DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/11

Aplicação do Penetrômetro Dinâmico Leve na avaliação geotécnica de acessos sobre leiras defletoras em barragem de rejeitos

Luana Eduarda Avelino Ribeiro
Engenheira Geotécnica, VALE SA, Minas Gerais, Brasil, luana.eduarda@vale.com

Lorenna Bruna Souza Leão
Engenheira Geotécnica, VALE SA, Minas Gerais, Brasil, lorenna.leao@vale.com

Andre Gonçalves de Azevedo
Engenheira Geotécnico, VALE SA, Minas Gerais, Brasil, andre.azevedo1@vale.com

Pedro Henrique Candido Correa
Engenheiro Geotécnico, Chammas Engenharia, Minas Gerais, Brasil, pedro.correa@chammas.com.br

RESUMO: O manejo de reservatórios de barragens de rejeitos exige controle contínuo da ocupação e da evolução geométrica ao longo da operação. Entretanto, o aporte de sedimentos externos provenientes de cavas, canais de drenagem e estruturas adjacentes pode diminuir a capacidade útil do reservatório e prejudicar o planejamento operacional. Nesse cenário, a construção de leiras defletoras surge como alternativa para otimizar as operações de dragagem, direcionar fluxos de sedimentos e aumentar a eficiência. A segurança geotécnica durante a implantação, operação e manutenção dessas estruturas é essencial. Este trabalho apresenta um estudo de caso de uma barragem de rejeitos com cerca de 11,2 milhões de m³, composta por dez braços, sendo que um deles sofreu assoreamento significativo devido ao aporte de material de estruturas a montante. Para restabelecer a eficiência operacional e permitir o avanço seguro das frentes de dragagem, construíram-se leiras defletoras com auxílio de equipamento anfíbio não tripulado, criando acessos internos no reservatório. Para validar a capacidade de suporte desses acessos sobre leiras e garantir segurança às intervenções, realizaram-se investigações geotécnicas com Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL). De posse dos resultados dos ensaios no rejeito foi possível indicar os trechos adequados para o tráfego de equipamento com segurança durante as operações de dragagem.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem de rejeitos, dragagem, leiras defletoras, segurança geotécnica, Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL).

ABSTRACT: The management of tailings dam reservoirs requires continuous control of occupancy and geometric evolution throughout operation. However, the inflow of external sediments from pits, drainage channels, and adjacent structures can reduce the reservoir's useful capacity and impair operational planning. In this context, the construction of deflector berms emerges as an alternative to optimize dredging operations, direct sediment flows, and increase efficiency. Geotechnical safety during the installation, operation, and maintenance of these structures is essential. This study presents a case of a tailings dam with approximately 11.2 million m³, consisting of ten arms, one of which suffered significant siltation due to sediment input from upstream structures. To restore operational efficiency and allow the safe advancement of dredging fronts, deflector berms were built with the support of an unmanned amphibious vehicle, creating internal access routes within the reservoir. To validate the bearing capacity of these access routes over stockpiles and to ensure safe working conditions during the interventions, geotechnical investigations were carried out using a Light Dynamic Cone Penetrometer (LDCP). Based on the test results obtained in the tailings material, it was possible to identify the sections suitable for the safe movement of equipment during dredging operations.

KEYWORDS: Tailings dam, dredging, deflector berms, geotechnical safety, Light Dynamic Cone Penetrometer (LDCP).

1 INTRODUÇÃO

Dada a topografia de determinadas barragens de rejeitos, é comum a ocorrência de aportes externos de sedimentos provenientes de cavas, canais de drenagem e outras estruturas adjacentes, reduzindo a capacidade útil do reservatório e impactando seu planejamento operacional. Nesse contexto, o monitoramento contínuo e a adoção de medidas de controle são fundamentais para garantir a segurança e a funcionalidade dessas estruturas ao longo de sua vida útil (Silva et al., 2023).

Entre as alternativas utilizadas para o gerenciamento de sedimentos, destacam-se as leiras defletoras, que permitem direcionar fluxos sedimentares, otimizar operações de dragagem e aumentar a eficiência operacional do reservatório. Entretanto, sua implantação, manutenção e remoção exigem a definição de condições seguras de operação, fundamentadas no conhecimento das características geotécnicas dos materiais constituintes.

A avaliação dessas condições depende da estimativa de parâmetros de resistência do material, como coesão e ângulo de atrito, obtidos por meio de ensaios de campo e laboratório ou por correlações geotécnicas consolidadas (Filho, 2010). Entre os métodos de investigação in situ, destaca-se o Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL), amplamente empregado pela simplicidade operacional e pela possibilidade de caracterizar o perfil estratigráfico superficial e estimar, de forma indireta, a resistência e a capacidade de suporte dos materiais investigados (Sanglerat, 1972).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de utilização de um acesso implantado sobre leiras defletoras em uma barragem de rejeitos do Quadrilátero Ferrífero para o tráfego de caminhões rodoviários.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Penetrômetro Dinâmico Leve

O Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL) é um ensaio de penetração dinâmica contínua sem recuperação de amostras, cuja interpretação se baseia no número de golpes necessários para a cravação da ponteira. Seus resultados permitem identificar mudanças estratigráficas e estimar parâmetros geotécnicos por correlações empíricas (Almeida, 2023).

Para estimar a resistência de ruptura à ponteira do penetrômetro dinâmico leve R_d, faz-se uso da fórmulação holandesa apontada por Sanglerat (1972):

$$R_d = \frac{M^2.H.N}{S.e.(M + np + P)} \quad (1)$$

Onde R_d é a resistência à ruptura dinâmica, M a massa do batente em quilogramas (kg), H altura de queda em cm, S seção da ponteira em centímetros quadrados (cm²), P peso total do penetrômetro em kg, e a espessura do segmento de cravação em centímetros (cm), n número de hastes utilizadas, N o número de golpes para cravar o segmento, p peso da haste de 1,0 metro em kg.

Sanglerat (1972) sugere utilizar o coeficiente α para transformação dos esforços dinâmicos em estáticos R_e para cada tipo de material, sendo α=1 para areia grossa e cascalho mediamente compacto, α=0,75 para solos arenosos de fofo a muito compacto, α=0,5 para solos argilosos de consistência média a rija e α=0,30 para argilas moles.

$$R_e = \alpha.R_d \quad (2)$$

Para calcular a tensão admissível do terreno σ_{adm} a partir do penetrômetro dinâmico leve o Departamento de Estradas de Rodagem DER-MG (1984) sugere a utilização de um fator de correção β (variando entre 0,2 e 0,05), tal que:

$$\sigma_{adm} = \beta.R_e \quad (3)$$

3.2. Índice de Suporte Califórnia

O Índice de Suporte Califórnia (CBR) é amplamente utilizado para avaliar a capacidade de suporte dos solos em projetos de pavimentação. O ensaio consiste na determinação da resistência à penetração de um pistão padrão em uma amostra compactada, expressa pela relação percentual entre a carga aplicada ao solo e a correspondente a um material padrão (DNIT, 2006).

O CBR é definido pela razão entre a tensão necessária para produzir uma determinada penetração no solo ensaiado e a tensão correspondente obtida em um material padrão, conforme a expressão:

$$CBR = {}^{\sigma}/_{\sigma\ padrão}\ x\ 100 \tag{4}$$

onde σ corresponde à tensão aplicada para uma determinada penetração no solo ensaiado, e σ padrão é a tensão obtida para o material de referência nas mesmas condições de penetração.

3.3. Correlação entre o Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL) e o Índice de Suporte Califórnia (CBR)

Ensaios de penetração dinâmica são amplamente utilizados para estimativa indireta da capacidade de suporte dos solos, especialmente em aplicações de pavimentação e terraplenagem. Nesses ensaios, a resistência do material é inferida a partir da energia necessária para a cravação de uma ponteira cônica no terreno (Sanglerat, 1972).

Em equipamentos como o Dynamic Cone Penetrometer (DCP) e o Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL), a resistência do solo é expressa pelo índice de penetração dinâmica (IP), definido como a razão entre o incremento de penetração (Δh) e o número de golpes (N), conforme a Equação (5).

$$IP = \frac{\Delta h}{N} \tag{5}$$

Onde IP corresponde ao índice de penetração dinâmica (mm/golpe), Δh é o incremento de penetração (mm) e N é o número de golpes.

O índice de penetração apresenta relação direta com propriedades mecânicas do solo, como resistência ao cisalhamento e grau de compactação, de modo que menores valores de IP indicam materiais mais resistentes e com maior capacidade de suporte (Sanglerat, 1972). A aplicação de ensaios de penetração dinâmica para avaliação geotécnica é amplamente reconhecida em normas e procedimentos técnicos, incluindo a ASTM D6951/D6951M para ensaios DCP, a ISO 22475-2 para investigações geotécnicas de campo e o método DER-SP M-53/94 para aplicações rodoviárias.

As primeiras correlações entre ensaios de penetração dinâmica e o Índice de Suporte Califórnia (CBR) foram propostas por Scala (1956), demonstrando a aplicabilidade desses ensaios na avaliação rápida da capacidade de suporte de solos.

Entre as correlações mais difundidas destaca-se o estudo desenvolvido por Kleyn (1975), que analisou resultados experimentais obtidos em materiais de subleito e camadas granulares. A partir dessa análise, o autor propôs a seguinte relação empírica entre o índice de penetração e o valor de CBR, apresentada na Equação (6) da Tabela 1.

Livneh e Ishai (1987) também investigaram a relação entre resultados de ensaios com penetrômetro dinâmico e valores de CBR obtidos em laboratório. A partir da análise estatística dos dados experimentais, os autores propuseram uma correlação logarítmica entre os parâmetros analisados, apresentada na Equação (7).

Outro estudo amplamente citado foi desenvolvido por Webster et al. (1992), que avaliaram a aplicação do penetrômetro dinâmico em programas de avaliação rápida de pavimentos. A partir dos resultados experimentais obtidos em diferentes materiais de subleito, os autores propuseram a correlação apresentada na Equação (8).

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais correlações propostas na literatura entre o índice de penetração dinâmica e o valor de CBR.

Tabela 1. Principais correlações entre índice de penetração dinâmica e CBR

Autor	Correlação Proposta	Equação
Kleyn (1975)	$CBR = 410(IP)^{-1,27}$	(6)
Livneh e Ishai (1987)	$\log(CBR) = 2{,}48 - 1{,}057 \log(IP)$	(7)
Webster et al. (1992)	$CBR = \frac{292}{IP^{1,12}}$	(8)

No contexto brasileiro, Cardoso e Trichês (1998) verificaram a consistência das correlações entre o índice de penetração dinâmica e os valores de CBR obtidos em laboratório para materiais utilizados em subleitos rodoviários, corroborando a aplicabilidade do método para estimativas da capacidade de suporte dos solos. De modo geral, a literatura indica que essas correlações fornecem resultados compatíveis com avaliações preliminares de campo, constituindo uma alternativa prática para a caracterização geotécnica de materiais. Além disso, os ensaios com penetrômetros dinâmicos apresentam vantagens associadas à rapidez de execução, simplicidade operacional, baixo custo e obtenção de perfis contínuos de resistência ao longo da profundidade investigada, características que favorecem sua utilização em investigações geotécnicas e atividades de controle tecnológico de obras de terraplenagem e pavimentação.

3.4. Análise de estabilidade por métodos determinísticos

A estabilidade de uma estrutura através de modelo determinístico é dada basicamente por meio da teoria do equilíbrio limite e/ou do estudo tensão deformação. Essa primeira de acordo com Fabrício (2006) pode ser traduzida pelo método das fatias que consiste na divisão da superfície potencial de ruptura em fatias para análise individual, como aplicação de equilíbrio de forças e momento em um elemento (bloco) que desliza.

A análise de estabilidade por equilíbrio limite correlaciona as componentes mobilizadoras com as componentes resistentes, podendo essas serem estabelecidas como forças e/ou momentos. A razão entre as componentes resistentes e as mobilizadoras é definida como fator de segurança (FS), conforme apresentado nas Equações 9 e 10:

$$F.S. = \frac{\sum forças\ resistentes}{\sum forças\ atuantes} \qquad F.S. = \frac{\sum \text{momentos}\ resistentes}{\sum momentos\ atuantes} \qquad (9)\ \text{e}\ (10)$$

Valores de fator de segurança superiores a 1,0 indicam condição de estabilidade, enquanto valores próximos de 1,0 representam a condição de equilíbrio limite. Diversos métodos de equilíbrio limite são empregados na análise de estabilidade, destacando-se Bishop (1955) para superfícies circulares e Spencer (1967) e Morgenstern-Price (1965) para superfícies de ruptura gerais ou não circulares. Esses métodos diferenciam-se principalmente pelas hipóteses adotadas para o equilíbrio das forças interlamelares e pelo atendimento das condições de equilíbrio de forças e momentos (Abramson, 2002; Oliveira, 2020).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em um reservatório de uma barragem localizada no Quadrilátero Ferrífero, sendo estruturado nas diferentes etapas: (i) investigação de campo, na qual foram executados cinco ensaios de PDL com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico do acesso; (ii) mapeamento da dinâmica de cargas do maior equipamento utilizado; (iii) avaliação da estabilidade do acesso; e (iv) verificação da capacidade de carga e da capacidade de suporte do acesso temporário por meio de correlações com a resistência à penetração (PDL).

Os ensaios de PDL foram executados conforme as diretrizes da norma DIN 4094 (1964), alcançando profundidades de até 1,0 metro em cinco pontos distintos ao longo do acesso estudado.

A avaliação da estabilidade global foi realizada por meio de análises bidimensionais empregando o Método de Equilíbrio Limite (MEL) no software Slide2 (Rocscience). As possíveis superfícies de ruptura foram identificadas automaticamente utilizando o algoritmo *Cuckoo Search*, configurado para pesquisar exclusivamente superfícies não circulares, condizentes com a geometria irregular das leiras defletoras.

A checagem de estabilidade foi conduzida conforme os métodos de Spencer (1967) e de Morgenstern & Price (1965), adotando-se como representativo o menor Fator de Segurança entre os dois critérios. Todas as simulações consideraram condição estática drenada. Os parâmetros geotécnicos utilizados foram obtidos diretamente em campanhas de investigação realizadas na área de estudo, contemplando ensaios de campo e de laboratório específicos. Assim, para o rejeito em condições saturadas foram adotados: ângulo de atrito de 34°, peso específico de 23 kN/m³ e coesão de 0 kN/m².

Para a avaliação da dinâmica de cargas no braço da barragem, considerou-se o caminhão rodoviário Scania G440 8x4, equipamento identificado como aquele de maior solicitação ao solo. O veículo vazio apresenta cargas de 7.218 kg no eixo dianteiro e 3.909 kg no eixo traseiro, totalizando 11.127 kg. Em termos de capacidade suportada por eixo, o modelo possui 2 × 9.000 kg no eixo direcional duplo dianteiro (18.000 kg) e 32.000 kg no eixo bogie traseiro, típico de caminhões 8x4. Foi adotado o peso bruto total técnico permitido pelo fabricante, de 50.000 kg, correspondendo a uma carga nominal de aproximadamente 38,87 toneladas. Ressalta-se a importância de compreender os limites operacionais e os possíveis impactos ao equipamento quando se excede o peso bruto total legal de 29.000 kg para caminhões rígidos. Nessa condição, cerca de 36% da carga é distribuída ao eixo dianteiro e aproximadamente 64% ao eixo traseiro. Os pneus considerados na análise foram os modelos 295/80R22.5, 315/80R22.5 ou 12R22.5, cuja área de contato com o solo varia entre 0,035 e 0,045 m² por pneu, adotando-se valor médio de 0,040 m².

As correlações de tensão admissível e índice de suporte Califórnia fundamentaram-se no trabalho desenvolvido por Filho (2010). Assim, para o rejeito estudado, assumiu-se $\alpha = 0{,}75$ e $\beta = 1/10$ como fatores de conversão para esforço estático e tensão admissível do piso, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Resultados Ensaios

A Tabela 2 apresenta a relação de número de golpes por segmento até o impenetrável para os 05 ensaios executados no acesso. Os primeiros 20 centímetros dos pontos PDL01 e PDL02 apresentaram menores números de golpes dentre os dados colhidos dos ensaios.

Tabela 2: Número de impactos em função da profundidade

	PDL01	**PDL02**	**PDL03**	**PDL04**	**PDL05**
Profundidade (cm)	N impactos (20 cm)	N impactos (20 cm)	N impactos (20 cm)	N impactos (20 cm)	N impactos (20 cm)
20,0	11,0	9,0	14,0	14,0	21,0
40,0	18,0	22,0	17,0	27,0	28,0
60,0	16,0	34,0	18,0	34,0	32,0
80,0	13,0	25,0	16,0	Impenetrável	28,0
100,0	12,0	15,0	Impenetrável	Impenetrável	Impenetrável

5.2. Dinâmica de cargas

Assumindo uma Scania G440 (8x4) carregada ao limite técnico do eixo com carga por eixo dianteiro 9.000 kg (cada um), carga por eixo traseiro 16.000 kg (cada um, no Bogie de 32 t), 02 pneus por eixo dianteiro (simples), 04 pneus por eixo traseiro (rodado duplo) e área de contato por pneu de 0,040m², tem-se as seguintes tensões por pneu e por eixo:

	F = Carga aplicada (kg)	*nº de pneus*	*A = Área de Contato (m²)*	$\sigma_{pneu/eixo} = \frac{F}{nº\ pneus\ x\ A}$
Pneu dianteiro	4.500	1	0,040	112,5
Pneu traseiro	4.000	1	0,040	100,0
Eixo dianteiro	9.000	2	0,080	112,5
Eixo traseiro	16.000	4	0,160	100,0

A tensão por eixo coincide com a tensão por pneu quando todos os pneus daquele eixo têm mesma carga e mesma área de contato. Se houver assimetria (pressões de inflação diferentes, raio dinâmico/largura de pneu diferente, rampa/transversalidade) as tensões por pneu não serão iguais.

5.3. Análise de estabilidade

Foram realizadas análises bidimensionais (2D) de estabilidade nas leiras defletoras. O menor valor resultante das análises, bem como os fatores de segurança obtidos e as superfícies críticas de ruptura identificadas pelo método de busca automática, estão apresentados na Figura 1.

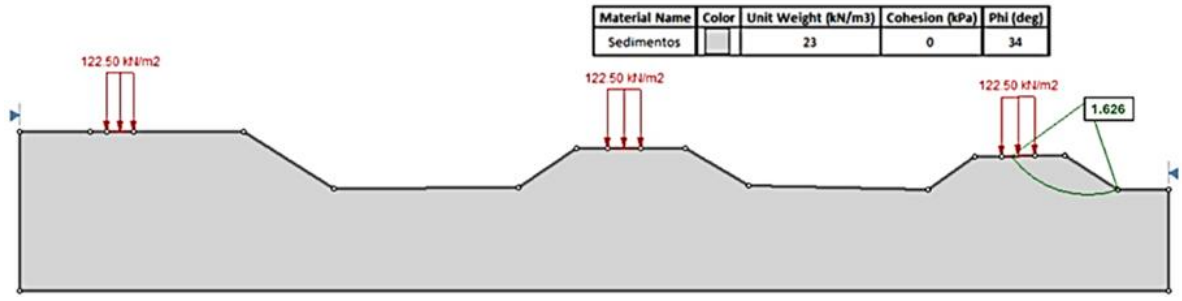


Figura 1. Análise de estabilidade – seção A-A

Destaca-se, que para a geometria avaliada a linha freática identificada em campo não influenciou na análise. O resultado da análise indica um Fator de Segurança (FS) superior a 1,50 para a condição estática drenada, valor compatível com o recomendado pela ABNT NBR 13028.

5.4. Correlações

Para as correlações de tensões admissíveis, foram encontrados valores variando de 100,1 kPa até 378,2 kPa. Sendo o segmento dos primeiros 20 centímetros do PDL02 único valor de tensão admissível inferior a 112,5kPa encontrado. Para esse trecho, sugere-se avaliar a execução de reforço ou remoção da camada (Figura 2).

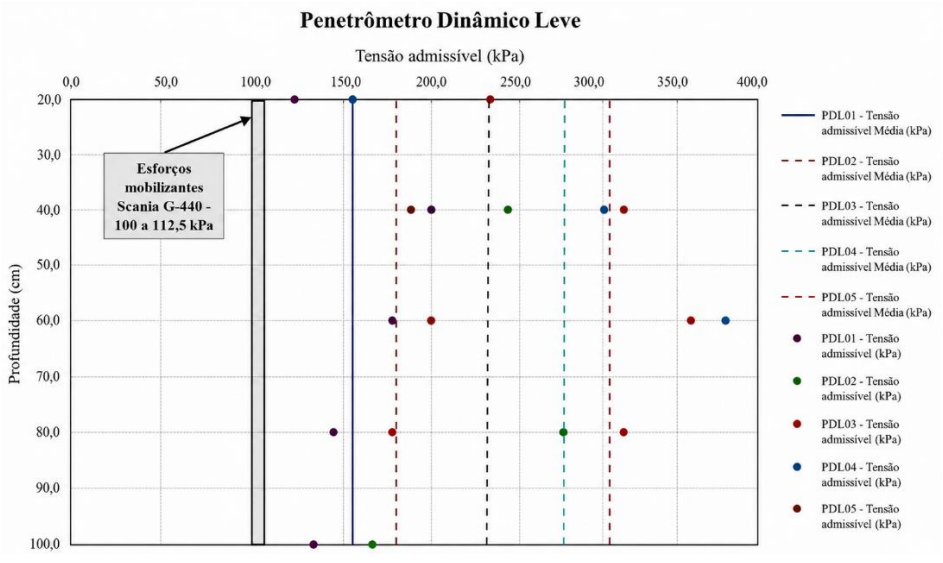


Figura 2. Correlação: Tensões admissíveis

Os valores de CBR obtidos a partir das correlações com o ensaio DCP variaram entre aproximadamente 14,1% e 33,6%, indicando um solo com boa a excelente capacidade de suporte. A consistência entre os métodos de Kleyn (1975), Livneh e Ishai (1987) e Webster et al. (1992) reforça a confiabilidade dos resultados, sendo observada uma tendência de valores mais elevados para a correlação de Livneh e Ishai (1987), intermediários para Webster et al. (1992) e mais conservadores para Kleyn (1975). A

Figura 3 apresenta a comparação entre os valores de CBR estimados pelos diferentes autores, bem como a variação do índice de penetração do DCP (IP). Observa-se claramente a relação inversa entre IP e CBR, na qual menores valores de penetração estão associados a maiores resistências do solo, comportamento coerente com a mecânica do ensaio (KLEYN, 1975; LIVNEH; ISHAI, 1987).

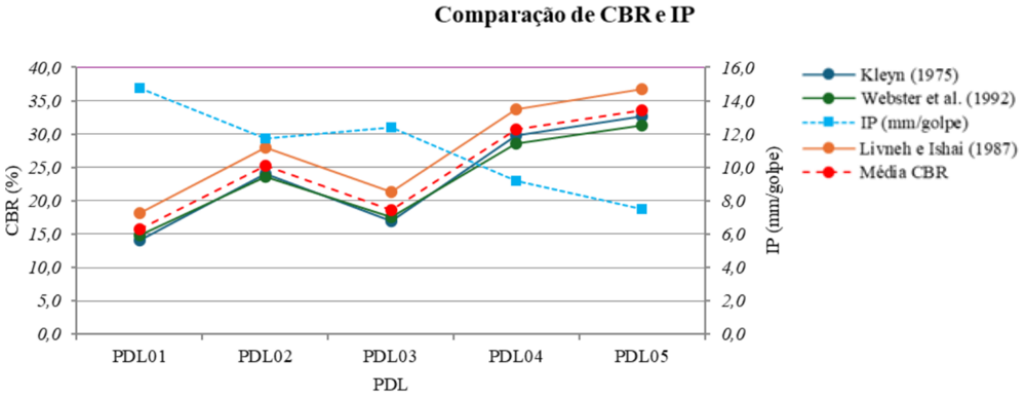


Figura 3. Comparação CBR e IP

Do ponto de vista de aplicação, a literatura técnica indica que solos com CBR da ordem de 5% representam o limite mínimo para utilização em estradas não pavimentadas com baixo nível de solicitação (DNIT, 2006; TRL, 1993), sendo necessários valores superiores conforme o aumento do tráfego e das cargas aplicadas. Nesse contexto, os valores obtidos nas correlações foram todos superiores a 14%, indicando condições significativamente mais favoráveis de suporte.

Adicionalmente, conforme recomendações do DNIT (2006), do U.S. Army Corps of Engineers (1994) e do Transport Research Laboratory (1993), valores de CBR superiores a 15% são adequados para tráfego mais intenso, enquanto valores acima de 20% indicam desempenho satisfatório sob carregamentos elevados. Considerando uma tensão necessária para trafegabilidade da ordem de 122,50 kPa, os valores de CBR obtidos mostram-se compatíveis com a capacidade de suporte requerida, situando-se dentro da faixa esperada para esse nível de solicitação. Dessa forma, os resultados indicam que o material avaliado apresenta desempenho geotécnico compatível com as solicitações para aplicação em acessos operacionais.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a aplicação do Penetrômetro Dinâmico Leve (PDL) é adequada para a avaliação da capacidade de suporte de acessos implantados sobre leiras defletoras em barragens de rejeitos. Os ensaios de campo permitiram a caracterização da resistência a penetração do material ao longo da profundidade, evidenciando variabilidade espacial típica de depósitos sedimentares, porém com níveis de resistência compatíveis com a utilização proposta.

As correlações empregadas possibilitaram a estimativa de tensões admissíveis variando entre aproximadamente 100 kPa e 378 kPa, bem como valores de CBR entre 14,1% e 33,6%, indicando condições de suporte classificadas entre boas e excelentes. De modo geral, os resultados mostraram-se compatíveis com as tensões induzidas pelo tráfego do equipamento considerado, da ordem de 122,50 kPa, com exceção de trechos pontuais superficiais que demandam atenção específica (ponto PDL02).

Dessa forma, conclui-se que a metodologia adotada, baseada em ensaios de campo com PDL, análise de estabilidade e correlações empíricas consolidadas, mostrou-se eficiente para subsidiar a definição de critérios de trafegabilidade e segurança geotécnica. Os resultados reforçam a aplicabilidade do método como ferramenta prática e confiável para apoio à tomada de decisão em campo, contribuindo para a segurança operacional e a otimização das atividades em barragens de rejeitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2025). NBR 13028. *Mineração - Elaboração, apresentação de projeto e avaliação de segurança de estruturas para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água*. São Paulo.

Almeida, C.H.C. (2023). *Ensaio com penetrômetro dinâmico leve sísmico (S-DPL) em solo não saturado: execução e interpretação*. In: Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-01122023-111152/publico/DissertAlmeidaCaioHenriquedeCCorrig.pdf >. Acesso em: 26 mar. 2026.

ASTM, American Society for Testing and Materials (2018). D6951/ D6951M. *Standart Test for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in shallow pavement applications.* West Conshohocken.

DER, Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (1984). *Sondagens a Penetrômetro Dinâmico Leve.* Belo Horizonte.

DIN, Deutsches Institut für Normung (2002). DIN 4094-1. *Subsoil – Field investigations – Part 1: Cone penetration tests*. Berlim.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006). IPR – 719. *Manual de Pavimentação – 3a Edição*. Rio de Janeiro.

Fabrício, J.V.F. (2006).*Análises Probabilísticas da Estabilidade de Taludes e Contenções.* In: Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: < https://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0321269_06_pretextual.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2026.

Filho, C.E.S. A. (2010). *Correlações para obtenção de parâmetros geotécnicos de argilas compressíveis com utilização do Penetrômetro Dinâmico Leve*. In: Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/server/api/core/bitstreams/c03cc2c0-6cde-4f78-9fb2 603558251f34/content>. Acesso em: 26 mar. 2026.

ISO, International Organization for Standardization (2006). ISO 22475-2. *Geotechnical investigation and testing – Sampling methods and groundwater measurements*. Geneva.

Kleyn, E. G. (1975). The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Transvaal Roads Department, Pretoria, Report L2/75. (In Afrikaans)

Livneh. M.; Ishai. I. (1987) Pavement and material evaluation by a dynamic cone penetrometer. *Transportation Research Record*, n. 1136.

Morgenstern, N. R.; Price, V. E. (1965) The Analysis of Stability of General Slip Surfaces. Géotechnique. London, v.15. p:79.

Spencer, E. E. (1967) A Method of the Analysis of the Stability of Em-Embankments Assuming Parallel Interslide forces. Géotechnique. London, 1967. V.17. p, 11-26.

Sanglerat, G. (1972). *The Penetrometer and soil exploratio*n. First ed., Elsevier Cientific, Amsterdam, The Netherlands, v. 1.

Scala, A. J. (1956) *Simple methods of flexible pavement design using cone penetrometers*. *New Zealand Engineering*.

Trasport Research Laboratory (1993) *Overseas road note 31: a guide to the structural design of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries*. London.

U. S. Army Corps of Engineers (1994) Pavement design for roads, streets, wals, and open storage areas. Washington, DC.