Danciu, C. (2020). Safety, health and hazards related to using of sprayed concrete in underground mining works. *MATEC Web of Conferences*, 305, 00067. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202030500067>
- UNEP. (2023). *United Nations Environment Programme*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44777/UNEP_Annual_Report_2023.pdf?sequence=19
- Vandewalle, M. (2005). *Tunnelling is an Art*. NV Bekaert SA. [Detalhes: Tunnelling is an art > Biblioteca do ISEL catálogo](#)
- Vincoli, J. (2024). *Basic Guide to System Safety*. (4th ed.). Wiley. [Basic Guide to System Safety: Vincoli, Jeffrey W.: 9781394233724: Amazon.com: Books](#)
- Wu, M., Hu, N., Ye, Y., Wang, Q. & Wang, X. (2022). Multi-hazard risk characterization and collaborative control oriented to space in non-coal underground mines. *Sci Rep.*, 12, 16452. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20437-8>
- Yel, H., Cavdar, A. & Torun, S. (2020). Effect of press temperature on some properties of cement bonded particleboard. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 22(1), 83-92. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000108>
- You, F., Shaik, S., Rokonuzzaman, M., Rahman, K. & Tan, W.-S. (2023). Fire risk assessments and fire protection measures for wind turbines: A review. *Heliyon*, 9(9), e19664. [Fire risk assessments and fire protection measures for wind turbines: A review - PubMed](#)
- Zelege, Z. K., Moen, B. E., & Bråtveit, M. (2010). Cement dust exposure and acute lung


function: A cross shift study. *BMC Pulmonary Medicine*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2466-10-19>



Zhou, J., Zhang, Y., Li, C., He, H., & Li, X. (2023). Rockburst prediction and prevention in underground space excavation. *Underground Space*, 14, 70-98. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2023.05.009>



ANEXOS



ANEXO I



Lista de verificação para avaliação de riscos



AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A1	Projeção em execução	Projeção de partículas de sílica, emissão de gases e fumo	A inalação de poeira gerada durante a mineração pode causar doenças respiratórias graves, como silicose e pneumoconiose		<ul style="list-style-type: none"> - A operação é desempenhada remotamente por um trabalhador. - Utilização de EPI e monitoramento contínuo da qualidade do ar. 	Inalação de Poeira, Fumos e Gases
A2	Instalação do equipamento	Uso de maquinário pesado; Ligação à instalação elétrica	Trabalhos com riscos acidentais, zonas desprotegidas.		<ul style="list-style-type: none"> - Existe infiltração de água e muita humidade no local. - Ausência de proteção adequada do equipamento. 	Entalamento/Es magamento Eletrização/Elet rocussão



AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A3	Trabalhos preparatórios	Presença de materiais combustíveis	Existência de extintor químico de 6kg em obra.		<ul style="list-style-type: none"> - Existência de extintor de 6kg em obra. - Materiais combustíveis presentes no local de trabalho. 	Incêndio
A4	Operação: projeção	Escorregamento	Água na pista		<ul style="list-style-type: none"> - A presença de água na pista pode causar deslizamentos. - Dificulta a locomoção de equipamentos. - Pode causar eletrificação/eletrocussão. 	Escorregamento, Electrocução



AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A5	Operação: trabalhos preparatórios	Lesões na pele	Contato direto com radiador ou equipamentos em alta temperatura.		- Máquinas e equipamentos que operam em alta temperatura podem causar queimaduras.	Queimaduras térmicas com produtos químicos
A6	Operação: trabalhos preparatórios	Exposição a energia elétrica	Interrupções no fornecimento de energia durante o uso do robô de projeção.		- A ausência de energia pode causar falhas no equipamento, risco de choque elétrico ou mau funcionamento.	Choque elétrico, ferimentos graves

AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A7	Inalação de poeiras	Partículas de sílica	Presença de poeiras contendo partículas de sílica na frente de trabalho devido à falta de controle adequado.		- Monitoramento constante da qualidade do ar e manutenção dos sistemas de ventilação são indispensáveis.	Doenças respiratórias (silicose), desconforto respiratório
A8	Queda de betão fresco	Betão com pouca aderência	Quando as especificações para obter o betão adequado não são respeitadas, reduzindo sua aderência ao maciço.		- O uso de contenções adequadas, treinamento de operadores e sinalização nas áreas de risco são fundamentais.	Acidentes de trabalho devido ao desprendimento de betão.

AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A9	Deslocamento do equipamento de trabalho	Presença de lama na pista	Lama na pista pode causar deslizamentos e perda de controle de veículos e equipamentos.		- A remoção regular da lama, aplicação de materiais antiderrapantes e sinalização adequada são fundamentais. de materiais antiderrapantes.	Acidente por deslizamento de equipamentos.
A10	Secção a ser projetada	Pista irregular	Superfícies irregulares podem causar instabilidade durante a circulação de trabalhadores e equipamentos.		- Realizar nivelamento regular e manutenção da pista. - Utilizar pá carregadeira para correção.	Risco de queda ao mesmo nível, acidentes com veículos/equipamentos e colisão entre veículos.

AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A11	Operação: trabalhos preparatórios	Equipamentos móveis em movimento	Betoneira transportando betão para o robot de projeção.		<ul style="list-style-type: none"> - Implementação de zonas seguras e treinamento para operadores. - Utilizar calços para pneus. - Presença de pirilampos. 	Risco de atropelamento, entalamento, esmagamento e capotamento.
A12	Operação: trabalhos preparatórios	Secção Subterrânea - Frente estrutural em deslizamento	Queda de rochas ou material solto das paredes ou teto da mina.		<ul style="list-style-type: none"> - Inspeções regulares para garantir que a frente estrutural seja segura. - Reforço das áreas com risco de deslizamento. 	Soterramento de pessoas, maquinas e deslizamento

AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A13	Operação: trabalhos preparatórios	Secção Subterrânea - Rachadura estrutural	Fissuras nas estruturas da mina podem indicar instabilidade e risco de colapso.		<ul style="list-style-type: none"> - Monitoramento constante das estruturas. - Reparos imediatos com betão projetado ou parafusos de resina. 	Quedas de blocos, corte e perfuração.
A14	Operação: trabalho em execução	Secção Subterrânea - Execução da atividade de betão projetado	Má postura durante a operação de equipamentos ou projeção de betão pode causar lesões musculoesqueléticas.		<ul style="list-style-type: none"> - Treinamento em técnicas ergonômicas. - Muito tempo em uma única posição pode causar lesões musculoesqueléticas. 	Lesões musculoesqueléticas, vibrações e ruído.

AVALIAÇÃO DE RISCOS						
	Subprocesso /tarefa	Perigo	Evento desencadeador	Foto	Observações	Risco
A15	Operação: trabalhos preparatórios	Secção Subterrânea - Cabo elétrico na pista	Cabos elétricos espalhados no chão representam riscos de tropeço e choque elétrico.		<ul style="list-style-type: none"> - Organização dos cabos com suportes adequados e sinalização. - Manter cabos fora das áreas de passagem. 	Tropeços e quedas.
A16	Operação: projeção	Robot de projeção	Cabos elétricos na água podem causar falhas graves ou lesões devido à ruptura.		<ul style="list-style-type: none"> - Organizar cabos com suportes adequados para evitar contato com água. - Utilizar sinalização de alerta. 	Eletrocussão, rebentamento, projeção de componentes

ANEXO II

Pedido de Autorização para Realização do Estudo

Pedido de Autorização para Realização do Estudo

Eu, Rafael Ferreira de Souza, aluno do Mestrado em Segurança e Saúde no Trabalho, com o número de estudante 64651, solicito respeitosamente a Vossa Excelência autorização para realizar a coleta de dados para o estudo "Riscos Associados à Aplicação de Betão Projetado na Mina Subterrânea de Aljustrel".

O objetivo principal deste estudo é avaliar os riscos envolvidos no uso de betão projetado em galerias subterrâneas de mineração, explorar práticas de segurança e sugerir estratégias para mitigar esses riscos e melhorar as condições de trabalho. Pretende-se também realizar uma análise descritiva detalhada para atingir os objetivos propostos. Entre os objetivos secundários, incluem-se o acompanhamento das operações, a descrição detalhada das atividades realizadas pela empresa, a coleta de dados sobre os serviços de Segurança e Higiene no Trabalho, a organização de checklist específicos para a empresa e a criação de registos baseados em observações diretas das atividades dos colaboradores.

A supervisão deste projeto está a cargo das Professoras Doutoras Conceição Ribeiro e Marta Gonçalves.

Este projeto visa contribuir para a implementação de melhorias e medidas de mitigação. Com essas ações, a empresa poderá não apenas assegurar um ambiente de trabalho mais seguro para seus funcionários, mas também aumentar a eficiência operacional e reduzir custos associados a acidentes a longo prazo. Este estudo também visa priorizar os riscos associados às atividades mencionadas e realizar uma avaliação de risco detalhada dos principais perigos para a saúde e segurança dos trabalhadores.

A coleta de dados será realizada por meio de observação e acompanhamento em

diversas galerias, e os dados coletados serão analisados utilizando o software estatístico IBM SPSS para produzir relatórios, calcular estatísticas descritivas e elaborar gráficos. Informo ainda que este estudo não implica custos ou riscos adicionais para os trabalhadores, sendo garantidos o anonimato e a confidencialidade dos dados coletados.

Assunto: Autorização para Realização do Estudo

Eu _____, na
qualidade de responsável pelo(a) _____,
autorizo/não autorizo a realização da coleta de dados para o estudo "Riscos
Associados à Aplicação de Betão Projetado na Mina Subterrânea de Aljustrel".

Faro, ____ de _____ de 2024.

Assinatura do(a) Responsável da Empresa: _____

Assinatura do investigador: _____

ANEXO III
Grelha de Avaliação

Avaliação dos 22 riscos identificados, efetuada por 5 participantes: três engenheiros de minas e dois técnicos de segurança e saúde no trabalho.

Riscos	Avaliador 1			Avaliador 2			Avaliador 3			Avaliador 4			Avaliador 5		
	G	U	T	G	U	T	G	U	T	G	U	T	G	U	T
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4
4	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4
5	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4	4	5	4
6	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3
7	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3
8	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
11	5	5	4	5	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5
12	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4
13	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3
14	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4
15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	4	5
17	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4
18	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
19	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
20	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4
21	5	5	4	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4
22	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4

