



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DE RISCO EM TALUDES NA MINERAÇÃO

Laís Alves Vilaça

Belo Horizonte
2021

Laís Alves Vilaça

AVALIAÇÃO DE RISCO EM TALUDES NA MINERAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. DSc. Evandro Carrusca de Oliveira

Coorientador: Ariadna Gonçalves Moreira

Belo Horizonte
2021

LAÍS ALVES VILAÇA

AVALIAÇÃO DE RISCO EM TALUDES NA MINERAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de Aprovação: 08 / 09 / 2021

Banca Examinadora:



Evandro Carrusca de Oliveira – Orientador e Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG



Ariadna Gonçalves Moreira – Coorientadora
Engenheira de Riscos Sênior na Anglo American



Markson André Martins de Souza
Engenheiro Coordenador de Gestão de Riscos Operacionais na Anglo American



Gilberto Cifuentes Dias Araújo
Prof. MSc. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora pela proteção divina em momentos difíceis, que mesmo em meio às dificuldades não me deixaram desacreditar e continuar firme na caminhada. Agradeço à Eles pelas bênçãos e graças que recebi em todos os dias de minha vida.

Aos meus pais e minha irmã pelo constante apoio as minhas escolhas, pelo incentivo de continuar sempre em busca dos meus sonhos e por estarem sempre presentes, acompanhando-me nas minhas conquistas.

Agradeço ao Gabriel pelo companheirismo, compreensão e incentivo. Aos meus amigos, em especial Ana, Arthur, Brenda, Larissa Barroso, Larissa Faria e Mayara obrigada pelos momentos de distração e perrengues. Vocês fizeram estes anos mais leves e divertidos.

A Coordenação de Riscos da Anglo American, por terem sido minha verdadeira escola prática e técnica em gestão de riscos. Em especial a minha coorientadora Ariadna, por ter me dado conselhos, suporte, compartilhamentos e além de ser exemplo de profissional para mim.

Ao meu orientador, Professor, DSc. Evandro Carrusca pela supervisão, pelo acompanhamento, pela cooperação e apoio constantes.

Agradeço a todo o corpo docente do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, em especial a minha tia e madrinha DSc. Adriana Alves, por todos os aprendizados repassado durante meu período no curso, essenciais para minha formação como profissional e para meu desenvolvimento como pessoa.

RESUMO

VILAÇA, LAÍS ALVES. **Avaliação de Risco em Taludes na Mineração**. 2021. 47 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

A utilização de estruturas de contenção em obras resultantes de uma escavação em solo com uma determinada inclinação é denominada taludes. Muito utilizadas em obras e aplicadas ao setor minerário, podem ser divididas em taludes de mina, que são aqueles próximos a operação de extração de minério em si, dentro da mina ou taludes de estruturas permanentes, que atuam dentro do processo como todo e ocorrem fora da região da mina, como em vias, faixa de dutos e ferrovias. Acidentes podem acontecer em diversos pontos de um processo industrial, a implementação da Avaliação de Risco permite analisar, gerir, monitorar e melhorar os índices de ocorrências de eventos indesejados e materialização de perigos. Seguindo o proposto na ISO 31000, este trabalho trata da avaliação de risco em um trecho (60 km) da faixa de servidão que transcorre o mineroduto de uma mineradora que liga a cidade de Conceição do Mato Dentro-MG ao seu porto de exportação em São João da Barra-RJ. O estudo foi separado por 3 trechos de 20 km cada para facilitar o mapeamento de cada área. As análises foram realizadas utilizando-se as matrizes de risco propostas. Com isso, o segundo trecho foi classificado como o mais crítico, com o grau de risco como 22 (Alto), que é resultante de uma probabilidade (3) possível, podendo ocorrer um evento indesejado no período de 5 a 10 anos, com consequência (5) máxima ou (4) alta para segurança, meio ambiente, social, legal, financeiro e reputacional. Assim, com o objetivo de ter uma operação mais segura, aplicou-se os conceitos da ISO 31000 com estabelecimento do contexto (mapeamento do processo), processos de avaliação de riscos e tratamento dos riscos com aplicação das ferramentas de Análise Preliminar de Riscos (APR) e Análise de *Bowtie* (BTA). As análises possibilitaram avaliar que houve redução do grau do risco para 19 (Significativo), visto que com todas as medidas implementadas a probabilidade passa a ser improvável (2). Desta forma, os resultados demonstram que a aplicação de uma gestão de riscos robusta é eficaz e viável para minimizar a probabilidade de ocorrência de impactos causados por estruturas geotécnicas.

Palavras chaves: Gestão de riscos. Estruturas Geotécnicas. Condição perigosa. *Bowtie*

ABSTRACT

VILAÇA, LAÍS ALVES. **Avaliação de Risco em Taludes na Mineração**. 2021. 47 páginas. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, Year.

The use of containment structures in works resulting from an excavation in the ground with a certain inclination are called slopes. Widely used in works and applied to the mining sector, they can be divided into mine slopes, which are those close to the ore extraction operation itself, inside the mine or slopes of permanent structures, which act within the process as a whole and occur outside the mine region, such as in tracks, pipelines and railways. Accidents can happen at different points of an industrial process, the implementation of Risk Assessment allows analyzing, managing, monitoring and improving the rates of occurrences of unwanted events and materialization of hazards. Following the ISO 31000 proposal, this work deals with the risk assessment in a stretch (60 km) of the right of way that runs the ore pipeline of a mining company that connects the city of Conceição do Mato Dentro-MG to its export port in São João da Barra-RJ. The study was separated into 3 sections of 20 km each to facilitate the mapping of each area. Analyzes were performed using the proposed risk matrices. Thus, the second stretch was classified as the most critical, with the degree of risk as 22 (High), which results from a possible (3) probability, and an unwanted event may occur within a period of 5 to 10 years, with a consequence (5) maximum or (4) high for safety, environment, social, legal, financial, and reputational. Thus, in order to have a safer operation, the concepts of ISO 31000 were applied, establishing the context (process mapping), processes for assessing the risks and treating risks with the application of Preliminary Risk Analysis (APR) tools and Bowtie Analysis (BTA). The analyzes made it possible to assess that there was a reduction in the degree of risk to 19 (Significant), since with all measures implemented, the probability becomes improbable (2). Thus, the results demonstrate that the application of a robust risk management is effective and viable to minimize the probability of occurrence of impacts caused by geotechnical structures.

Keywords: Risk management. Geotechnical Structures. Dangerous condition. Bowtie

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Avaliação de Riscos	14
3.2	Taludes na Mineração	19
3.2.1	Taludes de Mina	19
3.2.2	Talude de Estruturas Permanentes	19
4	METODOLOGIA	24
4.1	Mapeamento de Processo	24
4.2	Análise Preliminar de Risco	25
4.3	Matriz de Risco	28
4.4	Bowtie	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6	CONCLUSÃO	44
7	RECOMENDAÇÕES	45
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Fluxograma Sistema de Gestão Integrado.....	15
Figura 3.2 - Estrutura PDCA.....	16
Figura 3.3 - Diagrama adaptado ISO 31000.....	17
Figura 3.4 - Geometria simplificada do talude.....	20
Figura 3.5 - Ruptura de taludes de mineração.....	21
Figura 3.6 - Quadro de Acidentes Envolvendo Taludes.....	22
Figura 3.7 - Feições geológicas interferindo na estabilidade dos taludes de mineração.....	23
Figura 4.1 - Fluxograma metodológico.....	24
Figura 4.2 - Tabela de APR.....	27
Figura 4.3 - Categorias de Probabilidade.....	28
Figura 4.4 - Categorias de Consequência.....	30
Figura 4.5 - Matriz de Riscos utilizada para classificação dos eventos indesejados/grau do risco.....	31
Figura 4.6 - Diretrizes para priorização de acordo com a Matriz de Riscos.....	31
Figura 4.7 - Representação diagrama Bowtie.....	32
Figura 5.1 – Mapa de Risco trecho completo.....	34
Figura 5.2 - Mapa trecho 2 – Hidrologia.....	36
Figura 5.3 - Mapa trecho 2 - APAM e Comunidade.....	37
Figura 5.4 - Hierarquia de Controle.....	38
Figura 5.5 - Diagrama Bowtie.....	40
Figura 5.6 - Tabela de APR após avaliação de risco.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

EAR: Estudo de Análise de Riscos

ISO: *Internation Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização)

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

SGI: Sistema de Gestão Integrado

PDCA: *to Plan, Do, Check, Act*

APR: Análise Preliminar de Riscos

APAM: Área de Preservação Ambiental

BTA: *Bowtie* (gravata borboleta)

1 INTRODUÇÃO

Segundo Sánchez (2013), na avaliação de impacto ambiental pode ser positivo e negativa. Os impactos negativos são os que se manifestam em caso de mau funcionamento e falhas na sua atuação. Como, por exemplo, o perigo do vazamento de um duto de petróleo contaminando o ambiente ao seu redor, incluindo cursos d'água e solo. Muitas das vezes as consequências e o risco do mau funcionamento de um projeto ou obra podem ser mais significativos do que os impactos que o seu funcionamento normal pode gerar.

Os órgãos ambientais estaduais e federais que atuavam apenas em ações corretivas e punitivas, passaram a direcionar segmentos com relação a medidas educacionais e preventivas, estabelecendo diretrizes para elaboração de Estudos de Análise de Riscos. A Resolução CONAMA 01/86, que instituiu o Estudo de Impacto Ambiental, define como medida de caráter preventivo incluir a elaboração do Estudo de Análise de Riscos (EAR) no processo de licenciamento de alguns empreendimentos potencialmente poluidores, como forma de minimizar a probabilidade de eventos indesejáveis e a implantação de controles.

Os EAR começaram a surgir e serem aperfeiçoados à medida que suas técnicas permitem identificar cenários e o levantamento de algumas indagações com relação ao empreendimento como por exemplo:

- O que pode dar errado?
- Quais as possíveis causas desse "erro"?
- Qual a frequência da ocorrência desta causa?
- Gera efeitos negativos? Quais?
- Há como minimizar a probabilidade de ocorrência?
- Como mitigar?

Nesse contexto, há grande relevância na distinção dos termos perigo e risco. Segundo a ISO 45001, perigo é a fonte do evento indesejado, situação que tem um potencial para o dano causando lesões, ferimentos ou danos para a saúde, ou uma combinação destes. Ou seja, uma situação que tem potencial de acarretar resultados indesejados, como o perigo de ocorrer o vazamento de um duto de petróleo. Já risco, é a combinação da probabilidade da ocorrência de um acontecimento perigoso ou exposição e da severidade das lesões, ferimentos ou danos para

a saúde, que pode ser causada pelo acontecimento ou pela exposição a ele. Ou seja, risco está associado à exposição ao perigo como por exemplo, existe um risco maior de uma substância mal vedada vazar e gerar danos maiores, do que quando pessoas que manuseiam esta substância têm conhecimento de procedimentos e normas técnicas e de segurança para utilizar de forma correta.

No dia a dia, cada movimento que se faça ou que se deixe de fazer pode alterar a probabilidade de ocorrência de eventos indesejados futuros, e por consequência ampliar ou reduzir o nível de risco expostos. A permanência em um ambiente fechado com várias pessoas, você estará em perigo de contrair Covid-19, mas o risco é maior se tiver contato próximo a uma pessoa contaminada. Nesse caso o uso de máscara como medida de controle/barreira diminui a probabilidade de ocorrência deste evento indesejado.

Os EAR são de suma importância para qualquer empreendimento ou indústria e podem ser aplicados em várias áreas e níveis, a qualquer momento, em projetos específicos e atividades. Os acidentes tecnológicos ocorridos ao longo dos anos tornaram-se fatos históricos importantes para que as empresas mudassem o princípio de negócio e aumentassem a sua responsabilidade em relação aos riscos ao meio ambiente e a população próxima, por exemplo. O processo de Avaliação de Riscos engloba esses estudos com o objetivo de avaliar de acordo com perigos, considerando a adequação dos controles existentes para tomar decisões sobre a pertinência dos riscos levantados (MORAES, 2013).

Um segmento produtivo que possui grande aplicação da avaliação de riscos em suas atividades operacionais é a mineração. Segundo Oliveira e Brito (1998), a mineração é entendida como uma atividade de lavra e concentração de minérios de toda substância, rocha ou solo que pode ser aproveitado economicamente. Esses empreendimentos são de maturação lenta e ocorrem durante anos seguindo as etapas de: projeto, implantação, operação, desativação.

A utilização de taludes é bem frequente em obras de engenharia e em atividades minerárias. Constitui um plano de terreno inclinado que limita um aterro de terra e tem como função garantir a estabilidade do terreno. Pode ser resultado de uma escavação ou de origem natural. Em obras de extração mineral, a utilização é comum em cavas, pilhas de estéril, minerodutos, ativos industriais, contenção de rejeitos e até mesmo taludes de vias ou acessos rodoviários. Possui grande desafio nessa área, pois são inseridos em grandes profundidades e cada vez em limites mais extremos. Com isso, a adoção de métodos de escavação seguros e econômicos são

de suma importância uma vez que eventual instabilidade dos taludes pode gerar perdas humanas e comprometer obras (REIS, 2010).

Cisalhamento, inclinação, queda de blocos e erosão são mecanismos comuns de falhas em taludes. A inclinação de um talude é fator primordial para seu bom funcionamento e diminui o risco de acidentes. Taludes íngremes são mais econômicos, porém menos seguros. Logo, uma segurança maior exige taludes suaves e íntegros. O ponto de equilíbrio desses dois fatores é o ideal em obras envolvendo taludes (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

As análises de estabilidades em taludes, segundo Reis (2010), devem possuir uma abrangência geotécnica da descrição das rochas e solos bem fundamentados tecnicamente e um conhecimento claro dos mecanismos de ruptura com potencial de causar acidentes.

Mas nem sempre isso acontece e este segmento produtivo convive com inúmeros casos de acidentes envolvendo taludes, destacando ruptura em zonas de rocha, fraturas, falhas geológicas, ausência de estrutura de contenção, dentre outros. Além disto, taludes em atividades minerárias tem com especificidade uma estabilidade diferente dos demais taludes operados em outros tipos de obras de engenharia ou encostas diversas, devido à dinâmica de escavação, significativa movimentação de material depositado, elevadas alturas, extensão, vibrações causadas por desmonte com explosivos na área do talude, dentre outras características. (OLIVEIRA; BRITO, 1998)

Visto que acidentes fatais envolvendo taludes em atividades minerárias ocorrem pelas suas diversas formas, como apresentado acima, esta pesquisa de Trabalho de Conclusão de Curso - TCC tem como justificativa ampliar o entendimento e os conceitos relacionados com a aplicação da Avaliação de Riscos na estabilidade de taludes de estruturas geotécnicas permanentes em atividades do segmento de mineração, considerando a sua importância na minimização de impactos de segurança, ambiental, comunidade, legal, reputacional e perda financeira em suas diferentes magnitudes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar risco de estabilidade em taludes em uma operação minerária, como parte do processo de gestão de riscos;

2.2 Objetivos Específicos

- Levantar os possíveis perigos e riscos presentes em um talude gerado numa operação minerária;
- Determinar pela avaliação de risco, medidas de controles e análise crítica dos resultados;
- Obter uma operação segura, com o menor índice de incidentes possíveis.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Avaliação de Riscos

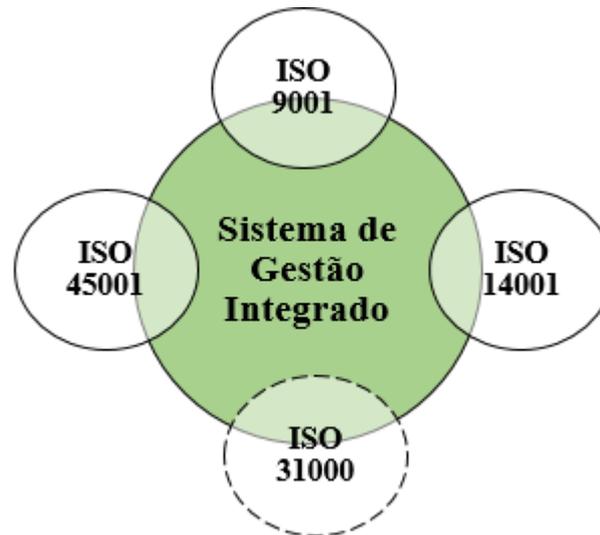
De acordo com Fernandes e Ganttois (2018), as questões que envolvem o Sistema de Gestão Integrado (SGI), segurança, meio ambiente, qualidade, responsabilidade social e reputacional, vem se transformando em problemáticas estratégicas, na medida em que podem ter impactos significativos sobre o modo com o qual os empreendimentos atingem seus objetivos. Logo, são questões a serem tratadas integradas e incorporadas à gestão global das empresas e deve fazer parte de um pensamento estratégico que pretende estabelecer um conceito de empreendimento voltado para a sustentabilidade.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, (ABNT) dispõe de certificações para esse sistema integrado como a ISO 9001 que retrata a Gestão da Qualidade, que é responsável em garantir a otimização de processos, maior eficiência e agilidade no desenvolvimento de produtos e produção mais assertiva (ABNT,2015).

A ISO 14001 representa a Gestão Ambiental, especifica requisitos que permite uma organização de desenvolver uma estrutura de proteção do meio ambiente e também das condições ambientais, além de levar em conta aspectos ambientais influenciados e controlados por essa organização (ABNT, 2015b).

A ISO 45001 dispõem do sistema de Saúde e Segurança Ocupacional que especifica requisitos e orientações para sua utilização e desempenho da saúde e segurança do trabalho na prevenção de lesões e doenças. É aplicável a qualquer organização independente do seu tamanho, tipo ou natureza (ABNT,2018).

Agregando a essas certificações, a ISO 31000 fornece uma abordagem comum para implementação da gestão de riscos sem o objetivo de substituir as demais certificações como mostrado na Figura 3.1.

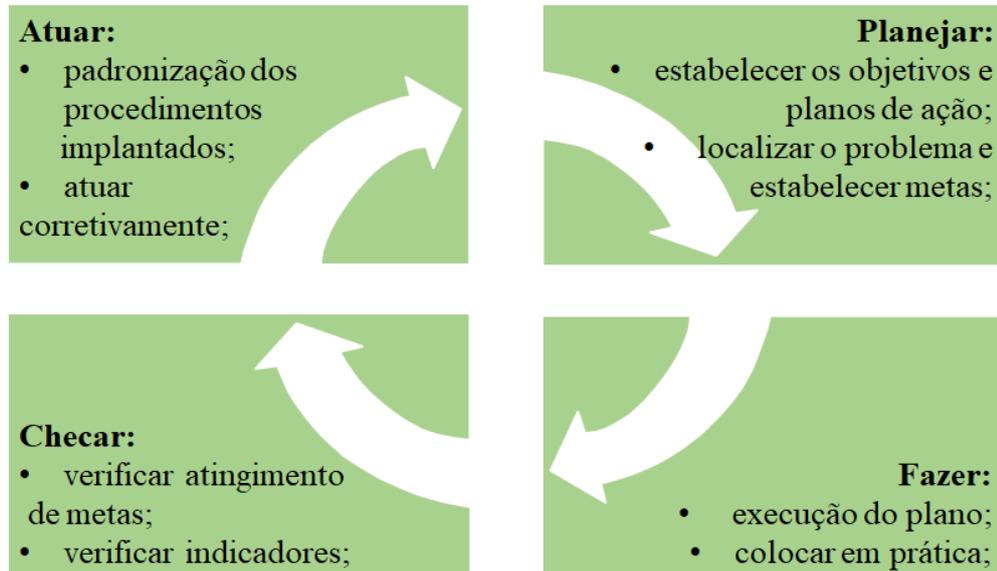
Figura 3.1 - Fluxograma Sistema de Gestão Integrado

Fonte: Adaptado Muzaimi, Chew, Hamid (2016)

Muzaimi, Chew e Hamid (2016) afirmam a importância de incorporar a ISO 31000 junto ao processo de SGI visto que um empreendimento necessita tomar decisões e realizar ações para compartilhar ferramentas, metodologias e para atender os diferentes padrões ou modelos que regem os sistemas de gestão como um todo em diferentes áreas. Outro benefício da implementação é a melhoria do foco do empreendimento, ter uma abordagem abrangente para gerenciar riscos da operação, reduzir o conflito entre sistemas de gestão individuais, minimizar duplicações e burocracias, auditorias internas e externas mais eficazes e eficientes. Além disso, economizar recursos humanos, diminuir o custo de gestão e diminuir as complexidades existentes na gestão interna. A integração dos sistemas pode economizar tempo e custos, melhorar imagem externa, a satisfação de clientes e da comunidade no entorno do empreendimento e também aumentar a motivação dos funcionários.

Para implementar o sistema de gestão de riscos, utiliza-se como base a estrutura do PDCA (*to Plan, Do, Check, Act*) Figura 3.2, que incorporada com as normas de SGI, fundamenta o planejamento, implementação e operação, verificação e ação corretiva, análise crítica da alta administração.

Figura 3.2 - Estrutura PDCA



Fonte: Adaptado Muzaimi, Chew e Hamid (2016)

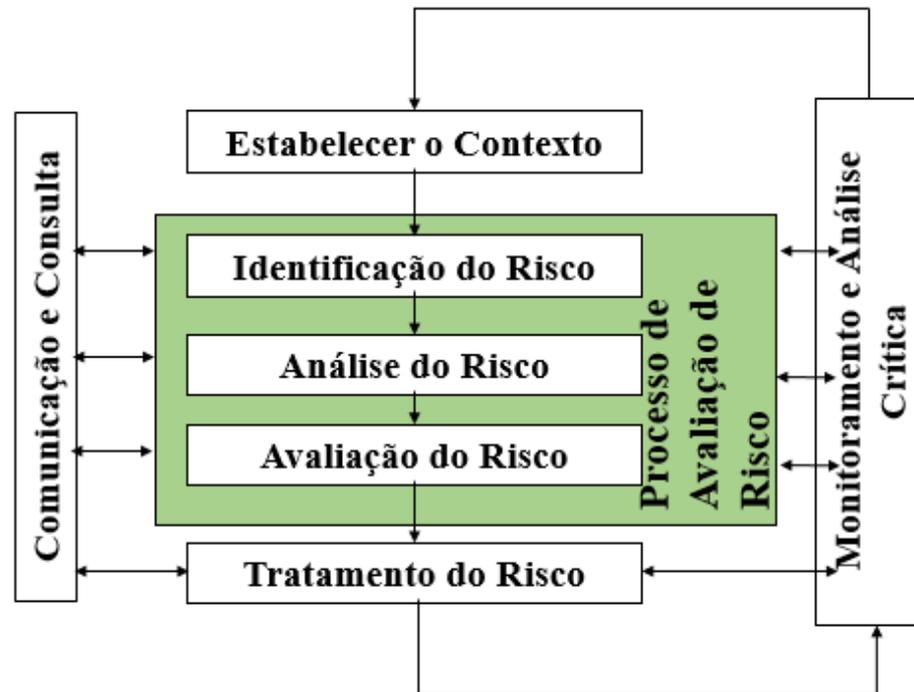
A gestão de riscos permitirá atuar previamente, minimizando sua vulnerabilidade à ocorrência de ameaças e acidentes, sua eficácia dependerá de uma atitude positiva do empreendimento como todo, operadores, supervisores e gerentes para seguir seu processo de avaliação e gerir os riscos e seus controles. Neste contexto, segundo Moraes (2013) a aplicação do ciclo do PDCA permitirá os seguintes pontos para o processo de melhoria contínua:

- Identificação dos cenários potenciais indesejáveis;
- Causas e efeitos potenciais;
- Gradação dos efeitos;
- Estimativa de probabilidade;
- Matriz de probabilidade (gravidade x frequência);
- Responsáveis pela implementação
- Registro de ações e relatórios de gestão;
- Implementação de controles;
- Acompanhamento das medidas de controle;

A ISO 31000/2009 fornece princípios e diretrizes para gerenciar qualquer tipo de risco em toda

ou em parte de um empreendimento ou indústria. Ela é uma norma e busca servir como guia de gestão de riscos, fornecendo uma abordagem clara e comum que pode ser aplicada em diversos ramos. Auxilia aos tomadores de decisão a terem escolhas corretas e conscientes, priorizar ações e ver soluções para elas. Será utilizada de acordo com a Figura 3.3 (ABNT, 2009).

Figura 3.3 - Diagrama adaptado ISO 31000



Fonte: Adaptado de ABNT (2009)

Seguindo a ISO 31000, ABNT (2009) o processo de gestão de riscos é um processo global de identificação de riscos, análise de resultados e avaliação. A Comunicação e Consulta ocorrem em todo o processo e é essencial o envolvimento das partes interessadas (interna e externa) e de áreas diversas com pontos de vista diferentes. Serão responsáveis pelas medidas tomadas e determinarão ações específicas dos riscos tratados e tomarão decisões em todos os níveis do empreendimento, além de:

- Ajudar estabelecer o contexto adequado;
- Garantir que todas as partes envolvidas sejam ouvidas, entendidas e consideradas;
- Assegurar que os riscos sejam identificados;
- Ressaltar a importância da gestão;

- Elaborar sistemática de consulta a todos;

Explorando o diagrama observa-se o primeiro tópico, Estabelecer o Contexto, é onde define parâmetros básicos que serão seguidos na gestão de riscos e define objetivos e o escopo dos critérios para as partes seguintes do processo. Neste ponto, é importante conhecer o que for analisar, mapear o contexto que será inserido o risco estudado e relacioná-lo na particularidade do processo. Permitirá a identificação do lugar, tempo, cultura do emissor e receptor e que permite sua compreensão na operação (ABNT, 2009).

Logo após, a Identificação do Risco em que seu maior objetivo é gerar uma lista de riscos baseada nos eventos indesejados e que possam criar, aumentar, evitar, reduzir, acelerar ou atrasar a realização dos objetivos. Essa identificação é abrangente e crítica, pois caso algum risco não seja identificado nessa fase, não será incluído nos processos futuros. Por isso, é sugerido que inclua todos os riscos e que sejam utilizadas ferramentas e técnicas de identificação de acordo com os objetivos e capacidades dos riscos enfrentados. Existem diversas formas de se realizar a identificação de riscos como a utilização de checklists, técnicas de incidentes críticos, árvores de análise de falhas, análise de perigo e operabilidade e Análise Preliminar de Riscos (APR) (ABNT, 2009).

A Análise de Risco envolve o julgamento das causas e as fontes de risco, e é a porta de entrada para a tomada de decisões em que escolhas precisam ser feitas. Suas consequências positivas e negativas, probabilidades que possam ocorrer, levando em consideração também os controles existentes e sua eficiência e eficácia. E determinar o nível de exposição ao risco e as consequências que os acidentes podem causar, como por exemplo, um número elevado de vítimas fatais, danos ambientais e materiais (ABNT, 2009).

O objetivo da Avaliação de Riscos é ajudar na tomada de decisões, levando em consideração as análises de riscos feitas anteriormente. Nessa avaliação busca-se saber quais riscos precisam de tratamento e a prioridade para colocar em prática seu tratamento. É necessário que decisões sejam tomadas seguindo os requisitos legais, regulatórios e de acordo com os objetivos do empreendimento. Esta avaliação é feita de forma qualitativa e quantitativa e normalmente com o auxílio de matrizes com diferentes graus de detalhes, frequência, gravidade e indicando uma certa gradação do risco.

Completando o processo de avaliação de riscos, o Tratamento de Riscos envolve selecionar e

acordar as ações e/ou controles pertinentes para reduzir a probabilidade de ocorrência, o efeito dos riscos, e a implementação destas opções. O monitoramento e análise crítica para verificar se os resultados esperados estão sendo alcançados é de suma importância e faz parte do processo de gestão de riscos (ABNT, 2009).

3.2 Taludes na Mineração

De acordo com a ABNT (2015a), a NR-18 afirma que taludes são obras resultantes de uma escavação em solo com uma determinada inclinação. Podem apresentar modificações antrópicas, como cortes, desmatamentos e introdução de cargas. Atualmente, estão ligadas a três grandes áreas de aplicação: consolidação de ocupações urbanas em áreas de encostas, construção e recuperação de grandes obras (rodovias, ferrovias, barragens, construção civil) e exploração mineral (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

3.2.1 Taludes de Mina

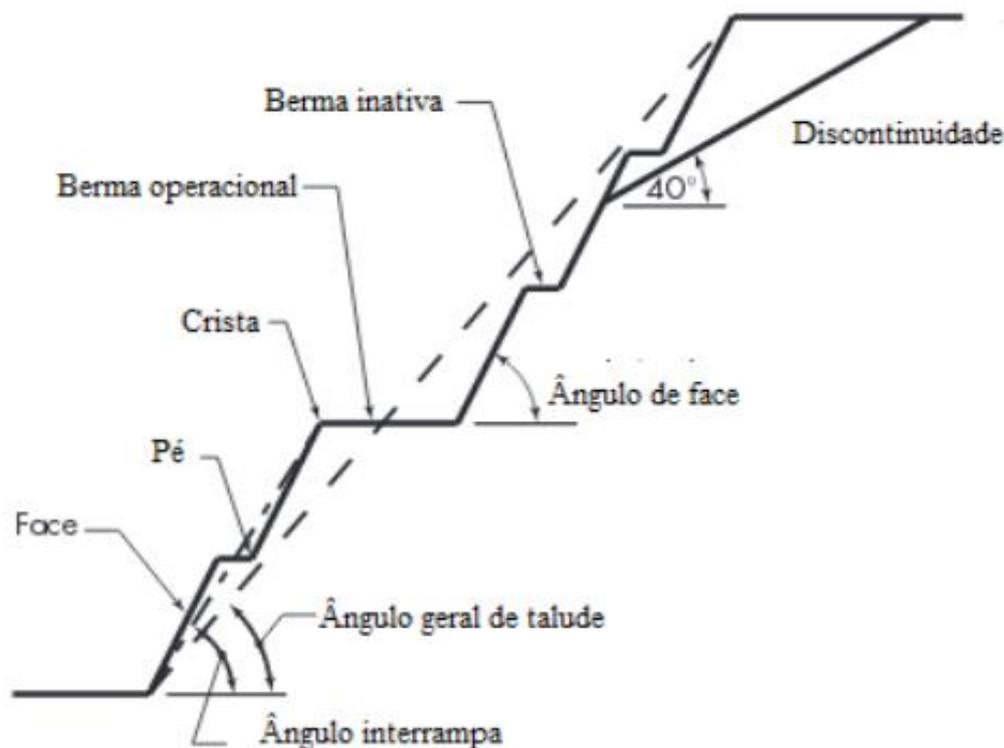
As atividades de mineração a céu aberto podem ser definidas como o processo de escavação de qualquer depósito de minério perto da superfície, por meio de uma escavação ou corte, para extrair o minério e posteriormente o seu beneficiamento. A extração em sua superfície, a geometria da cava tem grande relevância visto que está ligada a questões econômicas do empreendimento e a segurança dos trabalhadores.

3.2.2 Talude de Estruturas Permanentes

Os taludes de estruturas permanentes são bastantes utilizados nas atividades de mineração e podem ser definidos como o processo de escavação de qualquer superfície, por meio de uma escavação ou corte. Tem como aplicabilidade a implantação em obras de engenharia com finalidade de manter o processo de mineração. Todos os taludes que estão fora da região da mina são considerados taludes de estruturas permanentes. Como por exemplo em vias, faixa de dutos, ferrovias. (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

Um das variáveis que influenciam diretamente na geometria da cava é o ângulo geral de talude. Na Figura 3.4 podemos observar a geometria simplificada do talude (WETHRELT e WIELEN, 2011 apud ALVIM, 2016).

Figura 3.4 - Geometria simplificada do talude



Fonte: Kliche (2011) apud ALVIM (2016)

O talude de corte, como representado na Figura 3.4, compreende qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, de rocha ou ambos. Os ângulos de inclinação são limitadores na sua operação, quaisquer alterações neles podem gerar uma instabilidade e causar ruptura/acidente ou alterar benefícios econômicos.

Oliveira (2005) relata que os riscos geotécnicos estão diretamente relacionados aos movimentos de massas (relacionados a processos de intemperismo, quedas e escorregamentos) e erosões (consiste de um processo natural de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, sendo os agentes principais a água e vento), devido a processos geológicos, induzidos ou não. A combinação entre a possibilidade de ocorrência de acidentes está ligada a falhas na estabilidade dos taludes devido a corrosão, danos por ação de terceiros, projeto e operações incorretas. Algumas medidas de controles para que esses riscos não ocorram e não gerem acidentes até mesmo fatais são:

- Perfurar e detonar de acordo com o design do talude: para obter a geometria projetada, limitar danos na face, proteger picos e manter a captação necessária;

- Escavar de acordo com o design do talude: para obter a geometria projetada, seguir as normas estabelecidas, remover o material solto e choccos (lascas de rochas soltas);
- Zonas de exclusão: para limitar a exposição a potenciais áreas de alto risco, incluir “Zonas de acesso proibido” e “Zonas de queda”;
- Monitoramento de movimento do talude: para alertar previamente aos trabalhadores sobre potenciais instabilidades e iniciar a evacuação.

Mas nem sempre isso acontece, como alguns exemplos de acidentes envolvendo taludes como mostrado na Figura 3.5 e o histórico de acidentes mostrado na Figura 3.6.

Figura 3.5 - Ruptura de taludes de mineração



Fonte: Innocentini (2003) e Huallanca (2004) apud Reis (2010)

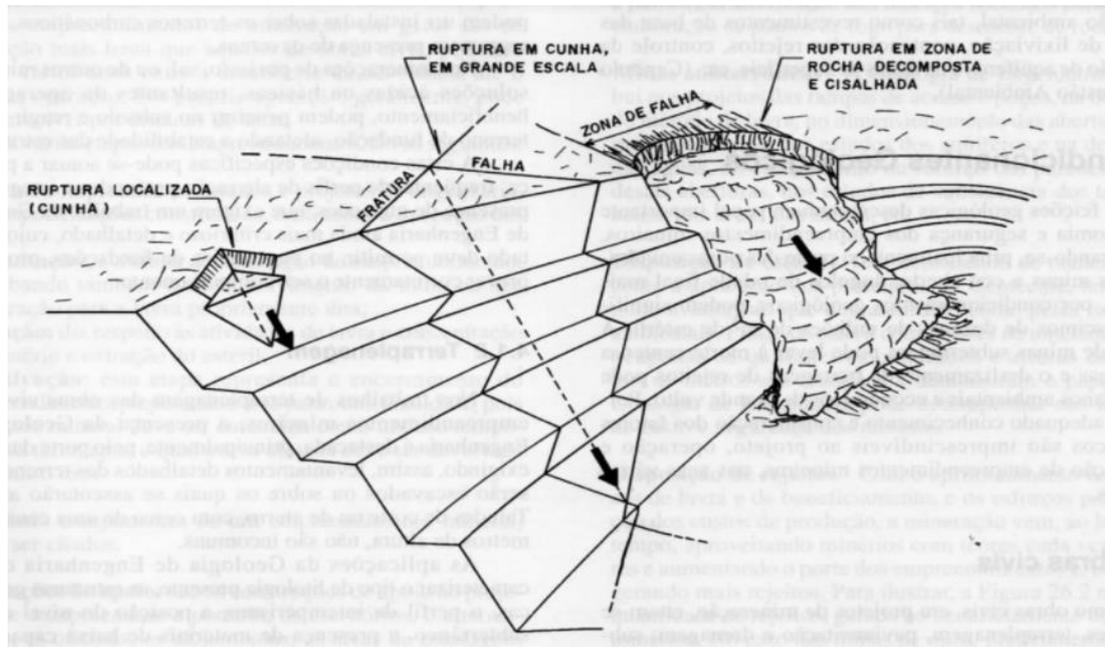
Figura 3.6 - Quadro de Acidentes Envolvendo Taludes

Ano	Local	Empresa	Causa	Efeito	Evento
2020	Brumadinho - MG / Brasil	Vale	Talude de cava	1 morte	Deslizamento
2019	Arcos- MG/Brasil	Mineração Belocal	Talude permanente (vias)	1 morte	Deslizamento
2019	Barão de Cocais- MG/ Brasil	Vale	Talude de cava	0 mortes	Deslizamento
2013	Santana - Amapá /Brasil	Anglo American	Talude de material/pilha	4 mortes	Ausência de estruturas de contenção
1966	Aberfan / País de Gales	Conselho Nacional do Carvão	Talude de pilha	144 mortes	Deslizamento

Fonte: Adaptado Cunha (2019); Rodrigues (2013,2019); Operário (2020); Wicander e Monroe (2009)

Existem diversos acidentes envolvendo taludes, mas especificamente em taludes de atividades minerárias possuem uma estabilidade diferente dos demais taludes em obras de engenharia e/ou encostas. Devido a dinâmica de escavação, elevadas alturas, extensão, vibrações causadas por desmonte com explosivos. Na Figura 3.7, de Patton e Deere (1970, apud Oliveira e Brito,1998) representa algumas formas de perda de estabilidades de taludes que são bastante citadas na literatura geotécnica são elas: fraturas, água, falhas, zonas de cisalhamento, ondulações e rupturas. (OLIVEIRA; BRITO, 1998)

Figura 3.7- Feições geológicas interferindo na estabilidade dos taludes de mineração



Fonte: Patton e Deere (1970) apud Oliveira e Brito (1998)

As investigações, monitoramentos geológicos e avaliação de risco para projetos de mineração com taludes de estruturas permanentes são feitas nas áreas de implantação por meio de fotos aéreas, imagens de radar, satélites e drones. E são de grande importância já que essas áreas são escolhidas e não lavradas. Porém, por essas áreas não serem próximas a operação em si, possui um menor monitoramento comparando aos taludes de mina.

4 METODOLOGIA

Como forma de alcançar o objetivo do projeto, será implementada uma metodologia para Avaliação de Riscos aplicado a um talude em operação minerária de acordo com a proposta por Moraes (2013) e exemplificada em quatro etapas conforme Figura 4.1.

Figura 4.1 - Fluxograma metodológico



Fonte: A autora (2021)

4.1 Mapeamento de Processo

Esta primeira etapa é composta pelos levantamentos da base de dados e definição da área de estudo. Conhecer o que for analisar e mapear o contexto onde será inserido o risco estudado, juntamente com a sua funcionalidade e sua vida útil.

O talude de estudo deste trabalho está localizado em uma faixa de servidão que transcorre o mineroduto de uma mineradora que liga a cidade de Conceição do Mato Dentro-MG ao seu porto de exportação em São João da Barra-RJ. O mineroduto tem uma extensão total de 529 km, o trecho a ser avaliado será entre os quilômetros 320 a 379, que está localizado próximo aos municípios de Carangola, Faria Lemos e Tombos em Minas Gerais.

Segue o mapa de processos dos trechos separadamente à cada 20 km:

KM 320- 339

Pontos notáveis: Rodovia BR 482; Passagem Aérea; Túnel Carangola – Faria Lemos; Área de Preservação Ambiental Municipal (APAM) Serra da Braúna; Travessia de Curso d’água; Sistema de monitoramento de pressão (PMS) 08 e Travessia com córrego Cantagalo; APAM Pedra Dourada; Sítio Arqueológico.

Pontos notáveis geotécnicos: Taludes e encostas a montante e a jusante do mineroduto, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado.

KM 340 - 359

Pontos notáveis: APAM Pedra Dourada; Acesso e Risco Geotécnico; Travessia com brejo; Ribeirão São João; Rio Carangola; Travessia de Curso d’água; APAM Água Santa de Minas; Cultivo Agrícola; Captação de abastecimento público da comunidade próxima (Tombos); Túnel Tombos; Rodovia MG-900; Estação de Válvulas e pressão transiente elevadas.

Pontos notáveis geotécnicos: Taludes e encostas a montante e a jusante do mineroduto, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado.

KM 360 - 379

Pontos notáveis: Túnel Tombos; Risco Geotécnico; Rodovia Estadual RJ – 214; Travessia com afluente do Ribeirão Perdigão; Bairro Natividade; Travessia com alagadiço e travessia com córrego Barra Mansa.

Pontos notáveis geotécnicos: Taludes e encostas a montante e a jusante do mineroduto, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado.

4.2 Análise Preliminar de Risco

A Análise Preliminar de Riscos (APR), consiste em detalhar de maneira sucinta, porém simples, cada etapa do serviço realizado pelo responsável em ambientes que o expõem ao risco. Os danos a serem prevenidos através desta ferramenta visam manter, além da integridade física dos responsáveis e colaboradores, a integridade dos equipamentos e meio ambiente. Na APR, Figura 4.2, se baseia na experiência operacional e conhecimento técnico da equipe participante. É separada por cada trecho e avaliada de acordo com as condições perigosas e evento

indesejado. Os parâmetros utilizados para suas conclusões numéricas são baseados de acordo com a matriz de risco (próximo item). Considera consequências de Segurança (S), Impacto Ambiental (A), Impacto na Comunidade (C), Legal (L), Impacto Reputacional (R) e Financeiro (F).

Figura 4.2 - Tabela de APR

APR - ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS ANTES											
Trecho /Pontos de Referência		Condição Perigosa	Evento Indesejado	Probabilidade	Consequência						Grau do Risco
					(S)	(A)	(C)	(L)	(R)	(F)	
Trecho 1	KM 320 - 339	Taludes e encostas a montante e a jusante da faixa de servidão, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado (KM 326,0 a 327,2; KM 327,7; KM 331,0; KM 331,9; KM 336,5; KM 339,9)	Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes)	3: Possível	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	3: Médio	18 (S)
Trecho 2	KM 340 - 359	Taludes e encostas a montante e a jusante da faixa de servidão, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado (KM 341,1; KM 341,2 a 342,2; KM 343,29 a 345,5; KM 345,9; KM 346,1 a 346,8; KM 353,7 a 354,2; KM 354,4; KM 355,7 a 356,3; KM 356,9 a 357,6; KM 358,5; KM 359,9)	Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes)	3: Possível	5: Máximo	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	3: Médio	22 (A)
Trecho 3	KM 360 - 379	Taludes e encostas a montante e a jusante da faixa de servidão, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado (KM 371,3 a 372,0; KM 373,4; KM 377,2 a 377,8; KM 378,8 a 379,8)	Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes)	3: Possível	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	3: Médio	4: Alto	18 (S)

Legenda: S (Segurança); A (Impacto Ambiental); C (Impacto na Comunidade); L (Legal); R (Impacto na Reputação); F (Perda Financeira)

Fonte: A autora (2021)

4.3 Matriz de Risco

A matriz de riscos é representada por um modelo gráfico que permite identificar a incidência dos perigos numa determinada zona de riscos. A probabilidade e a consequência terão como parâmetro as informações das Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6.

A probabilidade é uma quantificação subjetiva da possibilidade de que o evento indesejado vá ocorrer. Uma descrição dos níveis de probabilidade pode ser vista na Figura 4.3, com cinco linhas descrevendo os maiores níveis de probabilidade. Ao avaliar a probabilidade de ocorrência, a equipe também considera o histórico do evento em operações similares e na indústria.

Figura 4.3 - Categorias de Probabilidade

Probabilidade	Considerando a presença e magnitude do perigo e a exposição a esse perigo (número de pessoas e frequência de tarefas que expõem essas pessoas), assim como o status dos controles existentes.
5 (Quase Certo)	O evento indesejado certamente irá acontecer, ocorre várias vezes no ano
4 (Provável)	Um evento indesejado ocorreu com pouca frequência; ocorre menos de uma vez por ano e é provável que volte a acontecer em 5 anos
3 (Possível)	O evento indesejado aconteceu no negócio em algum momento; ou poderia acontecer entre 5 e 10 anos
2 (Improvável)	O evento indesejado aconteceu no negócio em algum momento; ou poderia acontecer entre 10 e 20 anos
1 (Raro)	Nunca se soube da ocorrência do evento indesejado no negócio; ou é altamente improvável que irá ocorrer nos próximos 20 anos

Fonte: Adaptado Moraes (2013)

A consequência é uma avaliação dos resultados que poderão ocorrer caso um evento indesejado ocorra. A consequência máxima razoável de um evento indesejado deverá ser considerada. Isso exige que o perigo seja examinado para estabelecer se, caso o perigo sair de controle e causar

o evento indesejado, qual será o resultado máximo dentro de um nível razoável. A Figura 4.4 mostra as categorias de perdas ou impacto de um evento indesejado, cada uma delas com cinco níveis de consequência, que vão de “Pequenas” a “Grandes” e sua gravidade aumenta da esquerda para a direita.

Figura 4.4 - Categorias de Consequência

Efeito/Consequência da condição perigosa (considerar a consequência potencial máxima razoável do evento)					
Tipo de Impacto	1. PEQUENO	2. BAIXO	3. MÉDIO	4. ALTO	5. MÁXIMO
(S) Segurança	Primeiros socorros	Tratamento médico	Lesão com afastamento	Invalidez permanente ou fatalidade única	Múltiplos casos de invalidez permanente ou fatalidades
(A) Impacto Ambiental	Durando dias ou menos; área pequena (metros); receptor de baixa sensibilidade (área industrial)	Durando semanas; área de centenas de metros; ambiente não sensível	Durando meses; área de quilômetros; alguma sensibilidade ambiental	Durando anos; impacto na sub-bacia; ambiente sensível do ponto de vista ecológico/receptor	Impacto permanente, afete toda uma bacia ou região (espécies ameaçadas, áreas pantanosas, habitats protegidos)
(C) Impacto na Comunidade	Pequena interferência na cultura/estruturas sociais	Alguns impactos na população local, preponderantemente reparáveis.	Problemas sociais contínuos. Reclamações de membros da comunidade/partes interessadas	A comunidade organizada protesta ameaçando a continuidade das operações	A reação da comunidade afeta a continuidade do negócio. "Licença de operação" ameaçada
(L) Legal	Não conformidade técnica.	Violação dos requisitos regulamentares; gera multa administrativa	Pequena violação da lei; atrai indenização/sanções/ação executória	Violação da lei; processo criminal. Licença individual temporariamente revogada	Violação significativa da lei. Licença de operação substancialmente modificada ou retirada
(F) Perda Financeira	< 0,01 % da Receita Anual/Total do Ativo	0,01 - 0,1 % da Receita Anual/Total do Ativo	0,1 – 1,0 % da Receita Anual/Total do Ativo	1 - 5 % da Receita Anual/Total do Ativo	> 5 % da Receita Anual/Total do Ativo
(R) Impacto na Reputação	Impacto pequeno; de indivíduos específicos	Publicidade localizada desfavorável; de determinados grupos	Publicidade negativa localizada; nas comunidades vizinhas	Publicidade negativa na imprensa local/regional	Significativa publicidade negativa contínua; Imprensa nacional/internacional

Fonte: Adaptado Moraes (2013)

A classificação do grau do risco deve ser atribuída ao combinar o nível de Probabilidade e o nível de Consequência. A matriz fornece uma Classificação de Riscos para o evento indesejado que está sendo analisado, onde a linha de Probabilidade selecionada cruza a coluna de Consequência selecionada. A classificação resultante ajuda a quantificar o nível de risco relativo, conforme a matrizes nas Figuras 4.5 e 4.6 e demonstrado o resultado final na coluna “Grau de Risco” da Tabela APR.

Figura 4.5 - Matriz de Riscos utilizada para classificação dos eventos indesejados/grau do risco

Probabilidade	CLASSIFICAÇÃO DE RISCO				
	1. Pequeno	2. Baixo	3. Médio	4. Alto	5. Maior
5 (Quase Certo)	11 (M)	16 (S)	20 (S)	23 (A)	25 (A)
4 (Provável)	7 (M)	12 (M)	17 (S)	21 (A)	24 (A)
3 (Possível)	4 (B)	8 (M)	13 (S)	18 (S)	22 (A)
2 (Improável)	2 (B)	5 (B)	9 (M)	14 (S)	19 (S)
1 (Raro)	1 (B)	3 (B)	6 (M)	10 (M)	15 (S)

Fonte: Adaptado Moraes (2013)

Figura 4.6 - Diretrizes para priorização de acordo com a Matriz de Riscos

CLASSIFICAÇÃO DE RISCO	NÍVEL DE RISCO	DIRETRIZES PARA A MATRIZ DE RISCO
21 a 25	(A) - Alto	Evitar, implementar planos de ação/procedimentos específicos para gerenciar e monitorar
13 a 20	(S) - Significativo	Gerenciar proativamente
6 a 12	(M) - Moderado	Gerenciar ativamente
1 a 5	(B) - Baixo	Monitorar e gerenciar de forma apropriada

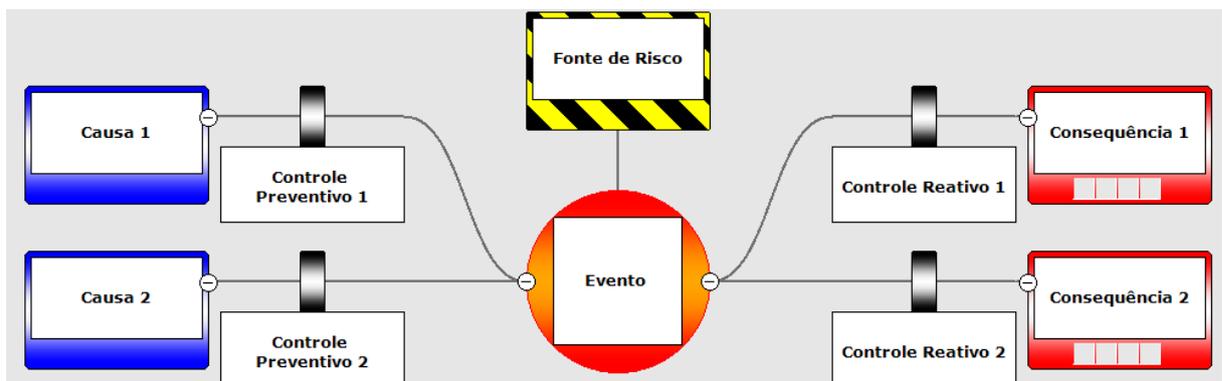
Fonte: Adaptado Moraes (2013)

4.4 *Bowtie*

Completado um processo de avaliação de riscos, o tratamento de riscos envolve selecionar e acordar uma ou mais opções pertinentes para reduzir a probabilidade de ocorrência, o efeito dos riscos, ou ambos, e a implementação destas opções. Para o Evento Indesejado identificado, como “Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes)”, será aplicada a Análise de *Bowtie* (utilizando o software *Bowtie XP* da CGE).

O diagrama *Bowtie* (BTA) mostrado na Figura 4.7, tem o formato que recorda uma gravata borboleta. No lado esquerdo as causas ou ameaças, no nó da gravata a descrição do evento indesejado prioritário, e do lado direito as consequências. Detalhadamente, no lado esquerdo do BTA, temos as causas que é algo que poderá levar à exposição ao perigo ou gerar a liberação do perigo. Em outras palavras, é o mecanismo potencial que pode liberar o perigo, causando assim o evento indesejado. Para cada causa identificada são relacionados controles preventivos que irão servir como barreiras. O preenchimento do lado direito do diagrama de BTA envolve a identificação de todas as consequências reais ou potenciais caso o evento principal ocorra, ou seja, lista os eventos, ou cadeia de eventos, que vão resultar na liberação de um perigo. A identificação e desenvolvimento dos controles mitigadores no lado direito da BTA é muito similar ao levantamento dos controles preventivos. Os controles mitigadores são aqueles que limitam as consequências uma vez que o evento principal tenha ocorrido.

Figura 4.7- Representação diagrama *Bowtie*



Fonte: A autora (2021)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na base da metodologia temos o mapeamento de processos, nele podemos ver e observar de forma ampla e macro características importantes para avaliar risco de estabilidade em taludes como proximidade a áreas de preservação ambiental, travessia de cursos d'água, captação de abastecimento pela população. Com isso, é possível analisar e quantificar riscos com relação a tipos de impactos ambientais, impacto na comunidade e legal.

No segundo ponto na Análise Preliminar de Riscos (APR), partimos para o levantamento dos possíveis perigos e riscos gerados por esse processo minerário que, associados a aspectos gravitacionais, podem ter um potencial dano pela exposição a quedas de objetos, a movimentos inesperados (solo, talude, estruturas) devido a forças gravitacionais incontroláveis.

Taludes de estruturas permanentes, encostas a montante e a jusante da faixa de servidão e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado é a condição perigosa identificada na área de estudo. Ou seja, são locais de atuação que comprometem a segurança por meio de falhas, defeitos, irregularidades técnicas e carência de dispositivos de segurança que colocam em risco a integridade física e/ou a própria segurança das instalações, equipamentos e pessoas.

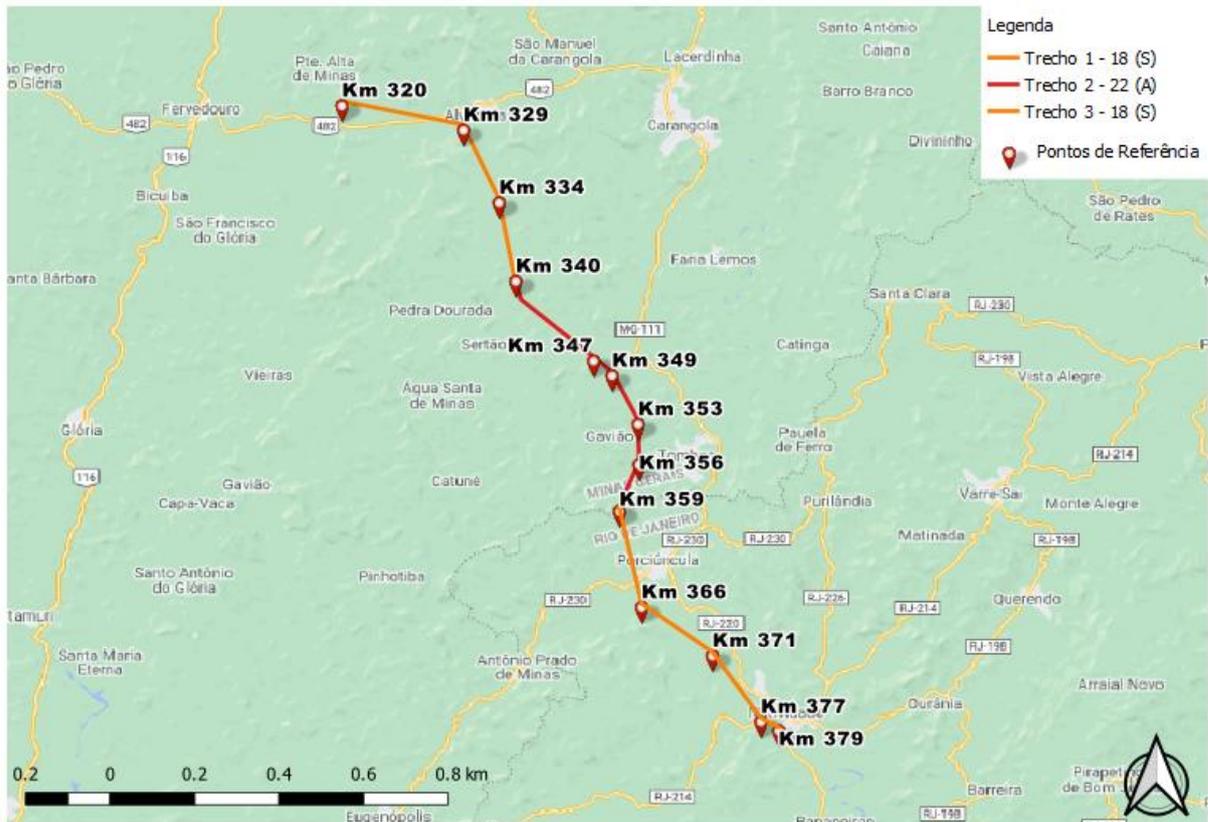
Continuando na APR, o evento indesejado identificado como “Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes) é tratado de acordo com o escopo do mapeamento de processos e suas classificações quanto a probabilidade, consequências/tipo de impactos e grau de risco de acordo com as matrizes de risco adaptadas de Moraes (2013).

Em todos os trechos a probabilidade é reportada como possível, ou seja, a chance de ocorrência está entre 5 e 10 anos do evento indesejado poderia vir a acontecer. A probabilidade está ligada principalmente ao histórico do processo e da área, se já apresentou algum evento indesejado, há quanto tempo, se possui trincas, falhas, deslocamentos de blocos. Os controles também são avaliados para a definição da probabilidade, visto que controles bons podem dar mais segurança ao risco, mas sempre há a busca por controles mais eficazes e com alta hierarquia. Não possui uma classificação de probabilidade maior visto que taludes de estruturas permanentes não possuem atividades diárias que possam impactar em um fator de degradação maior por interferências externas e da operação no geral.

Com isso, a Figura 5.1 representa o trecho completo analisado juntamente com o grau de risco

de cada trecho separado por cores. No primeiro trecho km 320 a 339 e terceiro trecho km 360 a 379, representado na cor laranja por ser grau de risco significativo, já o segundo trecho está em vermelho por ser grau de risco alto.

Figura 5.1 – Mapa de Risco Trecho Completo



Fonte: A autora (2021)

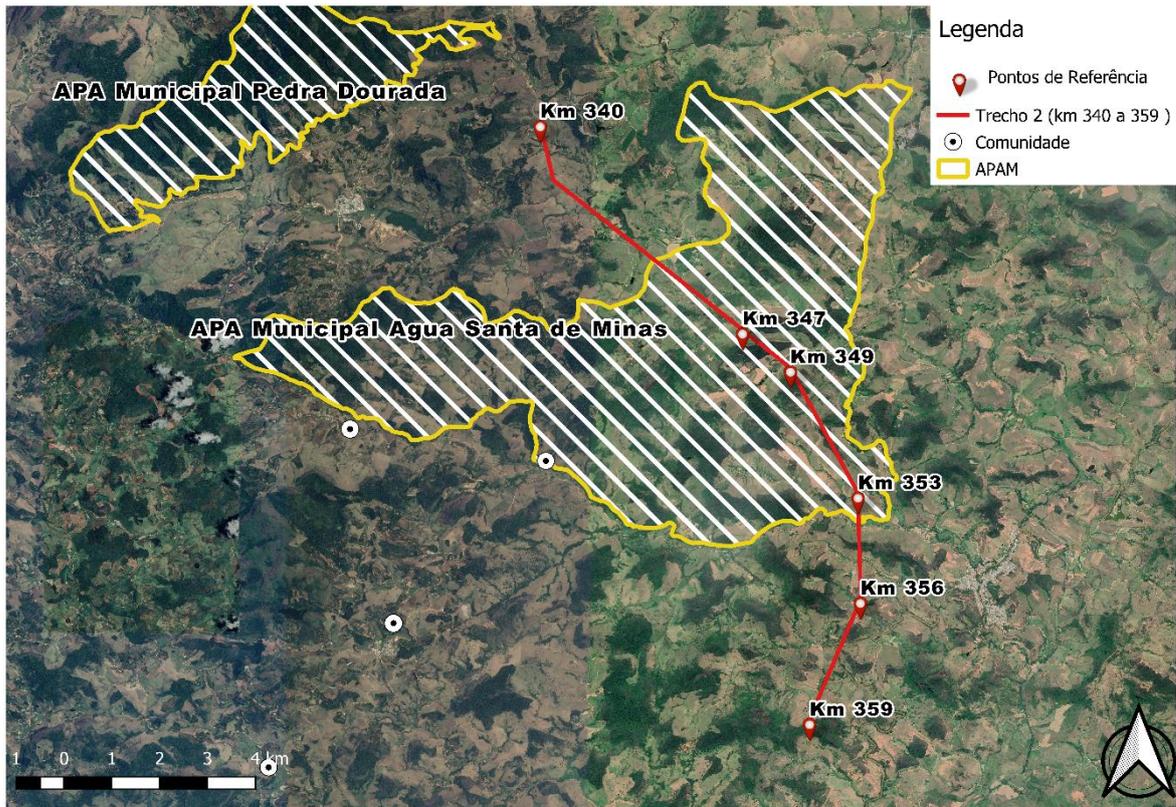
A classificação quanto a consequência no primeiro trecho km 320 a 339, possui índices de consequências alto (4) para segurança, impacto ambiental, impacto a comunidade, legal e reputacional e financeiro possui consequência média (3). No terceiro trecho km 360 a 379, possui índices de consequências alto para segurança, impacto ambiental, impacto a comunidade, legal, financeiro, já reputacional possui consequência média (3). Com isso, de acordo com a matriz de riscos utilizada, o grau de seu risco se enquadra como 18 (S) nos dois trechos, ou seja, com um nível de risco significativo e devemos gerenciar proativamente.

No segundo trecho km 340 a 359 o grau de risco foi classificado como 22 (A), logo é necessário evitar e implementar planos de ação/procedimentos específicos para gerenciar e monitorar essa área. Essa classificação resultou das seguintes classificações de consequência:

- Segurança (5: Máximo): podendo causar múltiplos casos de invalidez permanente ou fatalidades, visto que no mapeamento de processo é uma área de vulnerabilidade pois possui comunidades próximo ao local;
- Impacto Ambiental (4: Alto): durando anos, pode impactar uma sub-bacia, ambiente sensível do ponto de vista ecológico/receptor (espécies/habitats ameaçados). São itens observados no mapeamento de processo que evidencia a proximidade de duas Áreas de Preservação Ambiental Municipal, a APAM Pedra Dourada e Água Santa de Minas, e do Ribeirão São João e Rio Carangola;
- Impacto na Comunidade (4: Alto): impactos sociais significativos devido a presença de comunidade próxima ao trecho, que capita água e possui cultivo agrícola próximo. A comunidade tem um potencial de organizar e protestar ameaçando a continuidade das operações;
- Legal (4: Alto): Violação da lei; processo criminal, sanções/ação executória, licença individual temporariamente revogada, realizadas por órgãos competentes a empresa;
- Perda Financeira (3: Médio): 0,1 – 1,0 % da receita anual/total do ativo a empresa em operação;
- Impacto na Reputação (4: Alto): suspeita de dano à reputação a empresa e preocupação/reação pública local/regional;

Através do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, foi possível mapear a proximidade do trecho 2 com a hidrologia local como mostrado na Figura 5.2 e sua inserção e proximidade com as Áreas de Preservação Ambiental Municipal e comunidade, representado na Figura 5.3, que são pontos importantes para o agravamento do evento indesejado.

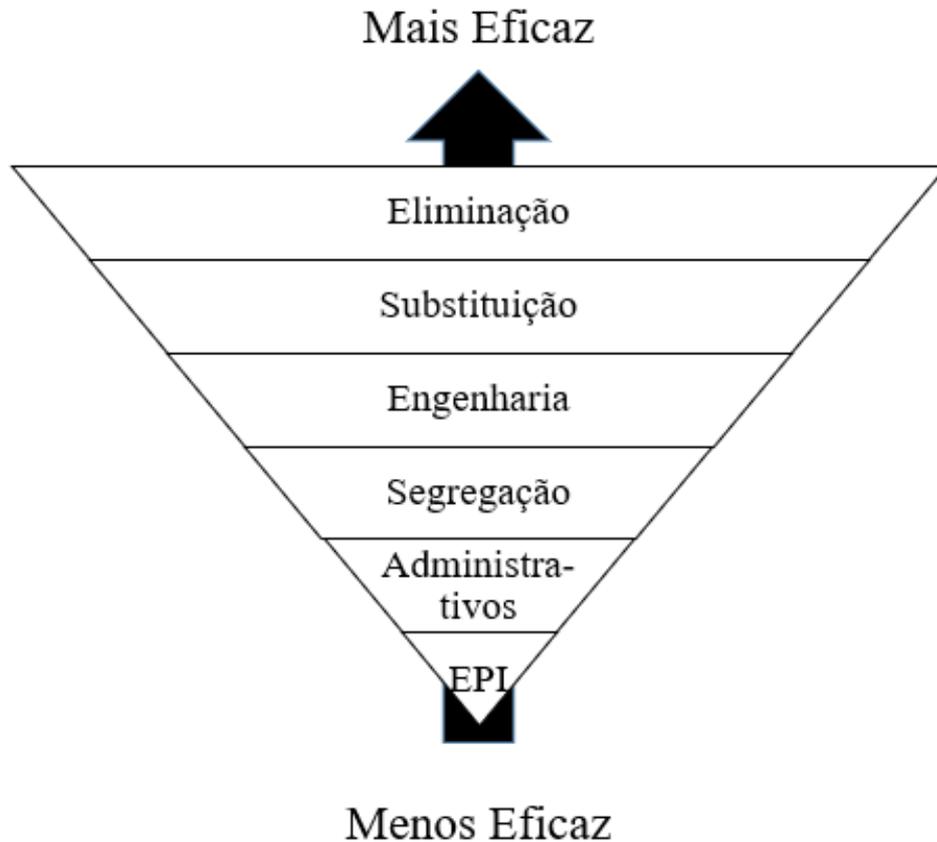
Figura 5.3- Mapa Trecho 2 - APAM e Comunidade



Fonte: A autora (2021)

Visto a necessidade de implantação de melhorias nas áreas utilizamos a metodologia *Bowtie* (BTA). Esta metodologia trata o risco por meio da implantação de controles e permite mapear visualmente como um evento indesejado pode ocorrer e identificar as causas, consequências e os controles em vigor, que podem ser fornecidos para evitar o evento ou mitigar suas consequências. Esses controles podem ser individualmente avaliados quanto a sua eficácia e qualidade individual através da Hierarquia de Controle, como mostrado na Figura 5.4, com os controles considerados mais eficazes no topo do diagrama até os menos eficazes na base.

Figura 5.4 – Hierarquia de Controle



Fonte: Adaptado Moraes (2013)

São avaliados como:

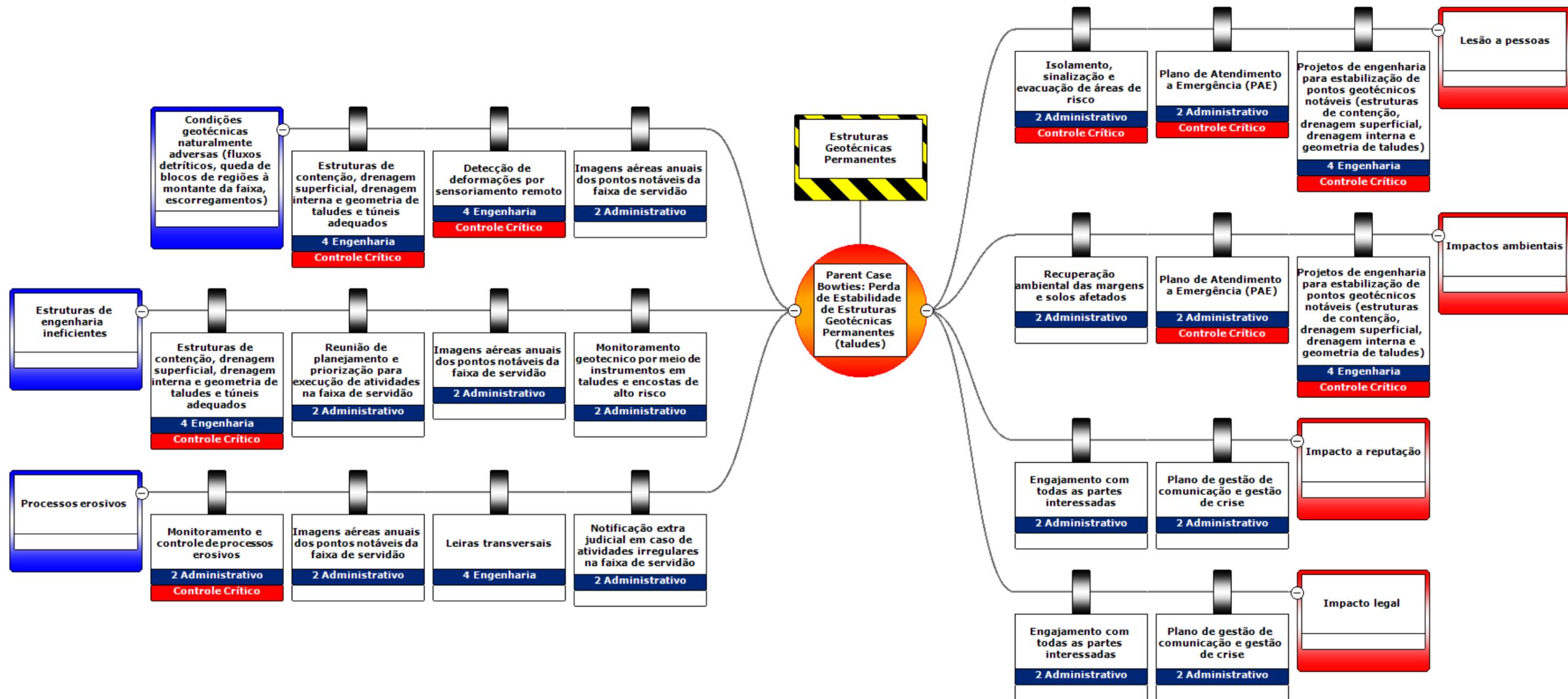
- Controle de Eliminação: removem fisicamente o perigo;
- Controle de Substituição: substituem o perigo;
- Controle de Engenharia: automatizam uma atividade anteriormente manual evitando o contato com o perigo;
- Controle de Segregação: isola o perigo;
- Controle Administrativos: altera a maneira como as pessoas trabalham;
- Controle EPI (Equipamento de proteção individual): protegem o trabalhador com EPI;

Visto isso, a Figura 5.5 representa o BTA com o evento indesejado tratado no centro do diagrama. As causas nas caixas azuis a esquerda e as consequências de vermelho a direita.

Ainda na classificação dos controles temos a distinção de crítico e não crítico. Os controles críticos são aqueles que alteram a probabilidade e/ou consequência de um evento e, se removidos, influenciam significativamente a classificação do risco. São controles cuja sua integridade e funcionamento são tão importantes que, se eles fossem comprometidos, haveria uma grande possibilidade de o evento indesejado acontecer, isto é, a liberação da energia do perigo se materializar.

Para prevenir que eventos fatais e catastróficos ocorram, os controles críticos devem ser claramente definidos. Terem a compreensão do que esses controles precisam fazer para impedir que um evento indesejado aconteça. Ter clareza sobre quais verificações são necessárias para garantir que os controles estejam funcionando como planejado e caracterizando assim o seu monitoramento eficaz.

Figura 5.5 - Diagrama Bowtie



Fonte: A autora (2021)

A análise da Figura 5.5 permite afirmar a existência de 3 causas do evento indesejado Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes), localizado no centro do diagrama que são: condições geotécnicas naturalmente adversas (fluxos detríticos, queda de blocos de regiões à montante da faixa de escorregamento), estruturas de engenharia ineficientes, processos erosivos cujo representados a esquerda nas caixas azuis. Possui 4 consequências, lesão a pessoas, impactos ambientais, impacto a reputação e impacto legal, representados pelas caixas vermelhas a direita.

Seguindo no diagrama, a ramificação das causa e consequências, temos 21 controles no total sendo 9 controles críticos, estruturas de contenção, drenagem interna e geometria de taludes e túneis adequados (engenharia), detecção de deformações por sensoriamento remoto (engenharia), estruturas de contenção, drenagem interna e geometria de taludes e tuneis adequados (engenharia), monitoramento e controle de processos erosivos (administrativo), isolamento, sinalização e evacuação de áreas de risco (administrativo), 2 controles de plano de atendimento a emergência (administrativo), 2 controles de projetos de engenharia para estabilização de pontos geotécnicos notáveis (estruturas de contenção, drenagem superficial, drenagem interna e geometria de taludes) (engenharia).

Ressaltando que a hierarquia de controles (Figura 5.4 na página 38) presente em sua maioria, 5 são de engenharia e 4 administrativos, com isso temos uma hierarquia de controle melhor pois, controles de engenharia são mais íntegros e eficazes, assim garantindo uma operação segura, com o menor índice de incidentes possíveis

Ainda no tratamento do risco devemos implementar ações mitigadoras e preventivas na oportunidade de diminuir o grau do risco e com medidas que são de alta hierarquia, como engenharia e/ou segregação. No ponto mais crítico que temos no trecho km 340 a 359 podemos listar as seguintes ações de melhorias:

- Contenção ainda no talude: impedir que haja desprendimento da face. Isso pode ser feito através da aplicação de ancoragens passivas ou ativas. A contenção poderá, dependendo do grau de fraturamento e condição de estabilidade do bloco, ser acompanhada de faceamento, que pode ser executado em concreto projetado ou com telas metálicas de alta resistência;
- Desmonte controlado dos blocos: deve-se avaliar a segurança dos operadores e se os blocos gerados não oferecerão risco à integridade;

- Construção de bermas: são barreiras rígidas, compostas por aterro em solo compactado e que podem ser empregadas, esse tipo de barreira absorve a energia proveniente dos blocos através de deformações no solo não deixando que o desprendimento daquele bloco chegue no próximo nível;
- Construção de leiras: permite o desvio dos blocos ou menor ganho de energia ao longo da trajetória de declive;

Com todas as medidas mitigadoras e preventivas, controles eficazes de engenharia mapeados e monitorados temos a redução do grau do risco para 19 S pois, a probabilidade mudará de 3 possível para 2 improvável, ou seja, o evento poderia acontecer entre 10 e 20 anos como mostrado na Figura 5.6.

Com isso em todo o trecho passaremos a ter o grau de risco Significativo, no qual devemos gerenciar proativamente.

Figura 5.6 - Tabela de APR após avaliação de risco

APR - ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS DEPOIS											
Trecho /Pontos de Referência		Condição Perigosa	Evento Indesejado	Probabilidade	Consequência						Grau do Risco
					(S)	(A)	(C)	(L)	(R)	(F)	
Trecho 1	KM 320 - 339	Taludes e encostas a montante e a jusante da faixa de servidão, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado (KM 326,0 a 327,2; KM 327,7; KM 331,0; KM 331,9; KM 336,5; KM 339,9)	Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes)	3: Possível	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	3: Médio	18 (S)
Trecho 2	KM 340 - 359	Taludes e encostas a montante e a jusante da faixa de servidão, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado (KM 341,1; KM 341,2 a 342,2; KM 343,29 a 345,5; KM 345,9; KM 346,1 a 346,8; KM 353,7 a 354,2; KM 354,4; KM 355,7 a 356,3; KM 356,9 a 357,6; KM 358,5; KM 359,9)	Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes)	2: Improvável	5: Máximo	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	3: Médio	19 (S)
Trecho 3	KM 360 - 379	Taludes e encostas a montante e a jusante da faixa de servidão, túnel e área de depósito de material inconsolidado/ saturado em plano inclinado (KM 371,3 a 372,0; KM 373,4; KM 377,2 a 377,8; KM 378,8 a 379,8)	Perda de Estabilidade de Estruturas Geotécnicas Permanentes (taludes)	3: Possível	4: Alto	4: Alto	4: Alto	4: Alto	3: Médio	4: Alto	18 (S)

Legenda: S (Segurança); A (Impacto Ambiental); C (Impacto na Comunidade); L (Legal); R (Impacto na Reputação); F (Perda Financeira)

Fonte: A autora (2021)

6 CONCLUSÃO

A avaliação de riscos é uma atividade muito importante não só em operações minerárias, mas em todos os segmentos industriais, visto que envolve exposição de pessoas e do meio físico e natural a perigos, muitas vezes com efeitos catastróficos, gerando sérias perturbações às comunidades, além de agravantes legais, financeiros e reputacionais das operações. Mapear todos os riscos com segurança e controles adequados visa não só uma gestão segura, minimizando acidentes e fatalidades, mas também tornar-se uma fonte de comunicação para operadores e comunidades locais acerca de suas verdadeiras condições de trabalho e moradia, valorizando a vida como algo imensurável.

Avaliar riscos visa aumentar a confiança nas operações de uma organização prevendo, priorizando e identificando eventos indesejados que possam comprometer os recursos humanos, materiais e financeiros da empresa. Assim, desenvolver técnicas de eliminação, redução e controle dos riscos, são de extrema importância para o desenvolvimento sustentável de uma empresa.

No que tange os objetivos deste estudo, este conseguiu avaliar o risco de estabilidade em taludes de estruturas geotécnicas permanentes de forma escalonada. Primeiramente avaliou através de um processo amplo que é o mapeamento de processo, conhecendo bem a área de estudo. Depois, com a Análise Preliminar de Riscos em conjunto com as matrizes de risco ressaltando riscos e perigos da atividade, juntamente com a sua quantificação de grau de risco através da probabilidade e consequências.

A partir da implementação do diagrama BTA, aplicação de controles críticos em sua maioria de alta hierarquia, que são mais eficazes, e a execução de medidas preventivas e mitigadoras foi possível reduzir o trecho de maior índice de grau de risco de 22 (Alto) para 19 (Significativo).

Desta forma, os resultados demonstram que a aplicação de uma gestão de riscos robusta é eficaz e viável para minimizar a probabilidade de ocorrência de impactos causados por estruturas geotécnicas. Porém, devemos continuar gerenciando proativamente todo o trecho visto que melhorias são sempre bem vistas até chegar em controles de eliminação ou em graus menores ainda de risco, assim propiciando uma operação segura com menor índice de incidentes possíveis.

7 RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista a proposta do estudo de avaliação de risco, considera-se de suma importância a continuidade da pesquisa mais detalhada acerca dos riscos associados a faixa de servidão em outros trechos, em especial aqueles próximos a comunidades e áreas de preservação ambiental. Os impactos e consequências ainda são pouco conhecidos pelos operadores e comunidades locais pois ainda é necessário elevar o grau de conhecimento e percepção de riscos por estes envolvidos no cenário operacional, salientando que segurança é feita por todos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. **Norma regulamentadora NR-18** Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015a.

ABNT. **Sistema da gestão ambiental. NBR ISO 14001**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015b.

ABNT. **Sistema de Gestão da Qualidade. NBR ISO 9001**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015.

ABNT. **Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes. NBR ISO 31000**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2009.

ABNT. **Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional. NBR ISO 45001**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2018.

ALVIM, Eduardo. **Influência na estabilidade de talude em solo**. 2016. CEFET Araxá, disponível em: http://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Eduardo_Saldanha_Alvim.pdf. Acesso em: 13 mar. 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 fev. de 1986.

CUNHA, Rosiane -**Deslizamento de rochas em mina de calcário mata uma pessoa em Arcos**.30 out. 2019. Disponível em: <https://www.hojeemdia.com.br/horizontes/deslizamento-de-rochas-em-mina-de-calc%C3%A1rio-mata-uma-pessoa-em-arcos-1.753404>. Acesso em: 31 jan. 2021.

FERNANDES, Marília; GANTTOIS, Monica. **A importância do sistema de gestão integrado na construção civil**, 2018. Disponível em: <http://ri.ucs.br:8080/jspui/bitstream/prefix/1248/1/A%20import%C3%A2ncia%20da%20implanta%C3%A7%C3%A3o%20do%20sistema%20de%20gest%C3%A3o%20integrado%20na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2021.

MORAES, Giovanni. **Sistema de Gestão de Riscos: Estudos de Análise de Riscos “Offshore e Onshore”**. 1.ed. Rio de Janeiro: GVC. (2013).

MUZAIMI, Hafizzudin; CHEW, Boon; HAMID, Syaiful. **Integrated Management System: The Integration of ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 and ISO 31000**. 2016. Disponível em: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4976898>. Acesso em: 28 fev. 2021.

OLIVEIRA, Antonio; BRITO, Sergio. **Geologia de Engenharia**, 1.ed. São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, Hudson; **Gerenciamento de dutos: proposta de abordagem aos riscos geotécnicos em gasodutos de transmissão**. 2005. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/101874>". Acesso em: 13 mar. 2021.

OPERÁRIO da **Vale morre soterrado por parte de talude em Brumadinho**. R7, [S. l.], p. 2323, 19 dez. 2020. Disponível em: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/balanco-geral-mg/videos/operario-da-vale-morre-soterrado-por-parte-de-talude-em-brumadinho-19122020>. Acesso em: 22 jan. 2021

RODRIGUES, Alex - **Imprudência e negligência causaram acidente que matou quatro trabalhadores de mineradora, concluem peritos**. 9 ago. 2013. Disponível em: <https://memoria.ebc.com.br/noticias/brasil/2013/08/imprudencia-e-negligencia-causaram-acidente-que-matou-quatro-trabalhadores>. Acesso em: 31 jan. 2021

RODRIGUES, Alex - **Parte do talude de mina da Vale se desprende em Barão de Cocais**. [S. l.], 31 maio 2019. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-05/parte-do-talude-de-mina-da-vale-se-desprende-em-barao-de-cocais>. Acesso em: 30 jan. 2021

REIS, Renato. **Estudo de Estabilidade de Taludes da Mina de Tapira**, [S. l.], p. 145, 1 out. 2010. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2359>. Acesso em: 28 jan. 2021.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2013

SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2019. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br.

WICANDER, Reed e MONROE, James S. **Fundamentos de Geologia**. [S. l.: s. n.], 2009.