

Inovações na Gestão de Dados Geotécnicos Gerados na Construção de Pilhas e Barragens, Utilizando o Geolabor

Bianca Mendes de Lacerda

Engenheira Civil, Simplelab Tecnologia, Belo Horizonte, Brasil, bianca.lacerda@simplelabtech.com.br

Samir Chequer Chammas

CEO, Simplelab Tecnologia, Belo Horizonte, Brasil, samir@simplelabtech.com.br

Tadeu Henrique Oliveira de Castro

Engenheiro Civil, Chammas Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, tadeu@chammas.com.br

RESUMO: A importância da inovação vem ganhando destaque no setor da mineração, em busca por novas tecnologias que aumentem e garantam, cada vez mais, a segurança das construções. O Geolabor é um software de gerenciamento de dados geotécnicos em constante desenvolvimento, que busca por evolução diariamente, sendo pioneiro na implementação de diferentes metodologias inovadoras na prática da geotecnia. Nesse artigo, serão apresentados alguns dos desenvolvimentos realizados, que contribuem para a conformidade das obras de pilhas e barragens. Será abordado sobre os módulos 3D e estatístico, que estão em desenvolvimento no Geolabor, e sobre uma metodologia já implementada no sistema, que garante que as especificações técnicas de projeto sejam cumpridas em toda a extensão da obra, analisando o atendimento à frequência de ensaios e a representatividade dos dados – que será o foco deste artigo. As implementações que serão realizadas no Geolabor têm como objetivo alertar o usuário sobre possíveis pontos de atenção e sugerir análises críticas mais aprofundadas em determinadas localizações. Será apresentado um estudo de caso, comparando a atual metodologia prática para análise do cumprimento dos critérios técnicos que relacionam a quantidade de ensaios necessários por volume de construção, com a implementada no Geolabor. O resultado comprova a eficiência deste projeto, mostrando que uma obra com mais de 100% de aderência às especificações técnicas pode apresentar uma aceitação real reduzida em mais de 30%, ao ser calculada a partir da nova metodologia.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de Dados Geotécnicos; Inovação; Geotecnia na Mineração; Pilhas e Barragens; Geolabor.

ABSTRACT: The importance of innovation has been gaining prominence in the mining sector, as it seeks new technologies to increase and ensure the safety of constructions. Geolabor is a geotechnical data management software in constant development, striving for evolution daily, and pioneering the implementation of different innovative methodologies in geotechnical practice. This article will present some of the developments made, contributing to the compliance of piles and dams constructions. It will cover the 3D and statistical modules, currently under development in Geolabor, and a methodology already implemented in the system, ensuring that project technical specifications are met throughout the entire construction, analyzing compliance with test frequency and data representativeness - the focus of this article. The implementations in Geolabor aim to alert users to possible points of concern and suggest more in-depth critical analyses in certain locations. A case study will be presented, comparing the current practical methodology for analyzing compliance with technical criteria related to the required number of tests per construction volume, with that implemented in Geolabor. The result confirms the efficiency of this project, showing that a construction with over 100% adherence to technical specifications may have a reduced actual acceptance by over 30%, when calculated using the new methodology.

KEYWORDS: Geotechnical Data Management; Innovation; Geotechnics in Mining; Stacks and Dams; Geolabor.

1 INTRODUÇÃO

Vivendo no mundo da tecnologia, o tema de inovações vem ganhando espaço nos mais diversos setores de trabalho. A mineração no Brasil passou por avanços significativos ao longo dos anos, principalmente se em questões de organização e legislação (Catapreta, 2018). Na geotecnia, um dos maiores desafios da mineração está na disposição dos rejeitos, e a responsabilidade de buscar por novas técnicas e metodologias que garantam construções mais seguras, eficientes e menos danosas ao meio ambiente é cobrada diariamente não só pela necessidade de evolução, mas, também, pela sociedade (Alves, 2020).

O controle tecnológico é o processo que garante que as especificações técnicas de projeto sejam cumpridas ao longo da construção. A importância deste processo atualmente é destacada no mercado e na literatura, sendo a sua ausência apontada por Freitas, *et al.* (2015) como uma das principais causas de acidentes de barragens no mundo. A realização de uma criteriosa supervisão e de análises críticas para tomadas de decisão durante toda a obra são essenciais para garantia da qualidade e veracidade dos resultados obtidos ao longo da execução dos ensaios geotécnicos e de todo o processo do controle tecnológico.

O Geolabor é um sistema de gerenciamento de dados geotécnicos voltado para pilhas e barragens que otimiza e aprimora todo o processo de controle das construções. Sendo pioneiro em diversas metodologias inovadoras no setor da mineração, o Geolabor está em um processo constante de evolução e busca por inovações que beneficiem a prática da geotecnia (de Lacerda e Chammas, 2023). Nesse sentido, foi desenvolvido e implementado o primeiro modelo tridimensional interativo, automatizado e atualizado em tempo real, sem a necessidade de conhecimento do usuário em modelagem ou programação, completamente voltado para a gestão de dados do controle tecnológico (de Lacerda e Chammas, 2022).

Além da importância de se trabalhar com um sistema de gerenciamento de dados otimizado, das inovações na gestão dos dados do controle tecnológico e na modelagem tridimensional, também é possível destacar como tema de inovação que está sendo desenvolvido no Geolabor o módulo estatístico. Na geotecnia, existem incertezas nas propriedades dos solos, associadas a diversas possibilidades, como a medição dos parâmetros, execução dos ensaios ou condições de campo (Flores, 2008). A prática das análises estatísticas na geotecnia está em crescimento, mas ainda apresenta uma abordagem restrita, apesar de sua importância (Ferreira, 2022). Dessa forma, o módulo estatístico tem como objetivo tratar, de forma automatizada e interpretável, os parâmetros geotécnicos como variáveis aleatórias, em vez de determinísticos, servindo como suporte para análises críticas e tomadas de decisões.

Neste artigo, o principal objetivo é destacar mais um tópico de inovação na prática da geotecnia, tendo como foco alertar e modificar a forma de interpretação e verificação das especificações técnicas de projeto no controle tecnológico de obras de pilhas e barragens. Será apresentado um estudo de caso que foi realizado utilizando o Geolabor, descrevendo os resultados da aplicação de uma metodologia inovadora para o controle e aplicação das especificações técnicas na construção. A partir de dados reais de uma estrutura finalizada, que foi construída com base em um exigente controle tecnológico, será realizada uma comparação entre os resultados obtidos pela atual metodologia de verificação da relação entre ensaios necessários e executados por volume compactado, com a metodologia proposta neste trabalho.

2 METODOLOGIA

A metodologia proposta tem como principal objetivo garantir a representatividade dos ensaios executados ao longo da obra, com relação à frequência exigida pela especificação técnica de projeto. Um dos critérios comuns na construção de pilhas e barragens é aquele que especifica a quantidade de ensaios que devem ser executados por um determinado volume de material compactado. Atualmente, o cumprimento desta exigência é verificado a partir da relação entre ensaios totais realizados por volume acumulado total, para cada praça de construção. Levando em consideração uma área que possui 6 camadas compactadas, com uma especificação técnica onde é necessário 1 ensaio de HILF (ensaio de compactação pelo método de HILF) a cada 800m³ de material compactado, além de exigir que seja realizado ao menos 1 ensaio de HILF por camada, a Figura 1 apresenta um exemplo fictício, representando o controle desta suposta área, a partir da análise atual, por volume acumulado total.

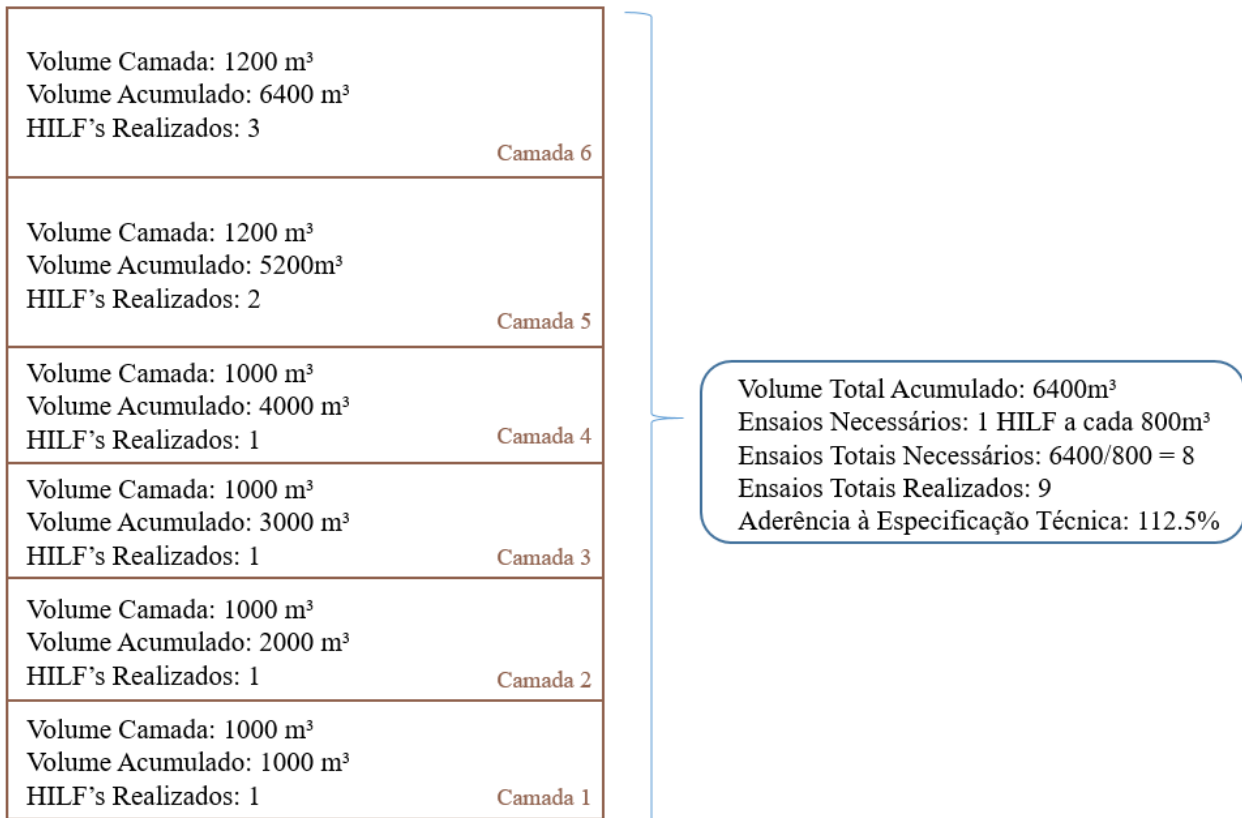


Figura 1. Representação esquemática da realização do controle de especificação técnica a partir do volume acumulado, metodologia prática atual.

No exemplo da Figura 1, é apresentada uma praça de construção onde foram construídas 6 camadas, com um volume total de material compactado de 6400m³. De acordo com a especificação técnica informada, é necessária a realização de um ensaio de HILF a cada 800m³ compactados. Analisando a proporção entre o volume total lançado com o intervalo de volume necessário para a realização de um ensaio, tem-se a quantidade de 8 ensaios totais necessários. Tendo sido realizados 9 ensaios, a partir da metodologia atual, que considera um conjunto de camadas compactadas para posterior verificação do atendimento à especificação técnica, a aderência final calculada é de 112.5%.

Ao realizar as análises de aderência à especificação técnica conforme a atual metodologia, é considerado, apenas, o montante total construído, não sendo o processo de construção completamente analisado. Acompanhando a evolução cronológica da obra, ao chegar na Camada 4, tem-se um volume parcial acumulado de 4000m³. Sendo necessário realizar 1 ensaio de HILF a cada 800m³, nesse momento, já deveriam ter sido executados, pelo menos, 5 ensaios – o que não ocorre. Sendo assim, é possível observar que existe uma faixa de volume compactado que não está de acordo com a especificação técnica nessa obra.

Neste exemplo, é constatado que os ensaios realizados, mesmo em quantidade excessiva, não são representativos para todo o volume compactado, apesar da metodologia atual de controle informar aderência ao que foi especificado. Tendo em vista a problemática apresentada, foi desenvolvida uma nova forma de avaliar o cumprimento da especificação técnica para este tipo de controle, levando em consideração toda a extensão e evolução da obra, de forma a garantir a representatividade dos ensaios realizados ao longo da construção.

O conceito de “Faixas” foi criado para fazer este acompanhamento criterioso, de forma que o intervalo gerado para cada Faixa é o mesmo do que o volume especificado por ensaio. Ou seja, no exemplo onde seria necessário 1 ensaio de HILF a cada 800m³, as Faixas para avaliar a aderência deste ensaio à especificação técnica serão incrementadas de 800 em 800m³, sendo representadas por “0 – 800”, “800 – 1600”, e assim por diante. A Figura 2 apresenta o mesmo exemplo da Figura 1, agora avaliado pela metodologia por Faixas.

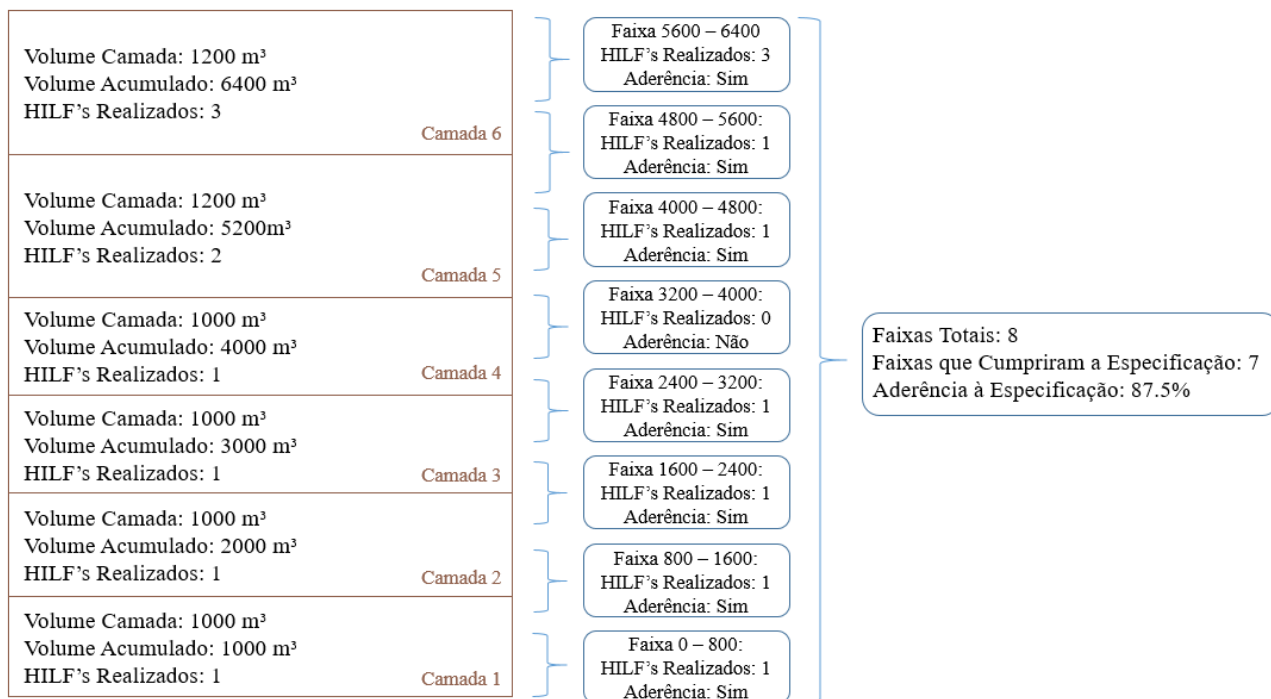


Figura 2. Representação esquemática da realização do controle de especificação técnica a partir da metodologia por faixas, proposta neste artigo

O exemplo apresentado na Figura 2 possui as mesmas quantidades de camadas, volumes compactados e ensaios realizados, sendo a única diferença, a forma de acompanhar a aderência à especificação técnica de projeto. Analisando os resultados da Figura 2, é possível observar que a metodologia por Faixas tem a capacidade de identificar que, ao chegar em 4000 m³, não haviam sido realizados 5 ensaios, como seria necessário. Cada ensaio que foi realizado nas camadas numeradas de 1 a 4 são alojados nas quatro primeiras Faixas, que contemplam o volume acumulado de 0 a 3200 m³. Nesta nova forma de interpretação dos resultados, automatizada no Geolabor, ao compactar a Camada 4, o engenheiro responsável seria informado no relatório da camada, emitido automaticamente pelo sistema, que devem ser realizados 2 ensaios de HILF nesta camada para que a especificação técnica seja cumprida na sua respectiva Faixa.

No momento em que não é realizado um segundo ensaio na Camada 4, tendo em vista que o volume acumulado final desta camada já alcançou o limite superior da Faixa em análise (4000m³), o sistema entende que não existe mais a possibilidade de ser realizado um ensaio dentro deste intervalo, para que se cumpra com o critério da especificação técnica. Se, em vez da Camada 4 possuir 1000m³, esta tivesse, por exemplo, 800m³ de volume compactado, a metodologia iria manter em aberto a análise para a Faixa de 3200 – 4000 até a compactação da camada seguinte, uma vez que o limite máximo de volume da Faixa ainda não teria sido atingido e um ensaio executado na Camada 5 ainda estaria dentro deste intervalo, cumprindo com a especificação. Dessa forma, mais de uma camada pode contemplar uma mesma faixa, assim como uma mesma camada pode pertencer a mais de uma faixa, garantindo que a análise será realizada com base no volume compactado real, acompanhando toda a construção.

A metodologia por Faixas implementada é válida para quaisquer ensaio e volumes especificados, e pode ser, também, estendida para outros tipos de critério de especificação técnica de projeto, como por elevação ou área acumuladas, seguindo a mesma lógica utilizada para o critério por volume acumulado. O resultado final apresentado é, para cada praça de construção, a relação da aderência de cada faixa, a quantidade de ensaios que foram realizados além do necessário, e a aderência total, que é calculada a partir da Equação 1 a seguir.

$$Aderência\ Total = \frac{Quantidade\ de\ Faixas\ que\ aderiram\ à\ especificação}{Quantidade\ total\ de\ Faixas} \quad (1)$$

3 ESTUDO DE CASO

A fim de verificar a eficiência da metodologia por Faixas, desenvolvida e implementada no Geolabor, foi realizado um estudo de caso utilizando dados reais, cadastrados no sistema. A Tabela 1 apresenta, além do volume total acumulado de material compactado, a relação das especificações técnicas para cada praça de construção.

Tabela 1. Especificação técnica para as praças de construção que serão analisadas.

Praça de Construção	Volume Total Acumulado (m ³)	Ensaio*					
		HILF (m ³)	GPS (m ³)	MES (m ³)	CPN (m ³)	LL/LP (m ³)	w (m ³)
A	19019	800	2000	-	-	-	-
B	7180	800	2000	2000	2000	2000	2000
C	53285	800	2000/5000	2000/5000	2000/5000	2000/5000	2000/5000
D	18096	800	2000	2000	2000	2000	2000
E	205344	800	5000	5000	5000	5000	5000

*Onde:

GPS – Granulometria por Peneiramento e Sedimentação;
 MES – Massa Específica dos Grãos; CPN – Proctor Normal;
 LL/LP – Limites de Atterberg;
 w – Teor de Umidade

Na Tabela 1 é possível observar quais ensaios são necessários de serem realizados para cada praça de construção, assim como a cada quantos metros cúbicos de camada compactada, ao menos um determinado ensaio deverá ser executado. Na praça de construção C houve uma alteração na especificação técnica ao longo da obra, o que também é levado em consideração, automaticamente, nos cálculos da metodologia por Faixas. A Tabela 2 a seguir apresenta o resumo dos resultados, comparando as metodologias atual (por volume total) e a metodologia implementada (por Faixas), para cada praça e ensaio, especificados na Tabela 1.

Tabela 2. Resultados da análise do cumprimento das especificações técnicas de projeto para os ensaios exigidos, a partir da metodologia por volume total acumulado (atual) e metodologia por faixas (proposta), com destaque para os resultados mais críticos em cada ensaio analisado.

Praças de Construção	Total Executado	Total Necessário	Ensaio a Mais	Aderência Vol. Total	Aderência Faixas
HILF					
A	62	24	38	258%	100%
B	37	9	28	411%	100%
C	87	67	20	130%	93%
D	34	23	11	148%	100%
E	213	257	-44	83%	74%
GPS					
A	5	10	-5	50%	50%
B	8	4	4	200%	100%
C	18	18	0	100%	78%
D	10	10	0	100%	70%
E	33	42	-9	79%	64%

MES					
A	-	-	-	-	-
B	7	4	3	175%	100%
C	19	18	1	105%	83%
D	10	10	0	100%	70%
E	33	42	-9	79%	64%
CPN					
A	-	-	-	-	-
B	9	4	5	225%	100%
C	17	18	-1	94%	78%
D	10	10	0	100%	70%
E	31	42	-11	74%	62%
LL/LP					
A	-	-	-	-	-
B	8	4	4	200%	100%
C	20	18	2	111%	83%
D	10	10	0	100%	70%
E	33	42	-9	79%	64%
w					
A	-	-	-	-	-
B	2	4	-2	50%	50%
C	10	18	-8	56%	56%
D	8	10	-2	80%	70%
E	11	42	-31	26%	19%

Analisando os resultados apresentados na Tabela 2, é possível observar que existe uma queda considerável da aderência que relaciona a quantidade de ensaios necessários por ensaios executados para todas as exigências, na maioria das praças de construção analisadas. É verificado que existe, principalmente para o ensaio de HILF, uma quantidade excessiva de ensaios sendo realizados, que poderia ser reduzida ao realizar o acompanhamento da obra a partir da metodologia desenvolvida, uma vez que esta apresenta, a cada camada compactada, a quantidade de ensaios necessários para o cumprimento da especificação técnica.

Observa-se, também, que, mesmo quando a aderência por volume total acumulado é superior a 100%, a aderência real para toda a extensão da obra e representação dos ensaios ainda pode ser inferior a 100%. A variação das aderências calculadas chega em até 30%, na Praça D para os ensaios MES, CPN e LL/LP, destacando a importância do estudo de caso realizado. Ao longo de uma construção, existe uma margem de aderência considerada aceitável, porém, percebe-se que, em algumas praças onde a aderência já seria inferior a 100%, esta pode cair ainda mais, quando analisada pela metodologia por Faixas. Dessa forma, praças como a E, poderiam estar saindo da margem aceitável, devido à redução considerável apresentada, sendo mais um ponto de atenção e destaque para a importância da metodologia implementada.

A partir desta nova análise, sempre que os critérios da especificação técnica forem cumpridos em 100%, eles também vão estar sendo cumpridos em 100% ao realizar o acompanhamento com base no volume total acumulado, prática atual. Dessa forma, a implementação desta metodologia no dia a dia da obra não afeta negativamente o desempenho ou a rotina dos engenheiros e gestores responsáveis, possuindo apenas vantagens a serem destacadas. Além disso, as limitações que podem existir para a realização da análise a partir desta nova metodologia são as mesmas já existentes para a metodologia por volume total, como, por exemplo, existir o registro e controle do volume compactado por camadas.

4 CONCLUSÕES

O estudo de caso realizado neste artigo verifica a notória relevância da metodologia desenvolvida para a geotecnia da mineração, uma vez que esta garante a representatividade dos ensaios realizados ao longo de toda a construção, além de facilitar as tomadas de decisão no controle tecnológico e poder ser utilizada como forma de evitar a realização excessiva de ensaios que não são especificados em projeto. A metodologia por faixas discutida é uma inovadora forma de interpretar a especificação técnica de projeto e realizar o controle tecnológico na construção de pilhas e barragens, apresentando diversos pontos de melhoria no dia a dia da obra. Para trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados novos estudos de caso com diferentes conjuntos de dados, além de incentivar a utilização prática da metodologia como uma forma de mitigar possíveis inconsistências da prática com o projeto de construção.

A integração da metodologia desenvolvida no Geolabor automatiza todas as análises, apresentando os resultados de aderência e a relação entre a quantidade de ensaios realizados e ensaios necessários, diretamente nos relatórios de área e camada, respectivamente. A utilização prática da metodologia por faixas não apresenta nenhum tipo de malefício a nenhum setor de engenharia envolvido na construção de pilhas e barragens, sendo completamente vantajoso na rotina dos colaboradores e na garantia de qualidade da construção. O Geolabor segue desenvolvendo e implementando inovações no setor da geotecnia, visando a realização de um controle tecnológico mais rigoroso e cada vez mais confiável, com resultados que representem a realidade da obra da melhor forma possível.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio e suporte de toda a equipe da SimpleLab Tecnologia, que dispôs das informações necessárias para preparo e formalização do estudo de caso apresentado neste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, P. I. A. (2020). Empilhamento de rejeito filtrado: a expansão de uma alternativa para substituição de barragens. Disponível em: <https://repositorio.ufop.br/>. Acesso em: 22/03/2024
- Catapreta, S. H. F. (2018). As ICTS, as parcerias público-privadas e a inovação na mineração: estudo de caso da Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/>. Acesso em: 22/03/2024.
- de Lacerda, B. M. and Chammas, S. C. (2023) – A Importância da Gestão de Dados Geotécnicos em Obras de Pilhas e Barragens de Rejeitos. SNGB, Dams Week, Foz do Iguaçu. Disponível em: codb-web/
- de Lacerda, B. M., Chammas, S. C. (2022) – Gestão Tridimensional Interativa de Dados do Controle Tecnológico para Pilhas e Barragens. Em: Anais do XX COBRAMSEG, Campinas. Disponível em: cobramseg-2022/
- Ferreira, P. M. (2022) – “Avaliação da confiabilidade do fator de segurança obtido por análise probabilística em relação à análise determinística em barragens de mineração“. Disponível em: monografias.ufop.br/
- Flores, E. A. F. (2008). Análises probabilísticas da estabilidade de taludes considerando a variabilidade espacial do solo. PUC-Rio. Rio de Janeiro
- Freitas, C. M., Silva, M.A., Menezes, F.C. (2015) – “O desastre na barragem de mineração da Samarco: Fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres”. Cienc Cult (São Paulo); 68:25-30.