XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/44

Estudo geotécnico do rejeito underflow aplicado ao alteamento de barragens de rejeitos

Wilkyson de Oliveira Cruz
Engenheiro Civil/ Geotécnico, PUC-MINAS, Senador Canedo-GO, Brasil, wilkyson.engcivil@gmail.com

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo geotécnico aplicado ao uso de rejeito de mineração do tipo *underflow* no alteamento de barragens de rejeitos, com foco na definição de critérios técnicos para controle e garantia da qualidade (QC/QA) da compactação em campo. A metodologia baseou-se na execução de um aterro experimental em condições reais de obra, no qual foram avaliadas diferentes espessuras de camada, número de passadas e uso de compactação vibratória, associados à caracterização físico-geotécnica do material e ao controle de densidade *in situ*. Os resultados indicaram comportamento predominantemente granular do rejeito, com boa compactabilidade e baixa variabilidade dos parâmetros. Camadas de 30 cm apresentaram maior homogeneidade vertical, enquanto camadas de 40 cm mostraram desempenho satisfatório quando associadas à compactação vibratória. Camadas de 50 cm apresentaram limitações quanto à eficiência da compactação em profundidade. Com base nos resultados, foram propostos critérios preliminares de aceitação para QC/QA, incluindo limites de espessura de camada, teor de umidade, índice de vazios e grau de compactação, contribuindo para o aumento da confiabilidade geotécnica de alteamentos executados com rejeitos *underflow*.

PALAVRAS-CHAVE: Barragens de rejeitos; Rejeito *underflow*; Compactação; Aterro experimental; QC/QA.

ABSTRACT: This paper presents an applied geotechnical study on the use of underflow tailings in tailings dam raising, focusing on the definition of technical criteria for quality control and quality assurance (QC/QA) of field compaction. The methodology was based on the construction of an experimental embankment under real site conditions, evaluating different layer thicknesses, numbers of roller passes, and the use of vibratory compaction, combined with physical-geotechnical characterization and in situ density control. The results indicated a predominantly granular behavior of the tailings, with good compactability and low parameter variability. Layers 30 cm thick showed better vertical homogeneity, while 40 cm layers performed satisfactorily when vibratory compaction was applied. Layers 50 cm thick showed limitations in compaction efficiency at depth. Based on the results, preliminary acceptance criteria for QC/QA were proposed, including limits for layer thickness, moisture content, void ratio, and degree of compaction, contributing to improved geotechnical reliability of tailings dam raisings using underflow tailings.

KEYWORDS: Tailings dams; Underflow tailings; Compaction; Experimental embankment; QC/QA.

1 INTRODUÇÃO

Barragens de rejeitos são estruturas geotécnicas cujo desempenho e segurança dependem das propriedades dos materiais utilizados e dos procedimentos executivos adotados durante o alteamento. O emprego de rejeitos de mineração, especialmente do tipo underflow, tem se tornado comum devido às vantagens operacionais e econômicas, mas apresenta desafios relacionados à variabilidade granulométrica, à sensibilidade à compactação e à confiabilidade do controle tecnológico em campo.

Embora os fundamentos da mecânica dos solos forneçam bases consolidadas para a compactação de materiais granulares, sua aplicação a rejeitos de mineração exige cautela, pois esses materiais podem apresentar comportamento distinto dos solos naturais. Estudos mostram que parâmetros como espessura

das camadas, número de passadas e uso de vibração influenciam significativamente a densificação e a homogeneidade dos maciços compactados, afetando diretamente seu desempenho geotécnico.

Nesse cenário, a definição de critérios confiáveis para controle e garantia da qualidade (QC/QA) durante o alteamento com rejeitos underflow é essencial para reduzir riscos associados a heterogeneidades e regiões insuficientemente compactadas. Contudo, ainda são limitados os estudos de campo que avaliam sistematicamente a influência desses parâmetros em condições reais de obra.

Assim, este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho geotécnico de rejeitos underflow provenientes de uma mineradora de cobre e ouro localizada no estado de Goiás, utilizados no alteamento de uma barragem por meio de aterro experimental em campo, avaliando a influência dos parâmetros construtivos na compactação e propondo recomendações técnicas para atividades de QC/QA.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A segurança e o desempenho de barragens de rejeitos dependem diretamente das propriedades geotécnicas dos materiais utilizados em sua construção e dos procedimentos de controle tecnológico adotados. Diferentemente dos solos naturais, os rejeitos de mineração possuem origem industrial e frequentemente apresentam elevada variabilidade granulométrica, grãos angulares e composição mineralógica condicionada ao processo de beneficiamento, características que influenciam seu comportamento mecânico e hidráulico (Troncoso, 1997; Vick, 1990).

Os princípios da mecânica dos solos fornecem a base para compreender a compactação de materiais granulares, relacionando densidade seca, teor de umidade, energia de compactação e índices físicos, como índice de vazios e grau de saturação (Terzaghi et al., 1996; Holtz & Kovacs, 1981). Contudo, sua aplicação aos rejeitos de mineração requer cautela, pois esses materiais podem apresentar comportamento distinto dos solos naturais, especialmente quanto à resposta à compactação e à evolução de sua estrutura interna (Das, 2011; Mamani, 2012).

Pesquisas sobre rejeitos arenosos mostram que parâmetros como espessura das camadas, número de passadas e uso de vibração influenciam diretamente a densificação e a homogeneidade do aterro. Camadas mais espessas tendem a reduzir a eficiência da compactação em profundidade, gerando variações de densidade que podem comprometer o desempenho geotécnico do maciço (Vick, 1990; Troncoso, 1997). Por isso, aterros experimentais em campo são amplamente recomendados para definir critérios de aceitação e calibrar procedimentos de QC/QA em obras de alteamento.

Embora existam normas consolidadas para execução e controle da compactação, muitas delas são baseadas em experiências com solos naturais. Ainda são limitados os estudos sobre o comportamento de rejeitos *underflow* compactados em condições reais, especialmente quanto à definição de parâmetros construtivos ótimos e à confiabilidade dos ensaios de controle tecnológico. Nesse contexto, este trabalho busca contribuir para o aprimoramento das práticas de engenharia aplicadas ao alteamento de barragens de rejeitos por meio da análise de resultados obtidos em um aterro experimental de campo.

3 EXECUÇÃO DO ATERRO EXPERIMENTAL

O aterro experimental foi executado próximo à estaca 148, na região de montante da barragem, com alturas de 1,20 m e 1,50 m. Foram adotadas camadas horizontais de 30 cm, 40 cm e 50 cm, variando-se a aplicação de vibração no rolo compactador e o número de passadas (4, 6 e 8). O material *underflow* utilizado foi proveniente do rejeito lançado via ciclones nas estacas 120 e 135, o qual foi analisado através da interpretação dos ensaios laboratoriais realizados e constatado que o mesmo apresentava características adequadas para compor as camadas do aterro, como será discutido adiante.

Em campo, definiu-se que uma passada corresponde a uma passagem completa do rolo compactador, composta por uma ida e uma volta, totalizando duas passadas sobre a camada.

Os ensaios realizados no controle de compactação incluíram HILF, frasco de areia e ensaio Próctor Normal. Para título de análise da característica do rejeito *underflow* foram considerados os ensaios de granulometria por peneiramento, sedimentação e massa específica real dos grãos (*Gs*). Para determinação

do índice de vazios (*e*) considerou-se a relação obtida pelo quociente da massa específica real dos grãos pela máxima massa específica aparente seca (*ρd*- obtida no ensaio de próctor) menos um, que pode ser representada pela seguinte equação.

$$e = (Gs * \rho w / \rho d) - 1$$

O espalhamento do material foi realizado com trator de esteira Caterpillar D6, com peso operacional aproximado de 22,1 t e potência líquida de 161 kW. A compactação foi executada com rolo compactador vibratório liso Caterpillar CS10 GC, com peso operacional da ordem de 10,5 t, largura de compactação de 2,13 m e carga linear estática de 27,6 kg/cm. Nas condições vibratórias, o equipamento operou com frequência de vibração entre 30 e 33 Hz, amplitude nominal de 1 a 2 mm e força centrífuga máxima de 250 kN, parâmetros que proporcionam elevada eficiência de transmissão de energia ao material compactado.

Os ensaios realizados consideraram os procedimentos normativos elencados a seguir:

- Ensaio do frasco de areia (Densidade in situ) - ABNT NBR 7185;
- Ensaio Hilf- ABNT NBR 12102;
- Ensaio de compactação Proctor- ABNT NBR 7182;
- Ensaio de granulometria- ABNT NBR 7181;
- Ensaio de massa especifica dos grãos- ABNT NBR 6508;
- Preparação para ensaios de compactação e caracterização- ABNT NBR 6457.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Considerações sobre a caracterização do *underflow*

Os resultados obtidos no aterro experimental indicam que o rejeito de mineração do tipo *underflow* apresenta comportamento predominantemente granular, com ampla dominância das frações areia média e areia fina, e baixos teores de argila. A seguir tem-se a tabela 1, que relaciona todos os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do material.

Tabela 1- Resultados dos ensaios de caracterização do underflow

Registro	Gs (g/cm³)	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Passante #200 (%)	e	ρd (g/cm³)	Wótima (%)
BP-2398	2,79	2,00	10,70	11,30	68,00	8,10	14,86	0,62	1,72	16,30
BP-2399	2,81	-	-	10,20	69,00	5,90	14,91	0,64	1,72	16,10
BP-2401	2,81	-	-	12,00	65,80	7,00	15,20	0,63	1,72	15,90
BP-2402	2,80	-	-	20,00	58,30	6,20	15,46	0,61	1,73	16,00
BP-2417	2,80	1,80	11,60	9,40	64,10	13,10	15,11	0,62	1,72	16,00
BP-2420	2,79	-	-	11,10	64,20	6,90	11,76	0,62	1,72	18,00
BP-2422	2,81	-	-	6,60	73,10	5,30	15,00	0,63	1,73	15,90
BP-2424	2,81	-	-	13,40	62,50	8,30	15,70	0,64	1,72	16,60
BP-2453	2,81	-	-	10,00	62,50	12,00	15,47	0,62	1,73	16,30
BP-2454	2,80	2,00	11,80	10,90	66,60	8,70	15,81	0,62	1,73	16,30
BP-2456	2,80	-	-	16,00	61,70	6,50	15,77	0,64	1,71	16,50
BP-2460	2,81	-	-	11,50	62,60	10,30	15,55	0,64	1,72	16,40
BP-2467	2,81	-	-	10,10	61,40	11,00	17,44	0,63	1,72	18,20
BP-2468	2,80	-	-	7,80	64,90	12,40	14,89	0,62	1,73	15,90
BP-2670	2,81	-	-	18,00	63,60	2,20	16,24	0,63	1,72	16,90
BP-2471	2,80	-	-	19,20	60,10	4,60	16,02	0,63	1,72	16,30
BP-2472	2,79	-	-	15,90	64,40	3,50	16,26	0,63	1,71	17,10
BL-195	2,79	-	-	15,70	64,70	4,60	15,06	0,62	1,73	16,00
BL-207	2,80	1,80	11,50	13,30	62,50	19,90	15,36	0,63	1,72	18,10

A análise granulométrica evidencia um material predominantemente arenoso, com maior concentração nas frações de areia fina a areia média e baixa participação de partículas grossas. O percentual passante na peneira #200 (0,075 mm) situa-se em torno de 15 a 20%, indicando a presença moderada de finos, sem caracterizar um comportamento essencialmente coesivo. As curvas granulométricas apresentam inclinação acentuada na faixa intermediária, sugerindo uma distribuição relativamente uniforme dos tamanhos de grãos, típica de rejeitos oriundos de processos de beneficiamento mineral.

Esse arranjo granulométrico implica um comportamento mecânico governado majoritariamente pelo atrito intergranular, com capacidade de densificação associada ao rearranjo das partículas durante a compactação. A fração fina presente contribui para o preenchimento parcial dos vazios entre os grãos de areia, favorecendo a redução do índice de vazios até um estado estável, compatível com estruturas compactadas. A figura 1 a seguir apresenta as curvas granulométricas obtidas através dos ensaios de granulometria do *underflow*.

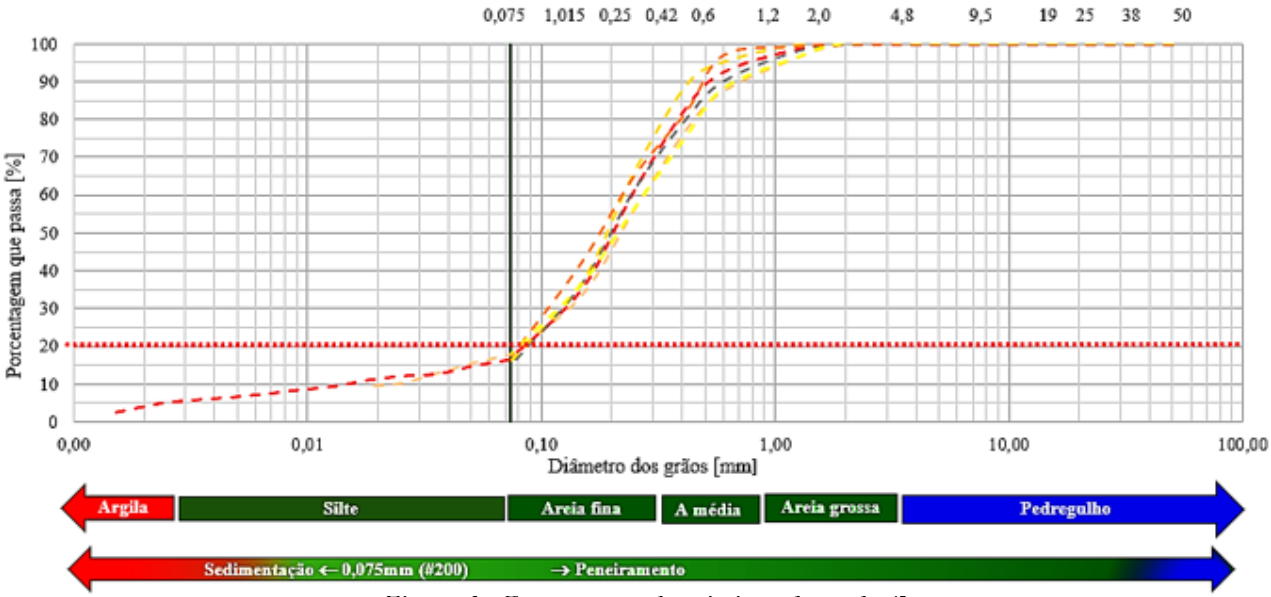


Figura 1- Curvas granulométricas do underflow

A massa específica dos sólidos mostrou baixa variabilidade (Gs ≈ 2,79–2,82 g/cm³), evidenciando homogeneidade mineralógica do material, o que contribui para a repetibilidade dos parâmetros geotécnicos e favorece o estabelecimento de critérios consistentes de controle de qualidade em campo.

Os valores de índice de vazios situaram-se em uma faixa estreita (e ≈ 0,61–0,64), indicando boa compactabilidade do *underflow* sob a energia aplicada. Observa-se que variações sutis na granulometria, especialmente na proporção entre areia média, areia grossa e finos, refletem diretamente no empacotamento das partículas, influenciando o índice de vazios atingido. Frações mais grossas tendem a promover struturas mais densas, enquanto o aumento relativo de finos resulta em índices de vazios ligeiramente superiores.

A análise das curvas de compactação indica comportamento consistente e pouco disperso do rejeito *underflow*, com massas específicas secas máximas concentradas entre 1,71 e 1,73 g/cm³ e umidades ótimas predominantemente na faixa de 16% a 18%, evidenciando homogeneidade do material e boa reprodutibilidade dos parâmetros. O leve achatamento do topo das curvas indica baixa sensibilidade da densificação a pequenas variações de umidade próximas à ótima, favorecendo a execução em campo; contudo, observa-se perda mais acentuada de densidade no ramo seco e redução gradual no ramo úmido, reforçando que o desempenho do material é fortemente condicionado ao controle da umidade de compactação e à adoção de faixas operacionais associadas aos patamares de massa específica seca máxima, de forma a assegurar índices de vazios compatíveis com o desempenho geotécnico esperado do maciço. Apresenta-se a seguir as curvas de Próctor normal (vide figura 2).

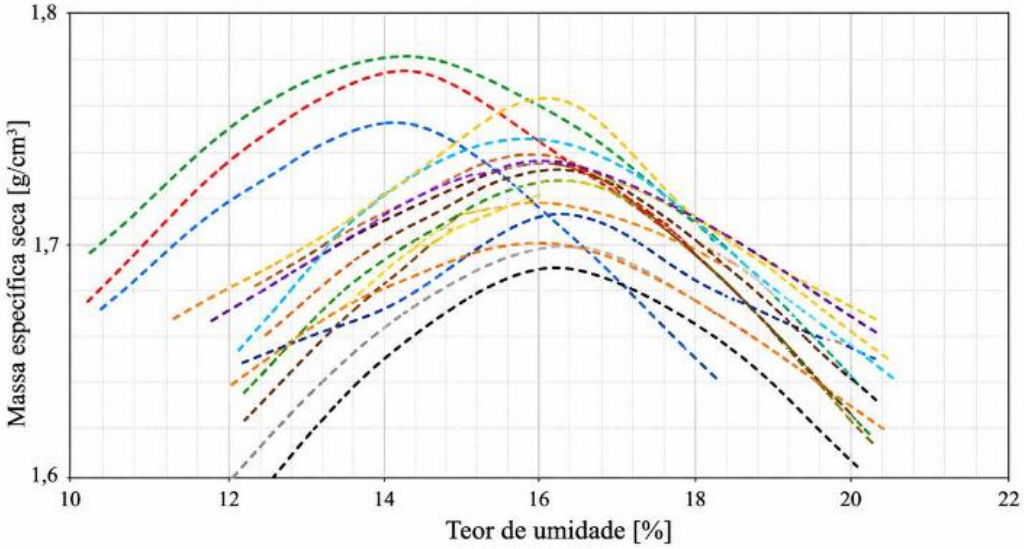


Figura 2- Curvas de Próctor normal do underfow

4.2 Considerações sobre os resultados do controle de compactação

Os resultados dos ensaios de controle de compactação realizados no aterro experimental são apresentados considerando diferentes espessuras de camada (30, 40, 40 cm com vibração e 50 cm), número de passadas equivalentes (4, 6 e 8) e dois métodos de controle de densidade in situ: Hilf e Frasco de Areia, com medições no topo e na base das camadas. A tabela 2 apresenta os resultados obtidos no experimento.

Tabela 2- Resultados dos ensaios de compactação do aterro experimental

Espessura das camadas (cm)	Número de passadas	Método Hilf (%)		Método frasco de areia (%)	
		Topo	Base	Topo	Base
30	4	100,60	99,09	99,74	98,25
	6	101,85	100,22	100,93	99,42
	8	101,92	100,39	101,82	100,29
40	4	97,17	95,71	96,30	94,85
	6	97,75	96,19	96,87	95,42
	8	97,89	96,42	97,01	95,55
40 (vibrado)	4	99,83	98,33	98,98	97,50
	6	100,95	99,23	100,85	99,34
	8	101,07	99,45	100,96	99,44
50	4	95,30	93,68	94,44	93,03
	6	95,98	94,35	95,12	93,69
	8	96,15	94,52	95,28	93,86

Observa-se que, em diversas condições ensaiadas, os graus de compactação determinados apresentaram valores ligeiramente superiores a 100%. Esse comportamento é recorrente em obras envolvendo materiais granulares e rejeitos de mineração e pode ser atribuído a fatores como diferenças entre as condições de moldagem do ensaio Proctor e o estado de compactação alcançado em campo, além de possíveis efeitos de rearranjo granular promovidos pela compactação dinâmica e vibratória. Adicionalmente, variações inerentes aos métodos de determinação da densidade in situ, especialmente em materiais com granulometria heterogênea, podem contribuir para esse resultado. Ressalta-se que tais valores não indicam inconsistência dos dados, mas refletem a eficiência do processo construtivo adotado e a adequada transmissão de energia ao material compactado.

4.2.1 Influência do número de passadas

Para todas as espessuras analisadas, verifica-se uma tendência clara de aumento do grau de compactação com o incremento do número de passadas, tanto no topo quanto na base das camadas. Esse comportamento é mais evidente na transição de 4 para 6 passadas, enquanto o ganho adicional de compactação entre 6 e 8 passadas tende a ser menos significativo, sugerindo a aproximação de um patamar de compactação máxima.

A redução progressiva dos ganhos de densificação observada entre 6 e 8 passadas indica a existência de um patamar próximo à densidade máxima praticável para o equipamento e para o material analisado. Esse comportamento sugere que o aumento do número de passadas além desse limite tende a resultar em ganhos marginais pouco significativos, do ponto de vista geotécnico, implicando apenas em acréscimos de custo e tempo de execução. Assim, os resultados obtidos permitem inferir a existência de um número ótimo de passadas, a ser definido no contexto do controle tecnológico, equilibrando eficiência operacional e qualidade da compactação.

4.2.2 Influência da espessura da camada

A influência da espessura das camadas na eficiência da compactação torna-se evidente quando analisada a distribuição vertical dos graus de compactação obtidos. À medida que a espessura da camada é aumentada, observa-se maior atenuação da energia de compactação em profundidade, refletida na redução dos valores medidos na base, particularmente nas condições com menor número de passadas. Esse comportamento evidencia a limitação prática do equipamento utilizado na transmissão de energia ao longo da espessura do aterro, reforçando a necessidade de definição criteriosa da espessura máxima das camadas em função das características do material e do método de compactação empregado.

Camadas de 30 cm apresentaram os melhores resultados globais, com graus de compactação elevados e menor diferença entre topo e base, indicando boa homogeneidade da compactação ao longo da espessura.

Camadas de 40 cm (sem vibração) apresentaram redução relativa dos valores na base, especialmente para 4 passadas, evidenciando maior dificuldade de transmissão de energia de compactação em camadas mais espessas.

Camadas de 50 cm apresentaram os menores valores relativos na base, principalmente para 4 e 6 passadas, embora ainda mantendo graus de compactação elevados. Esse comportamento reforça que camadas mais espessas demandam maior energia de compactação para garantir uniformidade.

4.2.3 Efeito da vibração

A condição de camada de 40 cm compactada com rolo vibratório apresentou desempenho superior quando comparada à camada de mesma espessura compactada sem vibração. Observa-se:

- Aumento dos graus de compactação tanto no topo quanto na base;
- Redução da diferença entre topo e base;
- Resultados equivalentes aos obtidos para camadas de 30 cm.

O desempenho superior observado nas camadas de 40 cm compactadas com rolo vibratório evidencia o papel fundamental da vibração no rearranjo das partículas e na mobilização de mecanismos de densificação mais eficientes em profundidade. A ação vibratória favorece a redução do atrito intergranular momentâneo, permitindo uma reorganização mais densa da estrutura interna do material, especialmente em rejeitos predominantemente arenosos. Esse efeito resulta em maior homogeneidade vertical da compactação, ampliando o limite prático de espessura das camadas sem comprometer a qualidade do aterro executado.

4.2.4 Comparação entre os métodos Hilf e Frasco de Areia- Implicação para QC/QA

As diferenças sistemáticas observadas entre os valores obtidos pelos métodos de Hilf e Frasco de Areia, com tendência de resultados ligeiramente superiores no método de Hilf, indicam a necessidade de cautela na definição de critérios de aceitação baseados exclusivamente em um único método de ensaio. Em

termos de QC/QA, essa constatação reforça a importância da calibração prévia dos métodos e da análise conjunta dos resultados, de modo a evitar a aceitação de camadas com níveis de densificação inferiores aos desejados. A adoção de critérios complementares ou fatores de correção pode contribuir para maior confiabilidade do controle tecnológico em obras de alteamento de barragens com rejeitos *underflow*.

4.3 Recomendações dos critérios de aceitação para QC/QA

Com base nos resultados obtidos nos ensaios de caracterização e no controle de compactação do aterro experimental, são apresentadas a seguir recomendações técnicas preliminares para critérios de aceitação aplicáveis ao controle e à garantia da qualidade (QC/QA) em alteamentos executados com rejeito *underflow* de comportamento predominantemente arenoso.

4.3.1 Espessura de camada e características do material

Os resultados indicaram melhor desempenho de compactação para camadas de 30 cm, caracterizadas por elevada homogeneidade vertical. Camadas de 40 cm mostraram-se tecnicamente aceitáveis, desde que associadas ao uso de compactação vibratória e controle rigoroso do número de passadas. Camadas de 50 cm apresentaram limitações quanto à densificação na base, não sendo recomendadas como critério de aceitação. Quanto às características do material, observou-se boa resposta à compactação para rejeitos com percentual passante na peneira nº 200 inferior a aproximadamente 20%, condição que preserva o comportamento predominantemente granular e favorece a eficiência da compactação.

4.3.2 Condições de compactação: índice de vazios e umidade

Os estados de compactação considerados satisfatórios corresponderam a índices de vazios da ordem de $e \approx 0{,}65$ a $0{,}70$, compatíveis com um estado medianamente denso. Os melhores resultados foram obtidos quando a compactação foi realizada com teor de umidade próximo à umidade ótima, admitindo-se, para fins de QC/QA, desvio máximo da ordem de ±2%, faixa na qual não foram observadas perdas significativas de desempenho.

4.3.3 Grau de compactação e critérios de aceitação

Os ensaios in situ indicaram graus de compactação elevados, frequentemente próximos ou superiores a 100%, refletindo a eficiência do processo construtivo. Considerando as particularidades dos rejeitos de mineração e as diferenças entre as condições laboratoriais e de campo, recomenda-se a adoção de grau de compactação mínimo de 98% como critério de aceitação em QC/QA, admitindo-se valores superiores a 100% sem prejuízo à interpretação técnica, desde que os métodos de ensaio estejam adequadamente controlados e calibrados.

5 CONCLUSÃO

O aterro experimental executado com rejeito *underflow* permitiu avaliar de forma objetiva a influência de parâmetros construtivos e operacionais na eficiência da compactação em campo, bem como estabelecer critérios técnicos aplicáveis às atividades de controle e garantia da qualidade em alteamentos de barragens de rejeitos. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

(i) Camadas com espessura de 30 cm apresentaram o melhor desempenho global, caracterizado por elevados graus de compactação e maior homogeneidade vertical.

(ii) Camadas com espessura de 40 cm mostraram-se tecnicamente viáveis, desde que associadas à compactação vibratória e a um controle rigoroso do número de passadas.

(iii) A compactação vibratória exerceu papel fundamental na melhoria da densificação em profundidade, reduzindo a diferença entre topo e base das camadas.

(iv) Camadas com espessura de 50 cm apresentaram limitações quanto à obtenção de compactação homogênea, não sendo recomendadas como critério de aceitação para o material e equipamento avaliados.

(v) O aumento do número de passadas resultou em ganhos progressivamente menores no grau de compactação, indicando a existência de um número ótimo sob os pontos de vista técnico e operacional.

(vi) Os métodos de controle por frasco de areia e Hilf apresentaram tendências consistentes, embora com diferenças nos valores absolutos, reforçando a necessidade de calibração e interpretação conjunta no contexto do QC/QA.

De forma integrada, os resultados permitiram propor critérios preliminares de aceitação para rejeitos *underflow* de comportamento predominantemente arenoso, incluindo limites de espessura de camada, teor de umidade, índice de vazios e grau de compactação. O estudo contribui para o aprimoramento dos procedimentos de controle tecnológico e para a redução de incertezas associadas ao desempenho geotécnico de alteamentos de barragens de rejeitos executados em condições reais de obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7181:2016 — *Solo — Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7185:2025 — *Solo — Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do frasco de areia*. Rio de Janeiro, 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12102:2020 – *Solo — Controle de compactação pelo método de Hilf*. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7182:2016 — *Solo — Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6508:2016 — *Solo — Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm — Determinação da massa específica.* Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6457:2016 – *Solo — Preparação de amostras*. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

DAS, B. M. *Fundamentals of Geotechnical Engineering.* 7th ed. Boston: Cengage Learning, 2011.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D; An Introduction to Geotechnical Engineering. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1981.

MAMANI, G. L. G. *Comportamento de um aterro experimental sobre um depósito de rejeitos de ouro – Mineração Paracatu*. Tese de Doutorado, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2012.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

TRONCOSO, J. H. *Geotechnics of tailings dams and sediments*. In: Proceedings of the International Congress of Environmental Geotechnics (ICEG), 1997, pp. 1405–1423.

VICK, S. G. *Planning, Design, and Analysis of Tailings Dams*. New York: John Wiley & Sons, 1990.