

Análise De Riscos Em Uma Cava De Minério De Ferro Utilizando Metodologia Bowtie

Luiz Fernando Vieira Goulart

Engenheiro Civil, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, Luizfernando_goulart@hotmail.com

Talita Caroline Miranda

D.Sc./Professora, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, talita@etg.ufmg.br

Luiza Viana Pretti

Graduanda em engenharia Civil, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, luizapretti@gmail.com

RESUMO: O estudo de caso aborda o risco de ruptura geológica em uma cava de mineração, analisando visualmente as rupturas nas paredes. Utilizando a metodologia Bowtie, o trabalho destaca sua aplicabilidade prática na avaliação abrangente dos riscos associados, indo além da identificação ao fornecer visão sobre estratégias de mitigação e prevenção. Os resultados evidenciam a evolução dos controles preventivos e das matrizes de riscos, destacando a influência direta das falhas nesses controles na segurança. O estudo enfatiza a importância da implementação oportuna da gestão de riscos, pois a demora pode resultar em consequências indesejadas, impactando as operações da cava e os negócios da empresa. Os objetivos incluem revisão bibliográfica, compreensão da metodologia Bowtie, análise de normas de gestão de riscos, coleta e avaliação de dados de uma estrutura geotécnica, e aplicação da metodologia Bowtie em um estudo de caso de riscos geotécnicos. Além disso, a conclusão destaca a importância de uma gestão proativa, enfatizando que a metodologia Bowtie é aplicável para análise de riscos geotécnicos, podendo potencializar a resiliência operacional, sustentabilidade e segurança da área.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão, Riscos, Bowtie, Geotecnia

ABSTRACT: The case study addresses the risk of geological rupture in a mining pit, visually analyzing wall ruptures. Using the Bowtie methodology, the study highlights its practical applicability in the comprehensive assessment of associated risks, going beyond identification to provide insight into mitigation and prevention strategies. Results illustrate the evolution of preventive controls and risk matrices, emphasizing the direct impact of control failures on safety. The study underscores the importance of timely risk management implementation, as delays can lead to undesirable consequences, impacting pit operations and company business. Objectives include literature review, understanding the Bowtie methodology, analysis of risk management standards, data collection and evaluation of geotechnical structure, and Bowtie methodology application in a geotechnical risk case study. Furthermore, the conclusion emphasizes the significance of proactive management, stating that the Bowtie methodology is applicable for geotechnical risk analysis, potentially enhancing operational resilience, sustainability, and area safety.

KEYWORDS: Management, Risks, Bowtie, Geotechnics

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o dicionário Aurélio a definição de risco é “Perigo; probabilidade ou possibilidade de perigo” (Ferreira, 2010). No contexto geral, a ISO 31000:2018, norma internacional de gerenciamento de riscos, define risco como: “Efeito da incerteza nos objetivos.” Esta definição destaca a ideia de que o risco está ligado à incerteza e à possibilidade de os objetivos serem afetados de maneira negativa. Somado a isso, para a classificação de um risco é necessário utilizar a matriz de risco, que é uma ferramenta essencial na gestão de riscos, como na Figura 1, que organiza informações sobre ameaças potenciais e suas consequências. Ela fornece uma representação visual das probabilidades de ocorrência e dos impactos associados a cada risco,

permitindo que as organizações priorizem suas ações de mitigação. Ao classificar os riscos em uma matriz, as empresas podem identificar aqueles que merecem maior atenção e recursos, ajudando-as a tomar decisões informadas e estratégicas para proteger seus objetivos e operações.

Além disso, a classificação do risco na matriz pode ser em três tipos diferentes, inerente, residual e projetado. O "Risco Inerente" refere-se ao risco natural ou não tratado associado a uma estrutura, processo, ação ou evento, sem a implementação de controles de risco. O "Risco Residual" é o risco ligado a uma estrutura, processo, ação ou evento que permanece após a aplicação dos controles de risco. O "Risco Projetado" envolve a projeção da medida de risco considerando controles eficientes e o efeito dos planos de ação que podem alterar a classificação do risco.

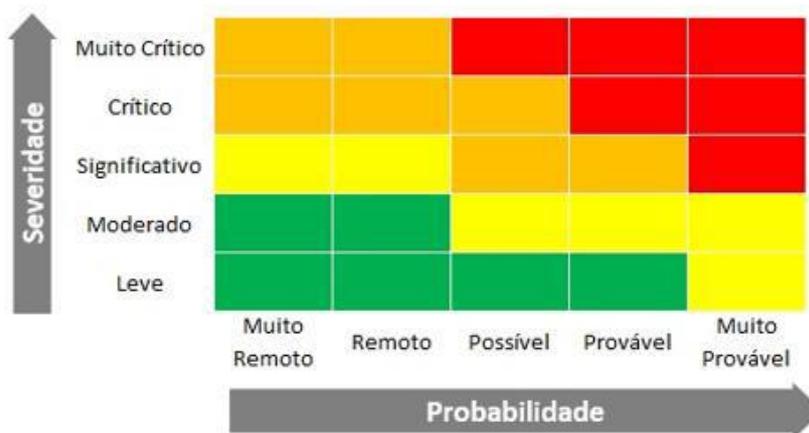


Figura 1. Matriz de Risco Adaptado de NOR-003-G.

Quando a combinação de probabilidade e severidade resulta em um posicionamento no quadrante vermelho, o risco é considerado “muito alto”; no quadrante laranja, é classificado como “alto”; no amarelo, é avaliado como “médio”; e no verde, é caracterizado como “baixo”. Isso oferece às organizações uma ferramenta eficaz para identificar e priorizar os riscos, facilitando a tomada de decisões informadas em relação à gestão de riscos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No livro *Bowties in Risk Management: A CCPS Concept Book* (2018), o *Bowtie* é um método de avaliação de riscos que pode ser utilizado para analisar e comunicar como cenários de alto risco ou outros cenários de interesse podem se desenvolver. A essência do *Bowtie* consiste em cenários de riscos factíveis em tomo de certos perigos, e maneiras de como a organização se previne de suas ocorrências. O livro descreve a metodologia *Bowtie*, uma ferramenta visual e sistemática que ajuda as organizações a avaliar, entender e controlar riscos complexos de maneira eficaz. O nome “*Bowtie*” deriva da forma do diagrama utilizado, que se assemelha a uma gravata borboleta, com o nó central representando o evento de interesse ou o perigo, e as duas abas representando as barreiras preventivas e mitigadoras, como na Figura 2.

Em CCPS (2018) indica que ao adotar a ferramenta *Bowtie* no gerenciamento de riscos em projetos, as organizações podem aumentar a eficácia na mitigação de riscos, melhorar a tomada de decisões informadas e contribuir para o sucesso geral do projeto. Ela oferece uma abordagem sólida para identificar e gerenciar riscos, independentemente da complexidade ou da indústria do projeto em questão.

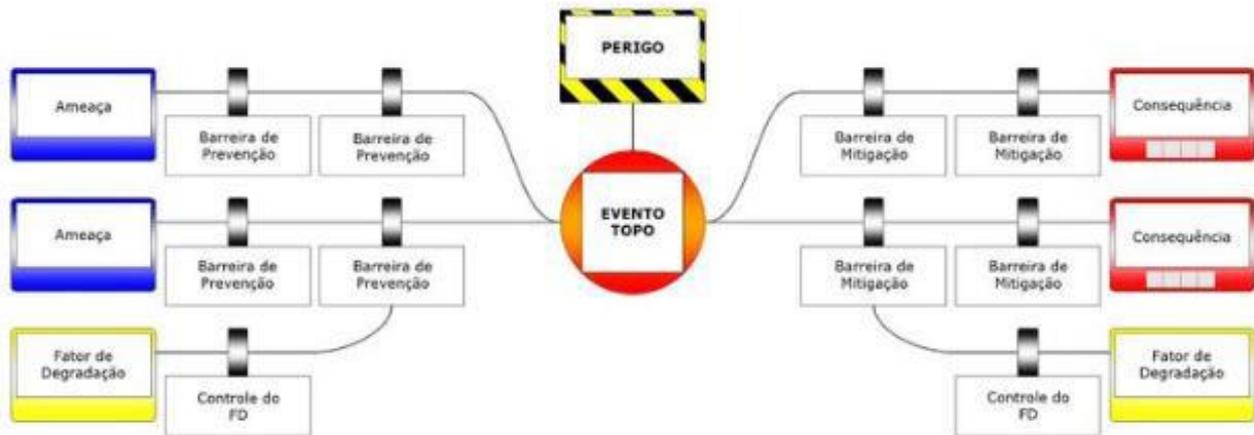


Figura 2. Modelo de *Bowtie*. Adaptado de CCPS (2018).

3 METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DE CASO

Com base em imagens de satélite, disponibilizadas gratuitamente via GoogleEarth, procurou-se identificar sinais de ruptura de taludes existentes ao longo do tempo na cava de mineração conhecida como Mina do Pico, em Minas Gerais. Definindo hipoteticamente as causas, consequências e controles dos riscos, e por fim, classificando-os por meio de uma matriz de risco.

3.1 Risco existente

A evolução da ruptura da parede norte da cava do Pico desde 2016 até a situação atual em 2023, incluindo o início da ruptura da parede leste a partir de 2022. A progressão dos problemas na vertente nordeste, inicialmente nas bermas superiores e culminando no colapso de uma parte significativa da parede, será detalhada. Embora a ocorrência de rupturas de paredes seja comum no complexo minerário, as rupturas na cava do Pico apresentam um nível de risco que pode ser considerado como elevado, destacado na matriz de riscos e nas imagens das Figuras 3 a 5. O maior grau de risco está relacionado ao pior cenário, envolvendo o rompimento global das paredes norte e leste, com potenciais impactos financeiros, de segurança, ambientais e na reputação da empresa.



Figura 3. Evolução da ruptura da cava (2014). Fonte: Google Earth.



Figura 4. Evolução da ruptura da cava (2017). Fonte: Google Earth.



Figura 5. Evolução da ruptura da cava (2023). Fonte: Google Earth.

3.2 Risco existente

Na metodologia *Bowtie*, as causas são representadas de forma abrangente para entender os fatores que podem levar a eventos indesejados. Mapeando essas causas no lado esquerdo do diagrama, os profissionais visualizam claramente os fatores que contribuem para o risco, facilitando o desenvolvimento de estratégias de controle eficazes. A análise de dados de avaliações de riscos anteriores identificou quatro causas principais para o risco de ruptura da parede da cava, entre elas: a deficiência na drenagem superficial das bermas, geometria inadequada, aumento do nível da água e a deformação diferencial.

No método *Bowtie*, as consequências, representadas no lado direito do diagrama, são essenciais para avaliar a magnitude dos riscos associados a eventos indesejados. Na análise do pior cenário de ruptura global das paredes norte e leste, possíveis perdas de acesso, de instrumentação de monitoramento e à cava vizinha foram destacadas, juntamente com impactos fora da área licenciada e a impossibilidade de acessar um depósito de materiais. Foram identificados quatro impactos principais: reputacional, meio ambiente, pessoas e financeiro.

Na metodologia *Bowtie*, os controles atuam como barreiras entre causas e consequências, visando prevenir, mitigar ou responder a eventos indesejados. Essas medidas, como procedimentos operacionais,

sistemas de segurança e treinamentos, são cruciais para fortalecer a prevenção de riscos. A eficácia dos controles é essencial na gestão contínua de riscos, permitindo melhorias, identificação de lacunas e resposta eficiente a potenciais eventos adversos. Ao longo de quatro avaliações de riscos, foram desenvolvidos e ajustados controles para fortalecer a prevenção contra os riscos identificados, estabelecendo conexões precisas entre essas medidas preventivas e as causas subjacentes aos eventos indesejados. Essa abordagem, detalhada em tabelas, oferece uma visão clara e aprofundada da implementação da metodologia Bowtie, evidenciando as estratégias de controle e sua efetividade na gestão dos cenários de risco.

3 RESULTADOS

Durante a evolução das erosões da cava, foram conduzidas as avaliações de riscos feita pela equipe multidisciplinar, sendo que ocorre a avaliação do Bowtie do risco que contém as causas, controles e impactos, dessa forma são propostos adaptações ou adições de componentes do Bowtie que possa melhorar a gestão do risco como será demonstrado a seguir. A Figura 6 mostra as três causas propostas e para cada uma delas quais seriam os controles a serem observados para o ano de 2023, com as técnicas de monitoramento modernas existentes e a disposição da engenharia geotécnica. Destaca-se que independentemente da causa, os dispositivos de controle sugeridos neste caso, são: as inspeções visuais, plano de monitoramento específico para o período chuvoso e sua execução, manutenção dos dispositivos de drenagem, monitoramento da instrumentação de movimentação e de nível de água e/ou piezométrico.

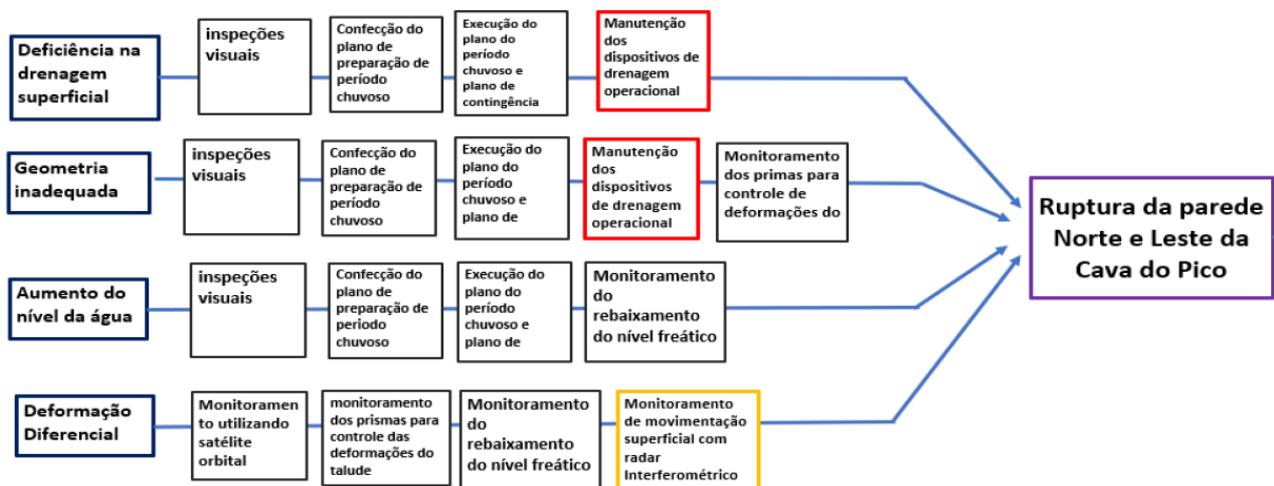


Figura 6. Bowtie proposto.

As avaliações das imagens de satélite ao longo dos anos evidenciam que há uma ineficácia do controle de manutenção dos dispositivos de drenagem operacional, indicando a não funcionalidade devido à erosão avançada das paredes. Indicando que é preciso controles tais como: o monitoramento de movimentação superficial (sugestão de radar interferométrico), buscando melhorar a matriz de risco indesejada. A progressão da erosão nas paredes da cava, destacada pela metodologia *Bowtie*, revela causas como a deficiência na drenagem superficial e o aumento do nível da água, enfatizando a ineficácia do controle de manutenção. Essas falhas culminaram na ruptura das paredes norte e leste.

A interconexão dessas informações destaca a complexidade do problema, refletida na matriz de risco resultante da análise *Bowtie*, que cruza probabilidade com severidade, revelando a gravidade das consequências associadas às falhas nos controles e às causas identificadas. Dessa forma, isso permite a identificação das interconexões entre as análises de riscos, que são realizadas por meio da metodologia *Bowtie*. Além disso, a Figura 7 evidencia a classificação atribuída a cada matriz, para os anos de 2021 a 2023, destacando-se como uma ferramenta que pode ser utilizada para a gestão de riscos e embasamento na tomada de decisões estratégicas e indicando um aumento da severidade e da probabilidade de ocorrência ao longo dos anos, para regiões distintas da cava.

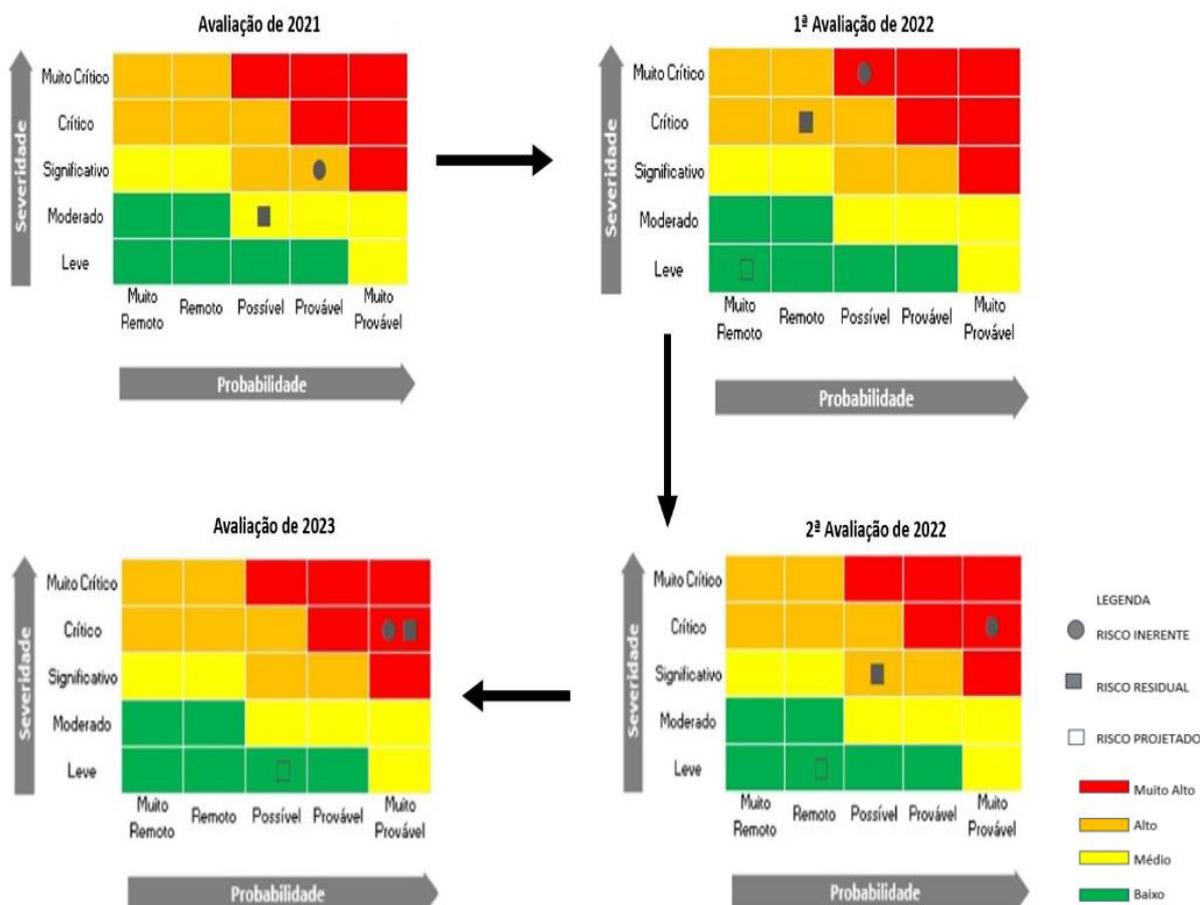


Figura 7. Evolução da Matriz de Risco.

4 CONCLUSÃO

Atualmente risco analisado com base em imagens de satélite, aplicando a metodologia *Bowtie*, se encontra no cenário inerente e residual com a probabilidade “Muito provável” e a severidade no “Crítico” e no cenário projetado se encontra como probabilidade “Possível” e severidade como “Leve”. Assim, com a gestão de riscos começando somente no ano de 2021 e se tratando de um local que durante 6 meses do ano apresenta índices pluviométricos bem altos, torna-se evidente que uma implementação gestão mais precoce e efetiva dessa abordagem teria conferido maior eficiência, potencialmente prevenindo as causas “Deficiência na drenagem superficial” e a “Aumento do nível da água”, conseqüentemente diminuindo as complicações substanciais nas paredes da cava, como sugere a análise da evolução do nível de risco nas matrizes pertinentes.

A introdução da metodologia *Bowtie* revela-se não apenas como uma ferramenta facilitadora para visualização das causas, conseqüências e controles associados a um risco específico, mas também como um meio abrangente de compreender macroscopicamente como os riscos são gerenciados. Destaca-se, ainda, a capacidade da metodologia em proporcionar uma visão que não apenas identifica as nuances da gestão de riscos, mas também delinea possibilidades de intervenção preventiva e mitigatória. Essa abordagem não apenas desvenda a complexidade do gerenciamento de riscos, mas também evidencia como deficiências em certos controles podem reverberar de maneira significativa na gestão do processo como um todo.

Diante dessas constatações, ressalta-se a relevância de uma gestão de riscos proativa, enraizada em metodologias como a *Bowtie*, para antecipar e responder de maneira eficaz aos desafios apresentados. Ao refletir sobre os resultados obtidos, percebe-se que a integração dessa metodologia desde fases anteriores teria potencializado significativamente a resiliência operacional, sustentabilidade do empreendimento e a segurança da cava. Dessa forma, em relação os objetivos propostos no início do trabalho, pode concluir que a metodologia *Bowtie* é aplicável para uma análise risco de um risco geotécnico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CCPS (Center for Chemical Process Safety). (2011). *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. John Wiley & Sons, 2011.
- (CCPS), C. f. (2018). *Bow Ties in Risk Management: A Concept Book for Process Safety*. Wiley-Aiche.
- ClimaTempo. (11 de Novembro de 2023). www.climatempo.com.br. Fonte: climatempo: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/3348/itabirito-mg>
- Corporativo Vale. (2022). NOR-0003-G – Norma de gestão de riscos.
- Corporativo Vale. (2022). PNR-000154 - Análise de Bowtie.
- Oliveira, M., & Ribeiro, M. (2019). *Impactos ambientais da exploração de areia na microbacia do Rio São Miguel*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- Gordon A. Fenton, D. V. (2008). *Risk Assessment in Geotechnical Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (Iepha-MG). (1 de Novembro de 2023). Fonte: <http://www.iepha.mg.gov.br/>: <http://www.iepha.mg.gov.br/index.php/programas-e-acoes/patrimonio-cultural-protetido/bens-tombados/details/1/80/bens-tombados-pico-do-itabirito-ou-do-itabira>
- Souza, J. A. (05 de Outubro de 2021). A FERRAMENTA BOW-TIE NO DE RISCOS EM PROJETOS. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA. From theory to execution. (Vol. 2nd Rev and Expanded ed. edition)*. Milwaukee: ASQ Quality Press.