

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Hierarquização de Atividades Operacionais em Barragens de Rejeito

Lucas Costa Vidal

Estudante, Instituto Minere, Belo Horizonte, Brasil, vidal.clucas@gmail.com

Márcio Fernandes Leão

Professor, Instituto Minere, Belo Horizonte, Brasil, marciotriton@hotmail.com

RESUMO: Um dos maiores desafios atuais para as mineradoras é a garantia e sustentabilidade de suas operações, e ainda assim assegurar os investimentos necessários em segurança e gestão de rejeitos. As recentes falhas envolvendo barragens de rejeito, comprovam a carência de investimentos e a relevância para a segurança das estruturas de rejeito. O presente estudo tem por objetivo utilizar as ferramentas Fluxograma e Matriz GUT para avaliar, identificar e priorizar os processos na operação de uma barragem de rejeitos, com hidrociclonação e alteamento contínuo a jusante. Conhecer os pontos críticos do processo, auxiliará a equipe de segurança de barragens e a comunidade geotécnica na gestão de processos, e através da utilização de recursos acessíveis para o apoio do mapeamento de falhas nos processos operacionais, nortear de forma mais assertiva as tomadas de decisões.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem, Rejeito, Operação, Hydrocycloning, Matriz GUT.

ABSTRACT: One of the biggest current challenges for mining companies is the guarantee and sustainability of their operations, and still ensure the necessary investments in safety and tailings management. Recent failures involving tailings dams prove the lack of investments and the relevance for the safety of tailings structures. This study aims to use flowcharts and GUT Matrix tools to evaluate, identify and prioritize the processes in the operation of a tailings dam with hydrocycloning and continuous raising downstream. Knowing the critical points of the process will help the dam safety team and the geotechnical community in process management, and through the use of accessible resources to support the mapping of failures in operational processes, guide decision-making more accurately.

KEYWORDS: Tailings, Dam, Operation, Hydrocycloning, GUT Matrix.

1 Introdução

A fase de operação de uma indústria de mineração envolve vários processos até a obtenção do produto e entrega do mineral ao destino final. Entre os processos operacionais, três deles são essenciais: extração, beneficiamento e comercialização. Outros processos secundários também fazem parte do fluxograma geral operacional de uma mina e são essenciais para o resultado. Um dos exemplos de processo secundário é a disposição dos rejeitos industriais. Durante a etapa de beneficiamento, objetiva-se em purificar o mineral ou melhorar a sua concentração. Nesta fase surgem os rejeitos industriais, um novo material derivado e inerente ao processo.

Rejeitos são materiais produzidos a partir do beneficiamento de *commodities* dos minerais. As características do processo de beneficiamento e da matéria que alimenta a usina podem influenciar nas propriedades do rejeito, tornando-o granular ou fino. Lavras mais arenosas tendem a gerar rejeitos granulares, enquanto lavras com presença de materiais argilosos tendem a formar rejeitos com granulometria mais fina (JEWELL, 1998).

As barragens de rejeito de mineração, tem por objetivo principal decantar sólidos em suspensão do líquido, separando-os em fases, de modo a possibilitar que o líquido seja reutilizado no processo como água para recirculação ou tornando possível, a depender de sua qualidade ou tratamento, descartá-lo nos corpos hídricos (BRASIL, 2006).



As tipologias de barragens de rejeito estão relacionadas aos processos construtivos e materiais utilizados nos alteamentos. Assim, ao considerar o uso do próprio rejeito como material para a construção dos alteamentos e emprego da técnica de aterro hidráulico, destacam-se três métodos com particularidades na fase de projeto e vantagens/desvantagens na fase operacional, são eles o método de montante, o método de linha de centro e o método de jusante (VICK, 1983).

O método à jusante foi desenvolvido de modo a reduzir riscos relativos à construção de barragens de rejeitos se comparado aos métodos de montante e de linha de centro, principalmente os riscos relacionados a susceptibilidade a liquefação, uma vez que os alteamentos não são executados sobre rejeito pouco consolidado. No entanto, existem também desvantagens desse método, uma vez que há a necessidade de grande volume de material compactado, alto custo, planejamento prévio do volume de material lançado na barragem e programação dos alteamentos seguintes, podendo estes serem continuados, principalmente nas fases iniciais de operação, e podendo ocorrer a escassez de material grosseiro (geralmente denominado de *underflow* – que constitui o maciço da barragem), mantendo a crista do barramento acima do nível de água do reservatório (BITTAR, 2006).

Este trabalho tem como objetivo principal utilizar as ferramentas de Fluxograma e Matriz GUT para avaliar, identificar e priorizar os processos na operação de uma barragem de rejeitos com ciclonagem do rejeito e alteamento contínuo para jusante, visando reduzir falhas operacionais durante o processo, garantir a segurança dos trabalhadores e da estrutura geotécnica, além de proporcionar uma operação responsável visando e proporcionando o futuro fechamento.

2 Materiais e Métodos

Inicialmente, foram identificados os pontos críticos envolvidos no processo operacional de uma barragem de contenção de rejeitos ciclados e alteamento contínuo à jusante. Esses pontos foram elencados quanto: gestão de segurança de barragem de rejeitos, tipologias das estruturas e processos industriais de disposição de rejeitos de mineração. Foram identificados os itens prioritários no processo, buscando contribuir com a operação e segurança de barragens.

Foi aplicada a matriz GUT (Gravidade/Urgência/Tendência) para a priorização na tomada de decisões. A priorização na tomada de decisão seguiu a metodologia de Meireles (2001), que hierarquiza em cinco graus (5 – nota mais alta e crítica e 1 nota mais baixa e menos crítica) os parâmetros Gravidade (G), Urgência (U) e Tendência (T). Baseados nos resultados da matriz GUT foram definidos os principais pontos críticos referentes à priorização de falhas na operação de barragem. Cabe ressaltar, que inicialmente foram definidas as etapas do ciclo de vida de uma barragem de rejeito, todavia enfocando na etapa operacional. A definição dos processos foi apresentada por meio de fluxograma, definindo-se o início e o fim do sistema, seguindo metodologia de Harrington (1993).

3 Resultados e Discussões

Planejar, projetar, construir, operar e descomissionar estruturas de disposição de rejeitos, de modo a reduzir os riscos e passivos ao longo dos anos dessas etapas, é uma tarefa que exige sistema específico e compromissos. Em todas as etapas é importante que os processos sejam estruturados e compreendidos pelos envolvidos. Especificamente na fase operacional, é necessário um sistema de gestão capaz de controlar e monitorar os riscos.

A Figura 1 apresenta as cinco fases da vida útil de uma barragem de rejeitos. Planejar e Projetar (1ª Fase), onde são definidos o local adequado, as *Best Available Technology (BAT)* e os projetos de engenharia. Implantar (2ª Fase), inclui a construção/ampliação da estrutura antes do início da operação. Operar (3ª Fase), corresponde à vida útil da estrutura de rejeitos, incluída nessa fase estão as subfases de operação, alteamentos, monitoramento e manutenção do conjunto. Encerrar (4ª Fase), ocorre com a confirmação do fim da vida útil e/ou a não necessidade da barragem no projeto. E por fim, Pós-Encerrar (5ª Fase), período após a completa implantação das medidas de desativação ou descaracterização da barragem disposição de rejeitos (IBRAM, 2019).

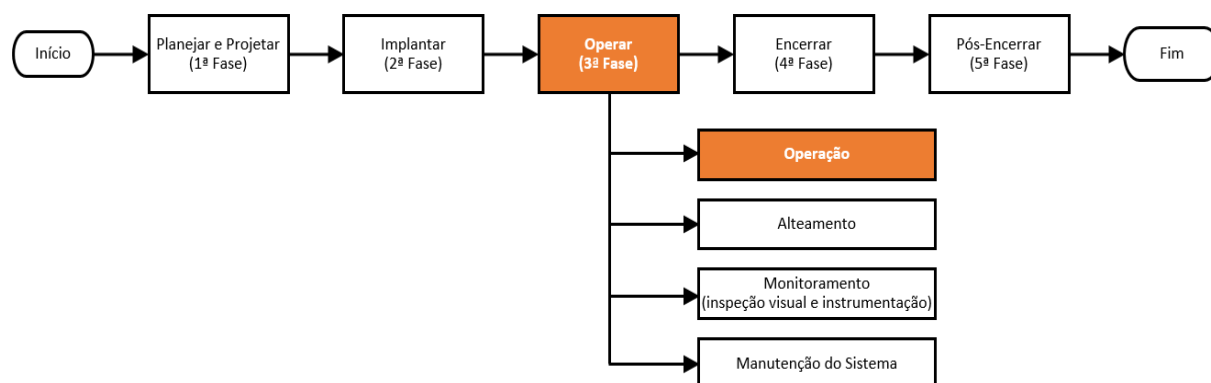


Figura 1. Etapas do Ciclo de Vida de Barragens de Rejeitos (IBRAM, 2019 – adaptado).

De modo a organizar o processo na Fase 3 (Operar) e elencar as atividades dessa fase, é apresentado o fluxograma com as atividades, considerando o ciclo de vida de uma barragem de rejeito ciclonado com alteamento contínuo.

A Figura 2 apresenta o Fluxograma de atividades de Operação da 3ª Fase (Operar) do ciclo de vida de uma barragem de rejeito ciclonado com alteamento contínuo, cujo início dessa subfase se dá através da condução da polpa de rejeitos até a barragem, e o final através da subfase seguinte, com o alteamento da barragem ou a garantia da correta compactação do *underflow* (UF) e início de um novo ciclo do processo.

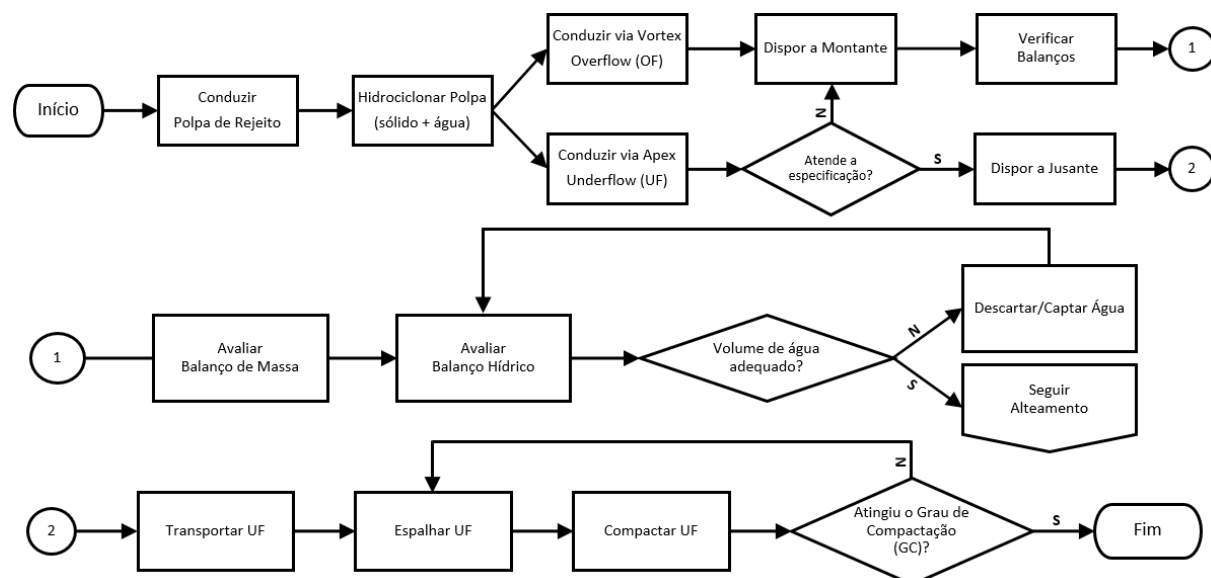


Figura 2. Fluxograma apresentando atividades de Operação da 3ª Fase (Operar) do Ciclo de Vida de uma Barragem de Rejeito ciclonado com alteamento contínuo (autoria própria).

A partir da definição do ciclo de vida da estrutura na fase de Operação, aplicou-se a matriz de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT), com base em Meireles (2001), de modo a priorizar as escolhas durante a operação da barragem. Para cada um dos critérios, foram estabelecidos valores que variavam de 1 (nota mais baixa e menos crítica) e 5 (nota mais alta e mais crítica). Deste modo, após definidas as notas para cada um dos parâmetros, foram multiplicados os Pontos Críticos, Gravidade e Urgência, resultando na obtenção de uma Sequência de Prioridades, que lastrará a tomada de decisões nas unidades operacionais e poderá servir como base para formulação de procedimentos e referência para o fluxograma de processos e manutenções.

Na Tabela 1 foram elencados todos os Pontos Críticos (PCs) relacionados às falhas operacionais. Considerando que nessa etapa ainda possam existir outras falhas derivadas da operação, foram destacadas quanto: a condução da polpa (Tabela 2), descarte e captação de água (Tabela 3), e compactação do UF (Tabela 4). Para essas tabelas é informada a seguinte legenda: PC: Ponto Crítico; G: Gravidade; U: Urgência; T: Tendência; P: Prioridade; SP: Sequência das Prioridades.



Tabela 1. Matriz [GUT] para priorização dos processos da fase de Operação da 3ª Fase (Operar) do Ciclo de Vida de uma Barragem de Rejeito ciclonado com alteamento contínuo (autoria própria).

[PC]: Operação de uma Barragem de Rejeito Ciclonado com Alteamento contínuo	G	U	T	P	SP
Falha ao Conduzir Polpa	5	5	5	125	1º
Falha ao Descartar/Captar água	5	4	4	80	2º
Falha ao Compactar UF	4	4	4	64	3º
Falha ao Transportar UF	3	4	5	60	4º
Falha ao Dispor a Jusante	3	4	4	48	5º
Falha ao Hidrociclonar Polpa	3	5	3	45	6º
Falha ao Conduzir via Vortex - Overflow (OF)	3	4	3	36	7º
Falha ao Conduzir via Apex - Underflow (UF)	3	4	3	36	7º
Falha ao Espalhar UF	2	4	4	32	8º
Falha ao Avaliar Balanços (Hídrico/Massa)	5	3	2	30	9º
Falha ao Dispor a Montante	3	4	2	24	10º

Tabela 2. Matriz [GUT] para priorização de falhas ao Conduzir a Polpa (autoria própria).

[PC]: Falha ao Conduzir Polpa	G	U	T	P	SP
Capacidade técnica inadequada e/ou Ausência de treinamento prévio	3	5	5	75	1º
Falta/falha de inspeções da linha de rejeitos	4	4	3	48	2º
Matriz de responsabilidade mal-entendida	3	3	4	36	3º
Não confiabilidade da linha de rejeitos	4	4	2	32	4º
Válvulas/Conexões inadequadas	4	3	2	24	5º

Tabela 3. Matriz [GUT] para priorização de falhas ao Descartar/Captar Água (autoria própria).

[PC]: Falha ao Descartar/Captar água	G	U	T	P	SP
Insuficiência de recursos hídricos	5	5	5	125	1º
Deficiência de sistema de descarte/captação	4	3	3	36	2º
Ausência de licença ambiental para descarte/captação	4	4	2	32	3º
Erro humano no manejo do sistema	3	3	3	27	4º
Baixa eficiência do conjunto de evaporação	3	3	2	18	5º

Tabela 4. Matriz [GUT] para priorização de falhas ao Compactar Underflow (UF) (autoria própria).

[PC]: Falha ao Compactar UF	G	U	T	P	SP
Indisponibilidade de equipamentos compactadores	5	5	5	125	1º
Trecho fora da umidade ótima	4	5	4	80	2º
Número de feixes insuficiente para obtenção da densidade máxima	4	5	3	60	3º
Capacidade técnica inadequada e/ou Ausência de treinamento prévio	3	3	3	27	4º
Ausência de procedimentos operacional	3	3	1	9	5º



A Figura 3 mostra o levantamento percentual da distribuição das notas a partir das Matrizes GUT identificados no presente estudo, a partir das Tabelas 1 a 4.

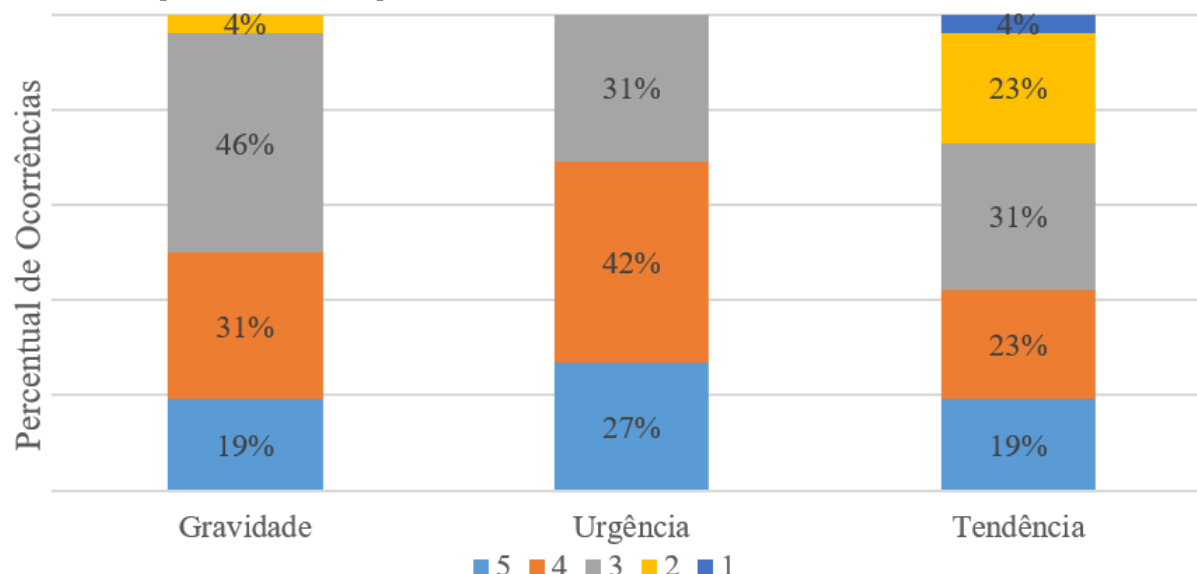


Figura 3. Distribuição das notas a partir das Matrizes GUT identificados no presente estudo (autoria própria).

Com base nas informações apresentadas na Figura 3, nota-se que as falhas são, predominantemente, graves a muito graves, com necessidade de ação urgente (curto prazo), a muito urgente e com tendência a piorar em médio a longo prazo. Ou ainda, extremamente graves, com necessidade de ação imediata e com tendência a piora rapidamente. Assim, as principais falhas operacionais estão relacionadas a: condução da polpa, descarte e captação de água e compactação do UF, confirmando que efetivamente essas são as atividades mais críticas e propensas a falhas na operação.

Dentre as falhas relacionadas com a condução da polpa, nota-se que os pontos críticos responsáveis pelas falhas são: a capacidade técnica inadequada e/ou ausência de treinamento prévio, a falta/falha de inspeções da linha de rejeitos e a matriz de responsabilidade mal-entendida. Esses pontos reforçam a necessidade de que as equipes envolvidas tenham treinamento constante e reciclagem, garantindo que os procedimentos operacionais possam ser validados por técnicos (controle tecnológico) em campo, entendendo a quem recorrer dentro da matriz de responsabilidade na tratativa dos problemas.

Em relação ao descarte e captação de água, nota-se que a insuficiência de recursos hídricos predomina entre as principais falhas. Já para as falhas relacionadas com a compactação, nota-se que a ausência de equipamentos compactadores, ou mesmo a disponibilidade de equipamentos que atendam às especificações técnicas, representa a principal falha, influenciando diretamente no processo de compactação, pela não obtenção do grau de compactação. Indiretamente, essa influência pode se agravar pela ausência de controle tecnológico (trecho fora da umidade ótima e número de feixes insuficientes para obtenção da densidade máxima).

4 Conclusões

O presente trabalho demonstrou que a gestão de processos, através do uso de ferramentas simples para essa finalidade, pode auxiliar na identificação das falhas de processos existentes e principalmente na operação. Entende-se que essa etapa é crítica, por necessitar de maior assertividade e celeridade na tomada de decisão e garantir a estabilidade da estrutura geotécnica e a viabilidade econômica da atividade minerária.

Assim, o planejamento estruturado da fase de operação de uma barragem e a priorização de atividades são benéficos e relevantes para a segurança da estrutura e o controle operacional, garantindo uma operação continuada, apesar de por vezes turbulenta e heterogênea tanto de recursos quanto de pessoal.

Os resultados obtidos servirão como base para um estudo seguinte e podem lastrear a elaboração de procedimentos para a operação de estruturas de disposição de rejeitos de características semelhantes, além de servir para referências em fluxogramas operacionais e cronogramas de manutenções.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Minere (IM) pelo apoio à realização deste artigo por meio da infraestrutura, visita de campo e aulas ministradas através no curso de pós graduação em Geotecnia e Segurança de Barragens e Pilhas, facilitadas através da Faculdade Arnaldo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bittar, R. J. (2006). *Caracterização tecnológica de rejeitos de fosfato e análises da estabilidade da barragem de contenção de rejeitos B5 da Bunge Mineração S. A.* Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 257p.
- Brasil. (2006). Agência Nacional de Águas (ANA). *A gestão dos recursos hídricos e a mineração*. Brasília: ANA; IBRAM.
- Harrington, H.J. (1993). *Aperfeiçoando Processos Empresariais*. Editora Makron Books, São Paulo, SP.
- Instituto Brasileiro de Mineração. (2019). *Guia de Boas Práticas: Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos*. 1.ed. Brasília, DF: IBRAM.144p.
- Jewell, R. J. (1998). *An Introduction to Tailings, Case Studies on Tailings Management*. International Council on Metals and Environment. ICME.
- Meireles, M. (2001). *Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas: organizações com foco no cliente*. Editora Arte & Ciência, São Paulo, SP.
- Vick, S.G. (1983). *Planning, Design and Analysis of Tailings Dams*. John Wiley & Sons, Inc., 369p.