

Evoluções, Lições Aprendidas e Desafios do Maior Processo de Empilhamento de Rejeito Filtrado de Minério de Ferro no Mundo

Letícia Guimarães Cedro

Engenheira Geotécnica, Afiliação, Itabira, Brasil, leticia.cedro@vale.com

Miguel Neto Paganin

Gerente Geral de Geotecnia e Hidrogeologia Itabira, Afiliação, Itabira, Brasil, miguel.paganin@vale.com

Danilo Manata Eloi

Engenheiro Geotécnico, Afiliação, Itabira, Brasil, danilo.eloi@vale.com

Rodney de Andrade Silva

Engenheiro Geotécnico, Afiliação, Itabira, Brasil, rodney.silva@vale.com

Gricor Channakian

Coordenador de Geotecnia, Afiliação, Itabira, gricor.channakian@vale.com

RESUMO: Os incidentes e acidentes envolvendo barragens de rejeito na última década, culminaram na reflexão do modo operacional tradicional da mineração. O uso das barragens vem sendo amplamente desafiado e questionado do ponto de vista social, ambiental e técnico e novas alternativas para a continuidade da mineração se fazem necessárias. O processamento mineral sem a produção de rejeitos ainda não é a realidade da grande maioria dos complexos minerários. Contudo, há um consenso entre as empresas de mineração sobre a necessidade de implementar processos e operações mais sustentáveis e alinhados com a proposta ESG.

O empilhamento de rejeitos filtrados é uma destas alternativas e propostas. Surgiu em função deste desejo das empresas de mineração e face à impossibilidade de licenciamento de novas barragens ou operação das barragens existentes. O processo é relativamente novo e desafiador. O GISTM (Global International Standard Tailings Management) vem sendo utilizado como balizador de boas práticas do processo. Contudo, por exemplo no Brasil, não existe nenhuma legislação vigente atualmente. Além disso, existem os desafios técnicos, sociais e ambientais. Empilhar rejeito filtrado em regiões tropicais como o Brasil, onde o verão é caracterizado por índices pluviométricos elevados, requer rigor e disciplina operacional. A definição e manutenção dos controles tecnológicos também não são triviais, assim como os controles e as condicionantes ambientais e sociais. Contudo, a mineração vivencia franca evolução neste processo ao longo dos últimos anos. O complexo minerário de Itabira, situada na cidade de mesmo nome, completou 80 anos em 2022, sendo as barragens de rejeito estruturas imperativas e necessárias para o empreendimento. No entanto, desde 2022 tem havido mudanças nesse cenário. O complexo minerário de Itabira filtra e empilha 80% de todo o rejeito produzido, com expectativa de atingir patamar de 100% ao longo dos próximos anos. Em massa, corresponde ao maior empilhamento de rejeito filtrado de minério de ferro no mundo, com produção aproximada de 60 mil toneladas por dia. Geograficamente, o complexo minerário apresenta enorme influência social. Este compõe a paisagem da cidade e grande parte das estruturas geotécnicas, incluindo as pilhas de rejeito, fazem limite com o perímetro urbano e em alguns casos são geometricamente limitadas por este.

Este trabalho apresenta as evoluções, lições aprendidas e desafios enfrentados ao longo dos últimos anos no maior processo de empilhamento de rejeito filtrado de minério de ferro no mundo.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeitos, Minério de Ferro, Empilhamento, ESG.

ABSTRACT: The incidents and accidents involving tailings dams over the last decade have led to a rethink of traditional mining operations. The use of tailings dams has been widely challenged and questioned from social, environmental, and technical point of view, and new alternatives for the continuity of mining have become necessary. Mineral processing without the production of tailings is still not the reality for the vast majority of

mining complexes. However, there is a consensus among mining companies about the need to implement more sustainable processes and operations aligned with the ESG proposal.

The stacking of filtered tailings is one of these alternatives and proposals. It has emerged due to this desire of mining companies and in response to the impossibility of licensing new dams or operating existing ones. The process is relatively new and challenging. GISTM (Global International Standard Tailings Management) is being used as a benchmark for best practices in the process. However, in Brazil, for example, there is currently no relevant legislation in force. In addition, there are technical, social, and environmental challenges. Stacking filtered tailings in tropical regions like Brazil, where the summer is characterized by high rainfall rates, requires rigor and operational discipline. The definition and maintenance of technological controls are also not trivial as are environmental and social controls and constraints. However, mining has experienced significant evolution in this process over the last few years.

The Itabira mining complex, located in the city of the same name, celebrated 80 years old in 2022, with tailings dams always been imperative and necessary structures for the enterprise. However, since 2022, there have been changes in this scenario. The Itabira mining complex filters and stacks 80% of all tailings produced, with the expectation of reaching 100% over the next few years. In terms of mass, it represents the largest stacking of iron ore filtered tailings in the world, with an approximate daily production of 60,000 tons. Geographically, the mining complex has a significant social influence. It is part of the city's landscape, and a large part of the geotechnical structures, including the tailings piles, are located on the urban perimeter and in some cases are geometrically limited by it.

This paper presents the developments, lessons learned, and challenges faced over the last few years in the largest process of stacking filtered iron ore tailings in the world.

KEYWORDS: Tailings, Iron Ore, Stacking, ESG.

1 INTRODUÇÃO

Grandes volumes e massas de materiais são extraídos durante as diversas etapas da atividade de mineração. Diversos fatores são determinantes para a quantidade de resíduos que será gerada pela atividade minerária, dentre eles o processo para a extração dos minérios, a profundidade das jazidas e as tecnologias disponíveis nos locais de extração, entre outros. Os principais resíduos na atividade de mineração são os materiais estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais provenientes da atividade de extração, resultantes da retirada das camadas de solo que recobrem o minério a ser lavrado. Os rejeitos por sua vez, resultam do processo de beneficiamento dessas substâncias minerais.

O beneficiamento visa padronizar o tamanho dos fragmentos, remover os minerais sem valor econômico que estejam associados e aumentar a qualidade e a pureza do produto final. Em sua maioria, os minérios encontrados na natureza necessitam de beneficiamento para melhorar as suas propriedades físico-químicas (Luz e Lins, 2018). O objetivo do presente trabalho é expor as evoluções, lições aprendidas e os desafios do maior processo de empilhamento de rejeito filtrado de minério de ferro no mundo, localizado no complexo de Itabira-MG. A Figura 1 apresenta um fluxograma representativo deste processo.

O rejeito, material que provém da separação do minério com o concentrado é composto por partículas muito finas e, em alguns casos, resíduos químicos provenientes da etapa do processo de beneficiamento do minério (IPEA, 2012). Como os rejeitos provêm de uma sucessão de processos físicos e químicos, sua distribuição granulométrica, a formas das partículas e a composição mineralógica são diretamente influenciadas pelo beneficiamento, possuindo características distintas do solo natural (Vick, 1983).

No caso do minério de ferro, a substância de valor econômico explorada é a hematita, sendo esta separada dos demais materiais durante o beneficiamento. A separação do minério de ferro origina rejeitos finos e muito finos (Gomes, 2017). Esses rejeitos podem ser divididos de acordo com a sua granulometria, que pode ser fina (silte e argila) ou grossa (areias). Os rejeitos finos tendem a apresentar características de elevada compressibilidade e plasticidade, sendo materiais de difícil sedimentação. Já os rejeitos de granulometria grossa possuem alta resistência ao cisalhamento e elevada permeabilidade (IBRAM, 2016).

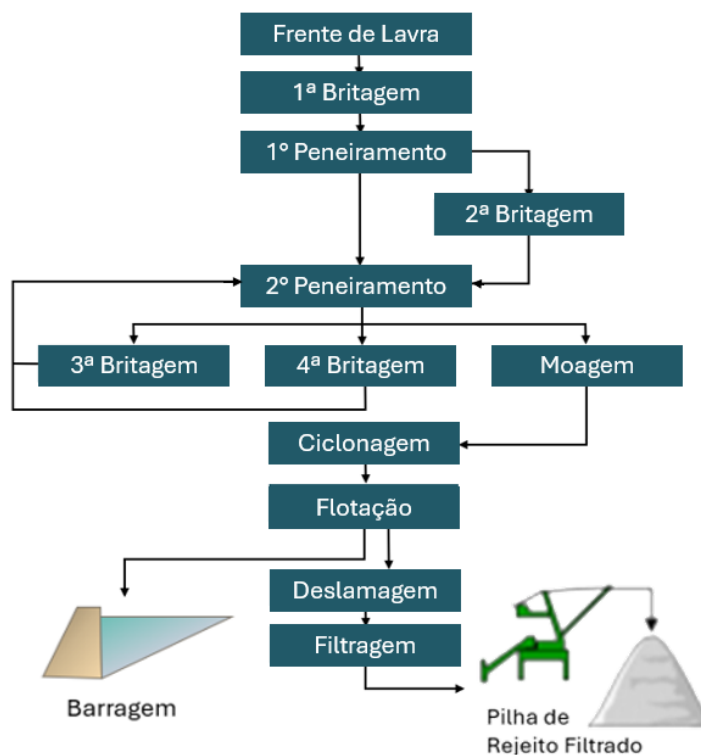


Figura 1. Fluxograma Macro do Processo de Exploração Mineral

2 PROCESSO DE FILTRAGEM DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO

O projeto de filtragem de rejeitos desenvolvido pela Vale S.A. faz parte de um conjunto de iniciativas da empresa que visam a redução inicial e, posteriormente, a completa eliminação da disposição de rejeitos nas barragens, aumentando indiretamente a vida útil das minas e eliminando os altos investimentos em novos reservatórios de rejeitos. A filtragem dos rejeitos permite sua disposição em pilhas exclusivas com rejeitos ou em conjunto com materiais estéreis, sendo esta a melhor alternativa frente ao uso de barragens comumente utilizadas nos projetos de mineração.

No processo de filtragem, a polpa previamente adensada é filtrada e a torta produzida disposta em correias em uma pilha provisória, previa ao transporte para o local de compactação do material. Adicionalmente, o filtrado é reaproveitado como água de processo na usina, reduzindo o consumo do beneficiamento. Este ponto é importante pois, além da dificuldade de licenciamento de barragens, existe também uma dificuldade adicional referente à obtenção de outorga para o uso de recursos hídricos nas atividades minerárias.

Em Itabira, foi implantada a primeira planta de filtragem nas usinas de Conceição, visando eliminar a disposição dos rejeitos arenosos e ultrafinos gerados na usina nas barragens de Itabiruçu e Conceição. O projeto da usina de filtragem de rejeitos de minério de ferro da usina é composto pelas operações unitárias apresentadas Figura 2.

As instalações de filtragem dessa usina tem capacidade de processar até 26,1 milhões de toneladas por ano, quando medido em base seca. Sendo esta uma usina totalmente desenvolvida para o processo Vale S.A., as principais taxas/volume do projeto são:

- taxa nominal rejeito total para a filtragem: 3.41 toneladas/hora base seca;
- massa de rejeito filtrado anual: 26,1 milhões de toneladas base seca;
- massa de rejeito filtrado anual: 30,7 milhões de toneladas com a umidade em 15%.

Os principais equipamentos dimensionados que foram implantados na usina de filtragem de Conceição incluem:

- 160 hidrociclones de 10 pol;
- 24 filtros a disco convencionais de 140m²;
- 1 espessador de lama *High-Density* (65 m de diâmetro);

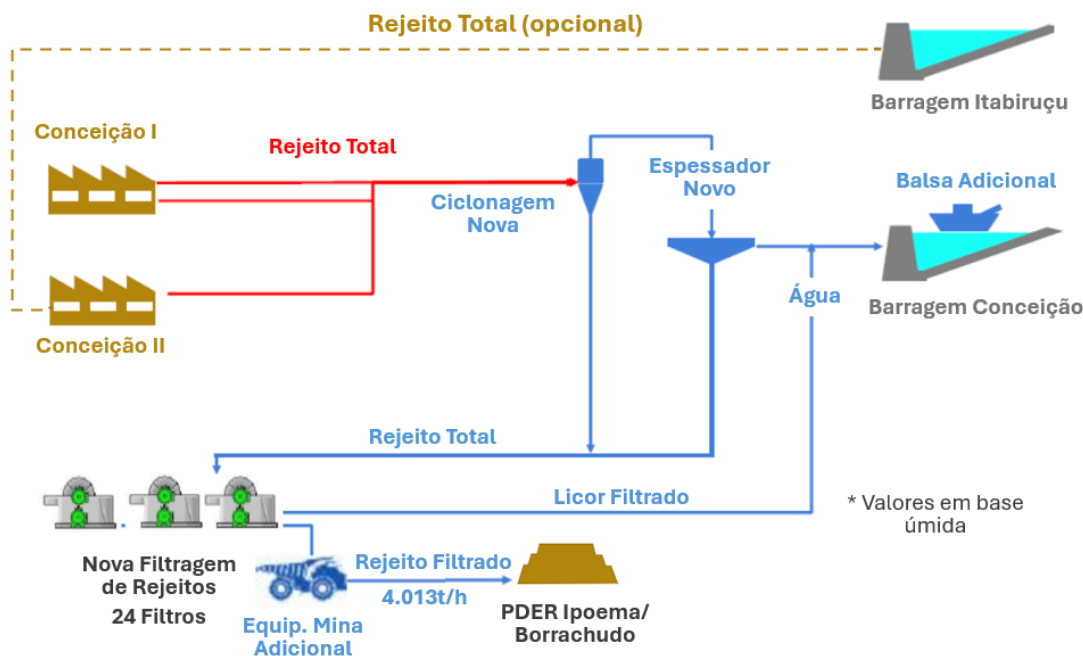


Figura 2. Fluxograma da Filtragem

3 PROCESSO DE EMPILHAMENTO E CONTROLES GEOTÉCNICOS EM ITABIRA

Os empilhamentos de rejeitos podem ser divididos em empilhamentos drenados e não drenados. É relevante destacar que no método de empilhamento drenado tem-se a premissa de ser aplicável somente a rejeitos que apresentem coeficiente de permeabilidade elevado, que permitam assim um fluxo de drenagem estritamente gravitacional e subvertical no interior da pilha. Assim, esse método não é adequado para os rejeitos com elevadas frações finas (OLIVEIRA-FILHO, 2017).

Segundo Davies (2011) no método de disposição de rejeito filtrado, com variações granulométricas de materiais finos e arenosos, o material deixa a planta de filtragem com um teor de umidade que permita o transporte por caminhões ou correias, e que viabilize a posterior deposição no local do empilhamento e compactação do material, visando sempre formar uma pilha densa e não-saturada, erroneamente dita como “dry stack”. Em geral são estruturas autoportante, não necessitando a construção de uma estrutura com a função de retenção do material da pilha. Dependendo das características de umidade e plasticidade do material compactado, pode sim ser necessária a construção de uma estrutura de contenção, ou a disposição de materiais com maior resistência cisalhante e a processos erosivos nas áreas de face. Ainda segundo Davies (2011), apesar da denominação “dry stack”, o rejeito filtrado, em geral, apresenta um valor de umidade.

No complexo de Itabira, a usina de filtragem de Conceição produz rejeitos filtrados com uma umidade variante de 14% a 16%. Estudos acerca da umidade de compactação destes materiais demonstram que os mesmos possuem uma variação na umidade ótima de compactação entre 10% e 12%, sendo assim necessário após transporte e disposição do material na área de empilhamento, o revolver do material com gradeamento e lâminas para uma redução da umidade. A Figura 3 ilustra os ensaios de Proctor nos rejeitos de minério de ferro do complexo Itabira e suas variações de umidade ótima, cabe ressaltar que todos os ensaios de Proctor foram realizados com energia normal.

Visando uma linearidade nas características dos materiais dispostos, ensaios de granulometria a laser e teor de ferro na saída da planta de filtragem são executados diretamente nos materiais que saem da usina, considerando a média ponderada pela massa produzida por hora, acompanhando também o respectivo desvio padrão para cada lote ensaiado. Tais materiais devem estar dentro do range granulométrico, demonstrado na Figura 4 e que apresentam maior estabilidade nos materiais dispostos, bem como com teores de ferro abaixo de 25%, visando evitar pontos de alta densidade na estrutura e assim elevar tensões pontuais.

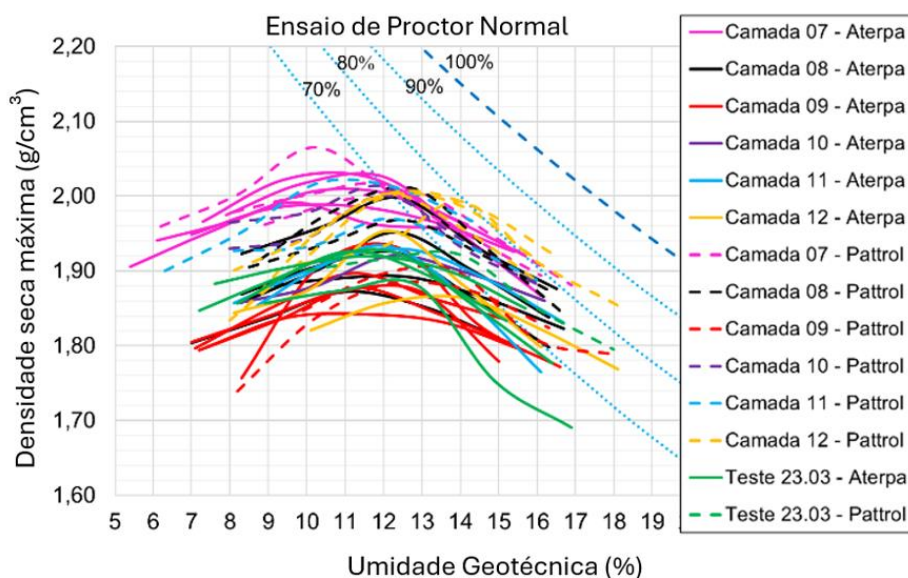


Figura 3. Curvas de compactação dos rejeitos de Itabira

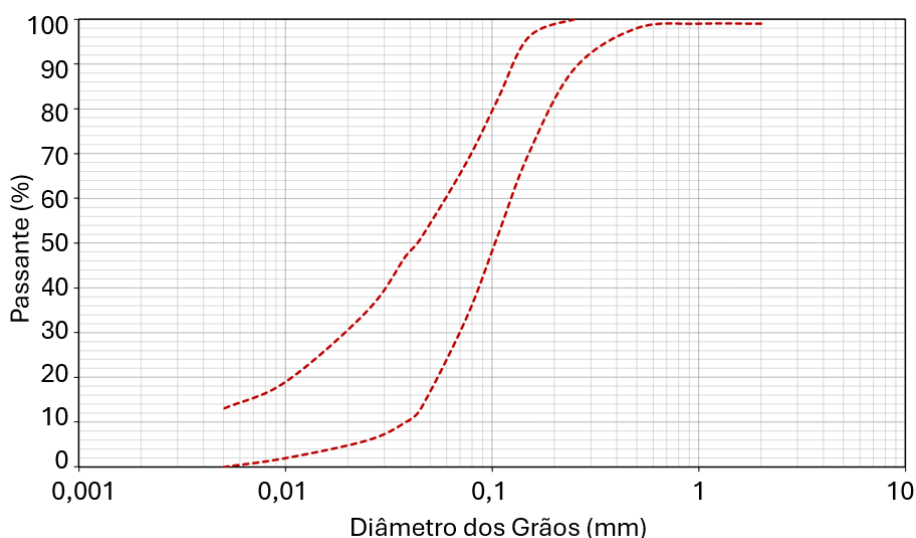


Figura 4. Range granulométrico para aprovação do material para disposição na pilha

Após trabalhar na redução da umidade do material, inicia-se a etapa de compactação com rolos lisos de 12 ou 20 toneladas. Apesar de variar a energia de compactação, devido às diferentes cargas dos rolos, como experiência do empilhamento tem-se a variação no número de passadas nas faixas para atingir o índice de vazios necessário para aprovação das camadas. As grandes variações no teor de ferro do rejeito acarretam diretamente na massa específica do material. Nesse sentido, no processo de empilhamento de Ipoema/Borrachudo, em Itabira, percebeu-se que no trabalhar do material com grau de compactação, obtinham-se valores elevados, acima de 100% em muitos casos, não refletindo assim a energia normal nos ensaios de Proctor.

Visando um controle mais acerto, optou-se por utilizar o índice de vazios como metodologia direta de controle, definindo os limites respectivos ao comportamento dilatante do material, nesse caso, considerando o estado de tensões da pilha em sua maior altura. Desse modo, passou-se a controlar diretamente o estado crítico do rejeito e, indiretamente, o grau de compactação do material. A Figura 5 mostra os ensaios que foram executados na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) para determinação da linha de estados críticos dos rejeitos de Conceição, o quais balizaram as análises do índice de vazios de controle do empilhamento.

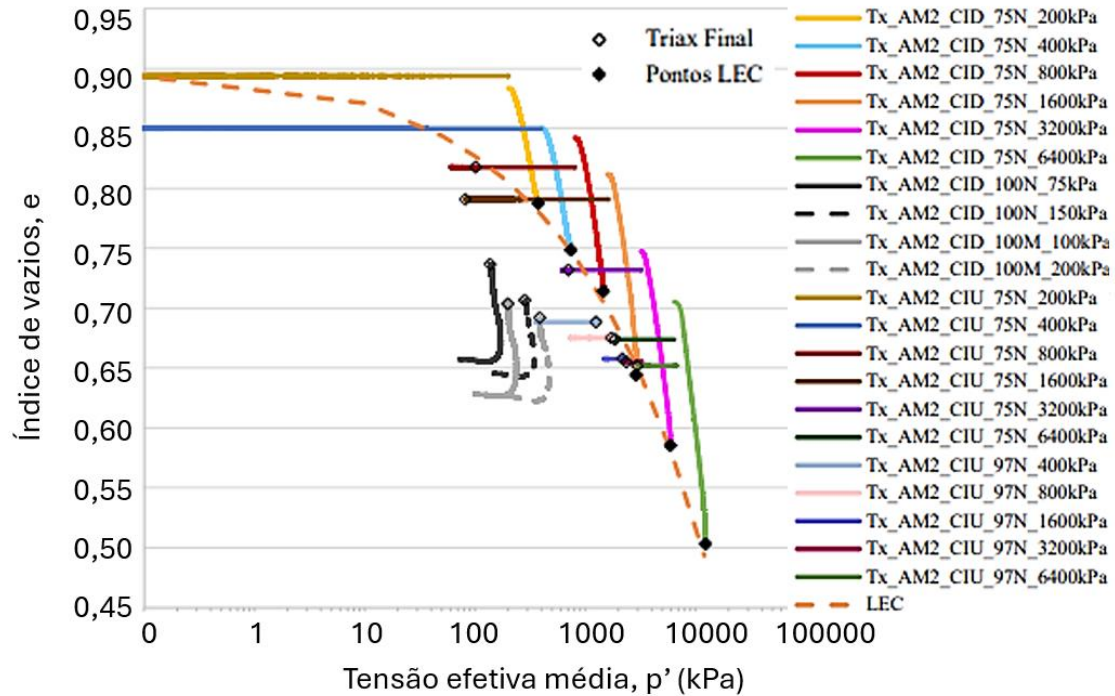


Figura 5. Linha de estados críticos do rejeito de Conceição

Além dos controles geotécnicos citados acima referentes às etapas operacionais, há os controles que visam manter as análises de estabilidade e dos fatores de segurança atualizados, esses são realizados através de instrumentações instaladas e alteadas em concomitante com o empilhamento. A Figura 6 apresenta as instrumentações previstas para a pilha de rejeitos de Ipoema/Borrachudo incluindo, 50 marcos superficiais, 19 inclinômetros, 20 placas de recalque, 30 células de pressão, 60 piezômetros, 1 indicador de nível de água e 1 medidor de vazão, dentro de uma área final de aproximadamente 27 hectares.

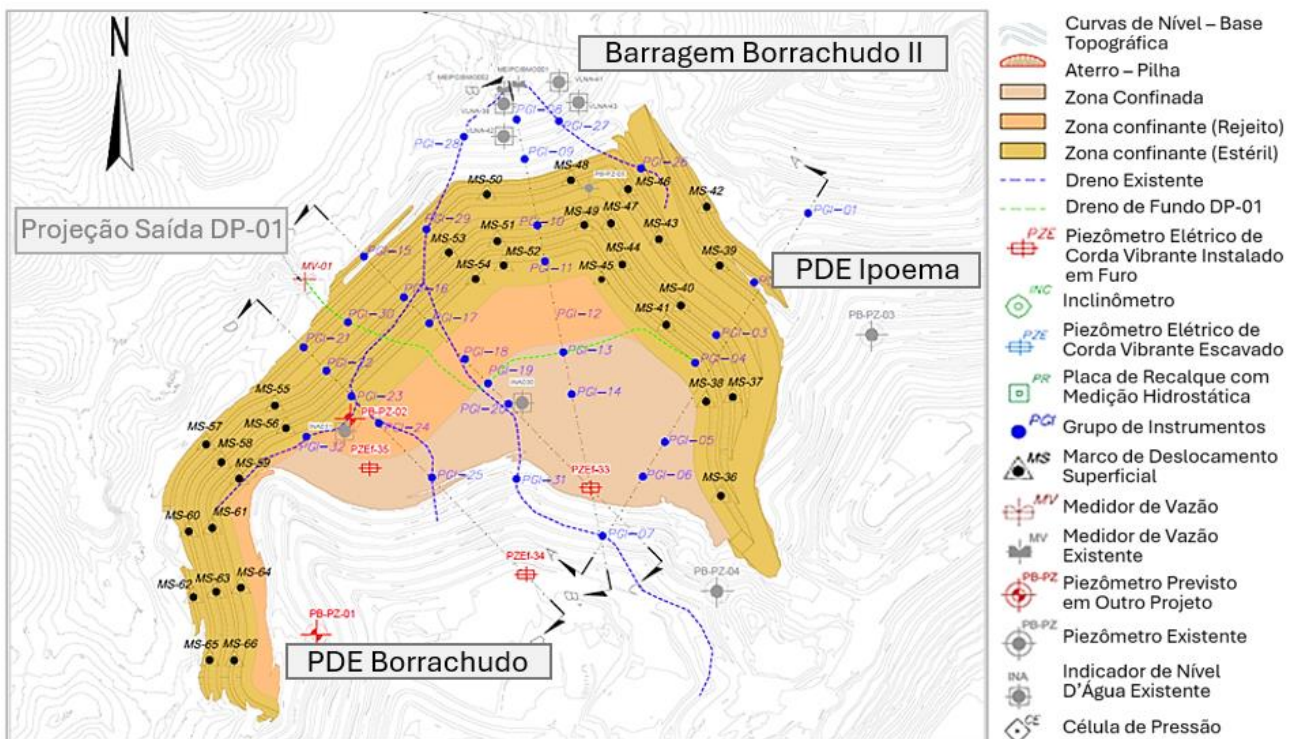


Figura 6. Instrumentos na pilha Ipoema/Borrachudo

4 CONCLUSÕES

Dentre os desafios do processo de empilhamento, destacam-se a necessidade de controle e rastreabilidade dos ensaios geomecânicos executados e o controle operacional acerca dos trabalhos nas camadas do empilhamento. Para isso, a Vale S.A. desenvolveu o sistema GRM de controle do empilhamento onde divide-se em baias as áreas operacionais, conforme a Figura 7 para melhor sinergia entre as equipes de controle tecnológico e operação de empilhamento e contratou o *software* Geolabor que utiliza a ferramenta para execução de ensaios e arquivamento digital de informações.

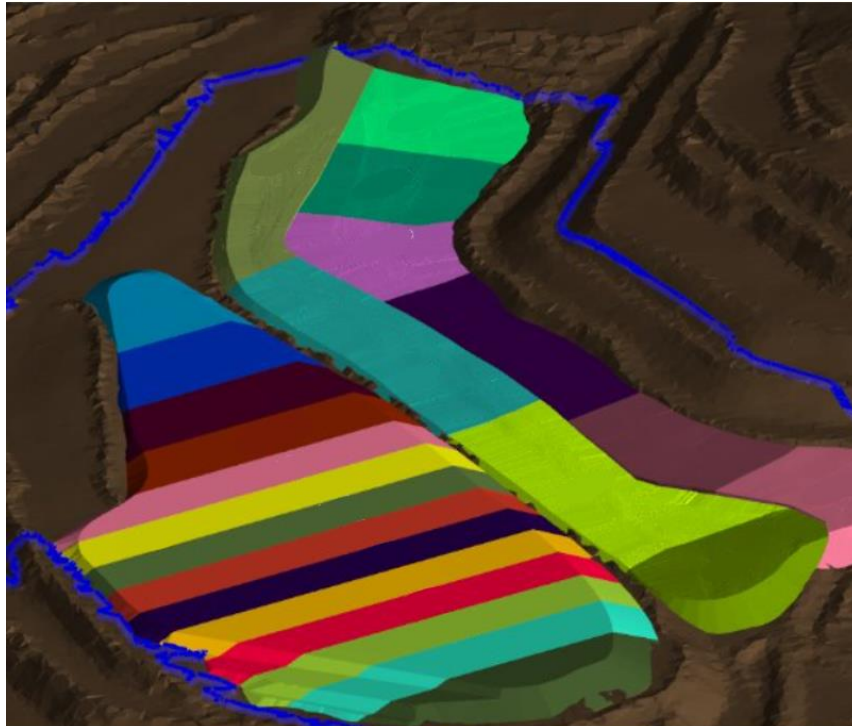


Figura 7. Divisão de baias operacionais no software GRM.

Outro desafio operacional era o controle topográfico, necessário para o controle entre baias e de espessura das camadas, que deve estar com espessura entre 30cm e 35cm após compactação. A implementação do sistema Terrain nos equipamentos que controlam o espalhamento e regularização das camadas foi capaz de superar tal desafio. Devido às variações sazonais, controle de drenagens superficiais nos períodos chuvosos deve ser implantado de forma operacional, com drenos provisórios, escadas dissipadoras e limpeza das bacias de contenção de sedimentos. Nos períodos de seca, o controle de umectação por meio de caminhões pipa, a utilização de polímeros e a cobertura vegetal concomitante ao empilhamento, ajudam a reduzir impactos devido a pulverulência do material fino.

No entanto, o projeto de filtragem de rejeitos da Vale S.A., implantado no complexo de Itabira-MG, exemplifica a implantação de uma pilha de rejeito compactado. Este processo não apenas reduz o impacto ambiental, mas também aumenta a eficiência no uso dos recursos hídricos e a vida útil das minas. A implementação de tecnologias avançadas de filtragem e compactação, aliadas a rigorosos controles geotécnicos, demonstra a viabilidade de um gerenciamento mais seguro e eficaz dos rejeitos. Contudo, os desafios operacionais, como a variação de umidade e granulometria dos materiais, exigem contínuo aprimoramento das técnicas e monitoramento para garantir a estabilidade e segurança das estruturas.

5 REFERÊNCIAS

- Davies, M. P. (2011) Filtered Dry Stacked Tailings - The Fundamentals. Disponível em: . Acesso em 2019.
- Gomes, A. C. (2017) Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais / UFMG.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração. Brasília: IBRAM 2016. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00006222.pdf>

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnostico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas. (2012). Brasília.. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7702/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf

Luz, A. B; Lins, F. A. F. (2018) Introdução ao Tratamento de Minérios. In: Adão Benvindo da Luz; João Alves Sampaio; Sílvia Cristina A. França (Org.). Tratamento de Minérios. 6 ed. CETEM, v. 1, p. 3 -6.

Filho, W. L. O. (2017) Manejo de Estéreis e de Rejeitos de Mineração. Notas de aula. MIN741. Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

Vick, S. G. (1983) Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams. Wiley.