

Análise Estatística dos Parâmetros Coesão e Ângulo de Atrito de Ensaio Triaxiais de Rejeito de Mineiro de Ferro

Maryane Cristine Borges de Melo

Geocoba, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, Brasil, maryane320@gmail.com

Adilson do Lago Leite

Professor Adjunto, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, Brasil, alleite@ufop.edu.br

Marcio Fernandes Leão

Tractebel/UFV, Belo Horizonte, Brasil, marciotriton@hotmail.com

Isabela Veiga de Souza

Estudante, Universidade Federal de Ouro Preto, Belo Horizonte, Brasil, isabelaveigaiv@gmail.com

RESUMO: A crescente exploração mineral resulta em um volume significativo de excedentes principalmente estéril e rejeito, os quais são predominantemente depositados em barragens. No entanto, os desastres associados a essa exploração resultaram em sérias consequências para as empresas de mineração, incluindo a proibição da construção de barragens a montante. Esses fatores impulsionaram a busca por alternativas mais sustentáveis e seguras, como as Pilhas de Estéril e Rejeito (PDER). Contudo, a eficácia da segurança das pilhas depende de um projeto detalhado, considerando os diversos riscos associados e características dos materiais envolvidos. Diante disso, este estudo teve como objetivo encontrar valores representativos aos parâmetros de Mohr-Coulomb para esses excedentes. Foram analisados os resultados de 112 ensaios triaxiais coletadas em três aterros experimentais por meio de estatística descritiva. Os resultados das análises constataram que a distribuição normal não se ajusta aos dados, tornando a média inadequada para avaliação. As distribuições log-normal dos parâmetros mostraram-se mais apropriadas, destacando a moda como o valor mais conservador. Além disso, observou-se que a maioria dos valores se concentra próximo ao percentil 20 ou ao primeiro quartil, indicando assimetria positiva dos parâmetros. Esses resultados contribuem para a aplicação de abordagens estatísticas na determinação dos parâmetros de Mohr-Coulomb em estruturas de disposição de rejeito e estéril.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio Triaxial, Parâmetros de Mohr-Coulomb, Análise Estatística, Minério de Ferro, Pilha de Estéril e Rejeito.

ABSTRACT: The increasing mineral exploitation yields significant volumes of residues, predominantly comprising waste rock and tailings, primarily disposed in tailings dams. However, associated disasters have led to severe consequences for mining companies, including the prohibition of upstream dam construction. These circumstances have driven the quest for more sustainable and secure alternatives, such as the implementation of Waste Rock and Tailings Piles (WRTP). Nonetheless, the effectiveness of WRTP hinges upon meticulous design, accounting for the various associated risks and material characteristics. Accordingly, this study aimed to determine representative values for Mohr-Coulomb parameters concerning these residues. Analyzing the results of 112 triaxial tests conducted in three experimental waste disposal sites through descriptive statistics revealed that the normal distribution does not fit the data, rendering the mean unsuitable for assessment. Log-normal distributions of the parameters emerged as more appropriate, with the mode identified as the most conservative value. Additionally, it was observed that the majority of values cluster around the 20th percentile or first quartile, indicating positive parameter asymmetry. These findings contribute to the application of statistical approaches in determining Mohr-Coulomb parameters in waste rock and tailings disposal structures.

KEYWORDS: Triaxial Testing, Mohr-Coulomb Parameters, Statistical Analysis, Iron Ore, Waste Rock and Tailings Piles.

1. INTRODUÇÃO

Uma das consequências da crescente exploração mineral é o surgimento de material sólido excedente, sendo chamado de estéril, quando sem valor econômico, e rejeito, quando resíduos do beneficiamento mineral. O estéril e o rejeito são produzidos em grandes quantidades, diversas variedades, muitas vezes tóxicos ou danosos ao meio ambiente e sem valor econômico atual. Diante disso, surge a problemática do descarte desses resíduos, uma vez que sua disposição inicialmente ocorria em barragens, estruturas de alto risco que, em caso de falha, causam danos ambientais graves e perdas humanas. Os recentes acidentes emblemáticos para a mineração no Brasil, como os ocorridos nas barragens das minas Germano e Córrego do Feijão, evidenciam os impactos imensuráveis ao meio ambiente e às vidas humanas.

Devido aos riscos causados e a proibição do método de alteamento a montante pela ANM nº 95 surge à necessidade de buscar alternativas para a disposição dos resíduos sólidos da mineração. As pilhas de estéril e rejeito (PDER) tem tido cada vez mais destaque como opção mais segura e sustentável de disposição. Atualmente, sendo reconhecida como uma alternativa mais segura para a disposição de materiais excedentes da atividade mineral. Esse processo envolve a formação de pilhas com teor reduzido de umidade, dispostas em camadas compactadas sucessivas, acompanhadas de sistemas adequados de drenagem interna e externa. Todavia, para que essas estruturas sejam consideradas uma alternativa segura de disposição, é crucial que essas pilhas sejam projetadas com precisão, sendo possível reduzir os potenciais danos associados às pilhas e promover uma disposição mais segura e sustentável dos excedentes da mineração.

O principal fator que leva ao rompimento do solo é a ação da força cisalhante e a capacidade do solo de suportar esse tipo de cisalhamento depende da tensão cisalhante máxima (PINTO 2006). De acordo com Magalhães (1993), a análise das amostras do solo é fundamental para identificar as características necessárias do solo e projetar a estrutura de forma adequada. A compreensão das resistências suportadas pelos solos requer a realização de ensaios em laboratórios, utilizando amostras de solo indeformadas (CRAIG 2007). Das (2014), por sua vez, destaca que, embora existam diversos ensaios para determinar a coesão e o ângulo de atrito que caracterizam o solo, os ensaios triaxiais são os mais amplamente utilizados.

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo tratar e interpretar estatisticamente os resultados de ensaios triaxiais em rejeito de minério de ferro, dispostos em aterros experimentais, com o objetivo de encontrar valores mais representativos para aplicação em futuras construções de Pilhas de Estéril e Rejeito (PDER).

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização dos Aterros Experimentais

Por razões contratuais de confidencialidade entre a mineradora e os autores, não serão disponibilizadas informações sobre a localização e outros detalhes dos aterros. Por esse motivo, os materiais serão tratados como estéreis e rejeitos originados das Minas A, B e C.

Os aterros foram construídos por uma mistura (*blending*) de rejeitos filtrados arenosos e rejeitos filtrados totais, combinados com estéreis, com exceção de um deles, que consistiu apenas na disposição de rejeitos filtrados arenosos. Os rejeitos filtrados arenosos foram provenientes do processo de beneficiamento da Mina A, enquanto os rejeitos filtrados totais foram do beneficiamento mineral da Mina B, e os estéreis foram provenientes da lavra da Mina C. Para a construção dos Aterros Experimentais, utilizou-se o método construtivo convencional de operação de pilhas de estéril, com camadas na espessuras de 1,0 m. Destaca-se que a mistura de estéreis e rejeitos filtrados totais/arenosos foram realizadas na proporção de 2 para 1.

A Tabela 1 fornece um resumo dos principais dados dos aterros experimentais utilizados neste estudo, destacando o volume total de material disposto em cada um dos experimentos.

Tabela 1 - Informações dos aterros experimentais. Fonte: Autores (2024).

Aterros Experimental	Nº de Camadas	Composição do Material	Volume Total (m ³)	Volume de Rejeito (m ³)	Volume de Estéril (m ³) ¹
01	9	Rejeito	74.893,00	74.893,00	-
02	8	Rejeito + Estéril	88.826,00	51.699,00	37.127,00
03	8	Rejeito + Estéril	94.847,00	56.701,30	38.145,70

Além disso, foram realizados ensaios de curvas granulométricas, dos aterros experimentais executados conforme a NBR 7181 (1984), cujos principais resultados são apresentados na Tabela 2, é possível observar que o teor de umidades dos três materiais são bem próximo, todos os materiais tem textura mais arenosa à siltosa, além de possuir maior parcela de finos no rejeito filtrado e estéril, enquanto o rejeito filtrado arenoso possui menor parcela de finos.

Tabela 2- Granulometria do rejeitos e estéreis dos aterros. Fonte: Autores (2024).

Material	Textura	Finos (%)	Pedregulhos	Teor de Umidade (%)
Rejeito Filtrado	silto-arenosa a areno-siltosa	32 a 50,7%	-	17,5
Rejeito Filtrado Arenoso	arenosa (areia fina / silte)	5 a 21%	-	14,8
Estéril	areno-siltosos ou silto-arenosos	10 a 70%	0 a 22%	15

2.2 Amostragem

No Aterro Experimental 1, apesar de ser formado pela mistura de rejeitos filtrados e estéreis, essa blendagem, na prática, não foi observada de forma homogênea. Dessa forma, os pontos de amostragem no aterro resultantes da campanha foram definidos em regiões de predominância de rejeito filtrado total, sendo retiradas blocos de amostras indeformadas 30x30x30 cm.

Para o Aterro Experimental 2, a coleta deu-se de forma semelhante, por ser formado pela mistura de rejeitos filtrados arenosos e estéreis, foi observada uma homogeneidade. Dessa forma, os pontos de amostragem foram definidos em regiões de ocorrência do rejeito filtrado arenoso, proporcionando amostras individualizadas de blocos indeformados de 30x30x30 cm.

Para o Aterro Experimental 03 houve insucesso de extração de blocos indeformados de dimensões de 30x30x30 cm, relativos à campanha. Logo, as amostras indeformadas do rejeito foram coletadas a partir da cravação estática de um tubo de PVC com diâmetro de 2” e 15 cm de comprimento, configurando, dessa forma, o próprio corpo de prova dos ensaios a serem realizados.

2.3 Ensaios Triaxiais

Os parâmetros de Mohr-Coulomb foram obtidos em ensaios triaxiais do tipo Adensado Isotropicamente e não drenado em amostras saturadas (CIU-SATURADO), Adensado Isotropicamente e Drenado em amostras saturadas (CID-SATURADOS) e com umidade natural (CID-NATURAL).

A Tabela 3 apresenta 112 ensaios executados, sendo rompidos quatro corpos de prova em cada ensaio, em tensões confinantes de 80 kPa, 300 kPa, 800 kPa e 1600 kPa, as tensões foram escolhidas para fornecer uma avaliação abrangente e representativa das propriedades do solo sob diferentes condições de carga, além de representar as diferentes condições de tensões que o solo experimenta com a elevação de uma pilha sobre ele.

Tabela 3- Quantitativos dos ensaios realizados nos aterros experimentais Fonte: Autores (2024).

Aterros	Material	CIU Saturado (ASTM D4767)	CIU Saturado (ASTM D7181)	CIU Natural (ASTM D7181)
Aterro Experimental 01	Rejeio total e Estéril	16	14	14
Aterro Experimental 02	Rejeito Arenoso e Estéril	12	12	11
Aterro Experimental 03	Rejeito Arenoso	11	11	11
Total		39	37	36

A partir do resultado dos ensaios foi possível obter as respectivas envoltórias das trajetórias de tensão nos diagrama $p (p') \times q$ e determinar os parâmetros de Mohr-Coulomb ao cisalhamento (coesão - c e c' , ângulo de atrito - ϕ e ϕ'). Considerou-se a ruptura no ponto de máxima obliquidade (σ_1 / σ_3). Os referidos parâmetros foram então organizados em planilhas do *software* Microsoft Excel® para o seu tratamento.

2.4 Análise Estatística

Os parâmetros de Mohr-Coulomb foram estatisticamente analisados com auxílio do *software* Minitab® *Statistical Software* 19. Na primeira análise, foram eliminados os *outliers* através do Minitab®, retirando os menores e maiores valores os quais estavam discrepantes com os demais, para tornar a análise mais representativa. Em seguida, foram obtidos parâmetros estatísticos básicos: média, desvio padrão, mediana e amplitude. No *software*, foram gerados os histogramas e gráficos Quantil-Quantil (QQ-plot) para cada

parâmetro obtido nos diferentes ensaios, bem como o ajuste dos histogramas, os gráficos de probabilidade e as curvas de distribuição, sendo elas: distribuição normal; lognormal de três parâmetros; Weibull e Weibull de três parâmetros. Foi selecionado como teste de normalidade os histogramas e QQ-plot por ser métodos mais visuais, bem aplicados a amostragem de tamanhos moderados.

3. RESULTADOS

3.1 Resultados dos Ensaios Triaxiais

Utilizando-se os pontos de maior tensão das trajetórias de tensão, foram construídas as envoltórias dessas trajetórias, das quais foram extraídos os parâmetros de Mohr-Coulomb, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Coesão e Ângulo de atrito das amostras do aterro experimental 01, 02 e 03. Fonte: Autores (2024).

Aterro Experimental 01									
CIU Saturado			CID Natural				CID Saturado		
Amostra	ϕ' (°)	c' (KPa)	Amostra	ϕ (°)	c (KPa)	Wn (%)	Amostra	ϕ (°)	c (KPa)
A1-C1-AI1	38,7	11,5	A1-C1-AI1	41	13,3	11,0	A1-C1-AI1	37	13,7
A1-C2-AI1	31,8	16	A1-C2-AI1	34,2	14,5	10,5	A1-C2-AI1	34,6	13,4
A1-C2-AI2	32,2	11,8	A1-C2-AI2	29,8	11,5	12,3	A1-C2-AI2	33	12
A1-C3-AI1	40,2	13,1	A1-C3-AI1	37	18,8	12,3	A1-C3-AI1	35,5	18,4
A1-C3-AI2	34,1	12,1	A1-C3-AI2	38,7	14,1	10,5	A1-C3-AI2	38,5	14
A1-C4-AI1	32,4	11,8	A1-C4-AI1	36	18,5	14,0	A1-C4-AI1	33	19
A1-C4-AI2	31,6	11,7	A1-C4-AI2	28,3	17,0	11,0	A1-C4-AI2	29,7	17,3
A1-C5-AI2	32,4	11,8	A1-C5-AI2	33,1	17,9	9,3	A1-C5-AI2	32,7	17,8
A1-C6-AI1	35	12,2	A1-C6-AI1	30,8	14,0	8,5	A1-C6-AI1	32,3	14,2
A1-C7-AI2	29,7	11,5	A1-C7-AI2	32,1	11,8	9,5	A1-C7-AI2	33,1	11,9
A1-C8-AI1	35,6	12,3	A1-C8-AI1	35,8	12,3	10,8	A1-C8-AI1	35,1	13,4
A1-C9-AI1	34,2	12,1	A1-C9-AI1	38,4	10,2	11,3	A1-C9-AI1	37	11,2
PT-A1-01	34,5	12	A1-C10-AD1	27,5	16,9	10,5	A1-C10-AD1	30,7	17,4
PT-AI2-02	29,8	11,5	A1-C10-AD2	28	17,0	12,0	A1-C10-AD2	27,3	17
A1-C10-AD1	31,4	11,7	-	-	-	-	-	-	-
A1-C1-AD2	29,6	11,5	-	-	-	-	-	-	-

Aterro Experimental 02									
CIU Saturado			CID Natural				CID Saturado		
Amostra	ϕ' (°)	c' (Kpa)	Amostra	ϕ (°)	c (Kpa)	Wn (%)	Amostra	ϕ (°)	c (Kpa)
A2-C1-AI1	34,1	12,1	A2-C1-AI1	33,2	17,9	10,2	A2-C1-AI1	29,4	17,2
A2-C1-AI2	34,8	12,2	A2-C1-AI2	33,2	12	5,0	A2-C1-AI2	33,4	12
A2-C2-AI1	35,4	12,3	A2-C2-AI1	32,8	11,9	14,0	A2-C2-AI1	31,7	11,8
A2-C2-AI2	28,8	11,4	A2-C2-AI2	38,7	12,8	6,0	A2-C2-AI2	32,1	13
A2-C3-AI1	30,7	17,4	A2-C3-AI1	35,7	16,9	5,0	A2-C3-AI1	31,5	16,4
A2-C3-AI2	36,3	18,6	A2-C3-AI2	30,2	15	6,0	A2-C3-AI2	32,6	15,4
A2-C4-AI1	37,2	13,8	A2-C4-AI1	32,1	15,3	5,2	A2-C4-AI1	31,8	15,3
A2-C4-AI2	36,3	13,7	A2-C4-AI2	31,1	15,2	5,1	A2-C4-AI2	32,7	15,4
A2-C5-AI3	32	13	A2-C6-AI1	32,7	11,9	4,8	A2-C5-AI3	28,6	14,8
A2-C6-AI1	29,6	12,7	A2-C7-AI3	31,8	17,6	5,5	A2-C6-AI1	31,9	11,8
A2-C7-AI3	25	12,1	A2-C8-AI1	34,3	12,1	4,5	A2-C7-AI3	31,7	16,5
A2-C8-AI1	34,6	13,4	-	-	-	-	A2-C8-AI1	30,8	12,8

Aterro Experimental 03									
------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

CIU Saturado			CID Natural				CID Saturado		
Amostra	ϕ' (°)	c' (Kpa)	Amostra	ϕ (°)	c (Kpa)	Wn (%)	Amostra	ϕ (°)	c (Kpa)
A3-C1-AI1	28,2	12,5	A3-C1-AI1	36,6	15	8,5	A3-C1-AI2	35,3	15,9
A3-C1-AI2	33,5	11	A3-C1-AI2	38,2	14	4,0	A3-C1-AI1	31	14
A3-C2-AI1	29,7	10	A3-C2-AI1	31,7	12,9	5,5	A3-C2-AI1	31,8	13
A3-C3-AI1	31,1	11,7	A3-C3-AI1	34,5	13,3	32	A3-C3-AI1	31,6	14,1
A3-C3-AI2	29,3	11,5	A3-C3-AI2	34,8	11	9,5	A3-C3-AI2	32,2	11,8
A3-C4-AI1	28,7	11,4	A3-C4-AI1	33,2	10,8	3,2	A3-C4-AI1	35	11,5
A3-C4-AI2	32,7	11,9	A3-C4-AI2	37	15	4,5	A3-C4-AI2	34	15,6
A3-C5-AI2	32,2	11,8	A3-C5-AI2	29,8	13,8	8,5	A3-C5-AI2	31,6	12,9
A3-C6-AI1	36,3	12,4	A3-C6-AI1	34,1	14,5	4,1	A3-C6-AI1	34	13,3

3.2 Parâmetros Estatísticos Básicos

Após tratamento dos *outliers* os valores dos parâmetros de Mohr-Coulomb efetivos dos materiais calculou-se os parâmetros de estatística descritiva. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

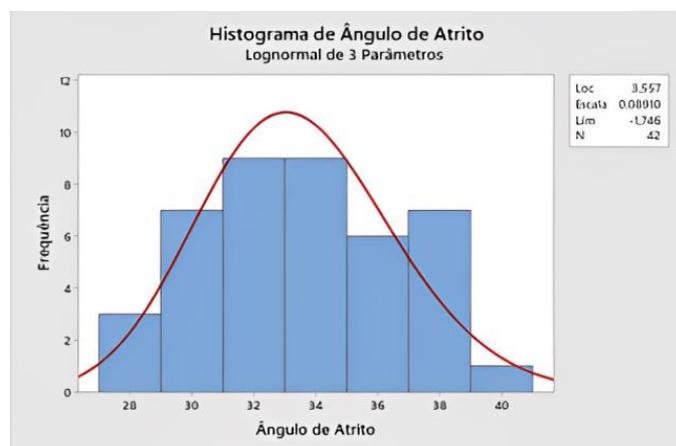
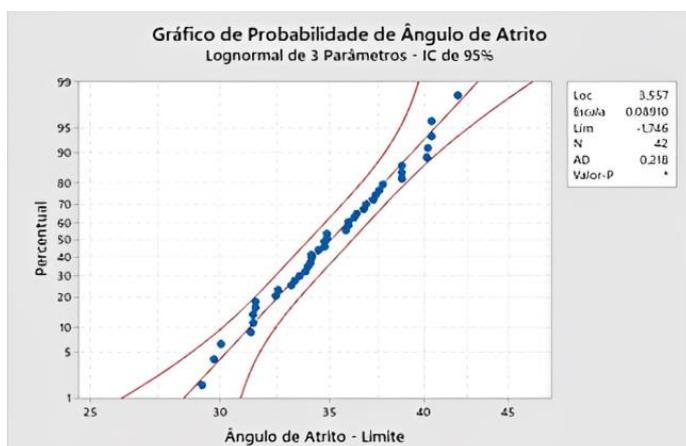
Tabela 5 - Estatística descritiva dos parâmetros de Mohr-Coulomb. Fonte: Autores (2024).

Estatística	Aterro 01		Aterro 02		Aterro 03	
	ϕ' (°)	c' (KPa)	ϕ' (°)	c' (KPa)	ϕ' (°)	c' (KPa)
Média aparada	33,45	13,9	32,57	14,05	32,78	12,93
Desvio Padrão	3,17	2,48	2,17	2,02	2,14	1,37
Amplitude	12,7	7,6	8,6	6,1	8,3	4,8
Mediana	33,05	13,2	32,1	13,4	32,7	12,9

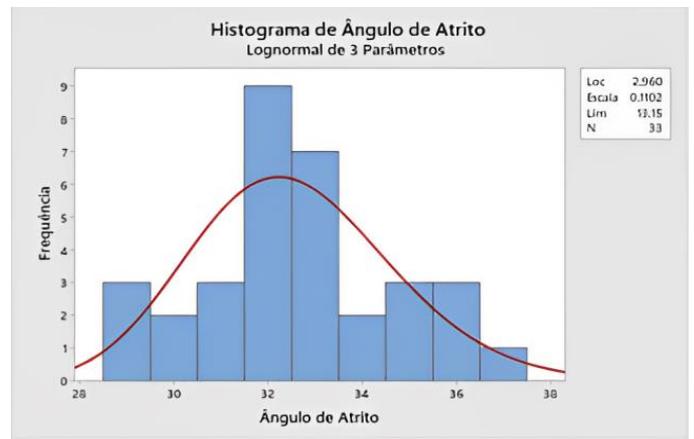
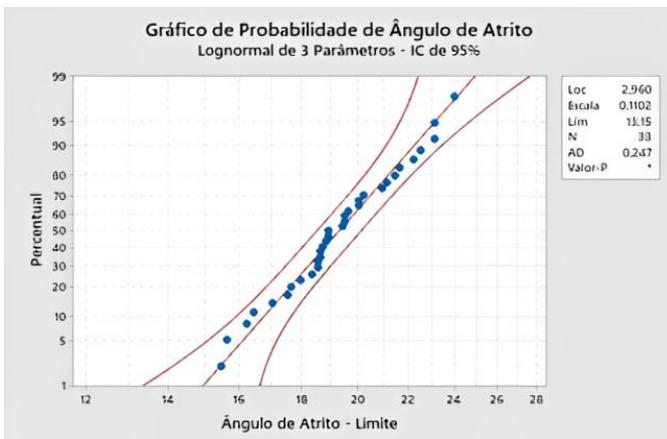
3.3 Análise Descritiva do Ângulo de Atrito Efetivo

Foram gerados os histogramas e as as curvas de distribuição para os valores de ângulo de atrito dos três aterros experimentais, com auxílio da ferramenta “Gráfico de probabilidade” disponível no *software* Minitab®.

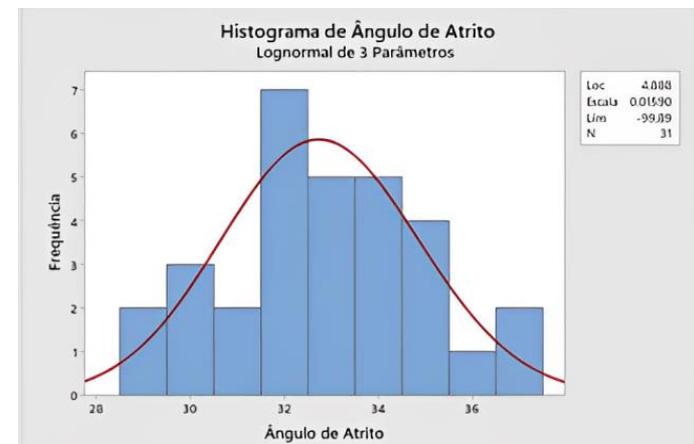
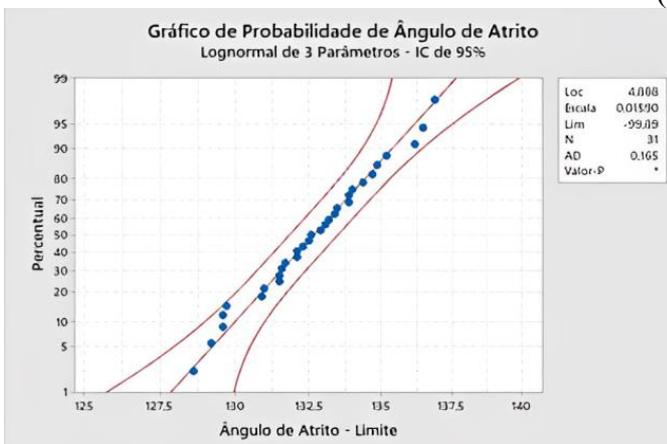
Tabachnick e Fidell (2019) destacam que, para uma boa distribuição ajustada ao histograma de dados, espera-se que os pontos caiam próximos à linha de distribuição ajustada (linha central), permanecendo dentro dos limites estabelecidos. Isso posto, ao analisar os gráficos QQ e os histogramas dos valores acumulados de ângulo de atrito dos três aterros, foi possível observar o melhor ajuste das distribuições apenas ao lognormal de três parâmetros para os três aterros, como mostra os resultados gerados apresentados na Figura 1.



(a)



(b)



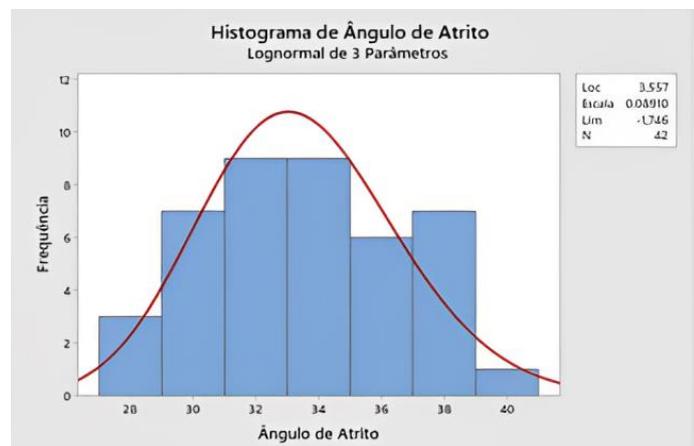
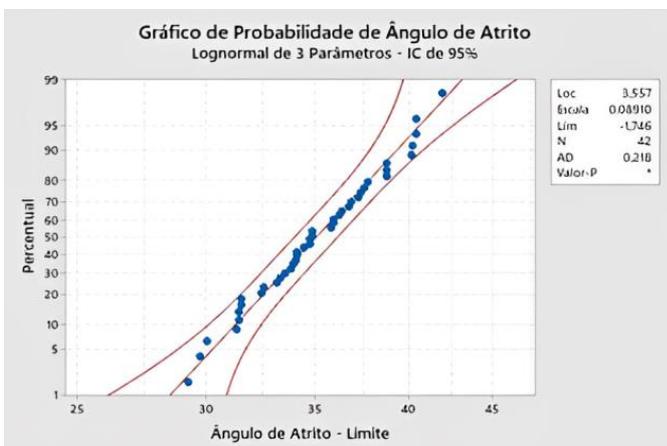
(c)

Figura 1 - Histogramas e gráficos de probabilidade do ângulo de atrito. (a) Aterro 01, (b) Aterro 02 e (c) Aterro 03. Fonte: Autores (2024).

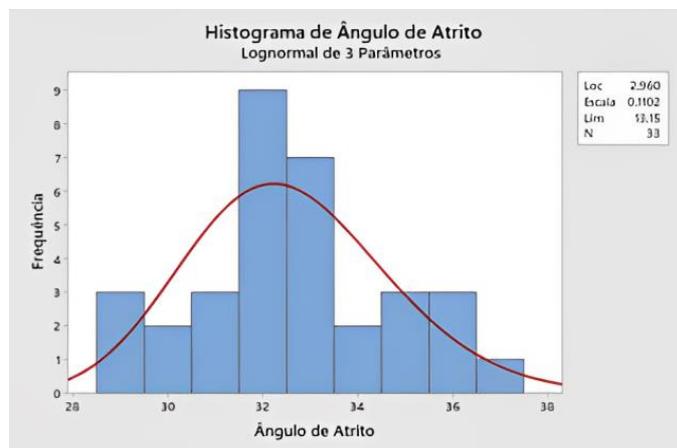
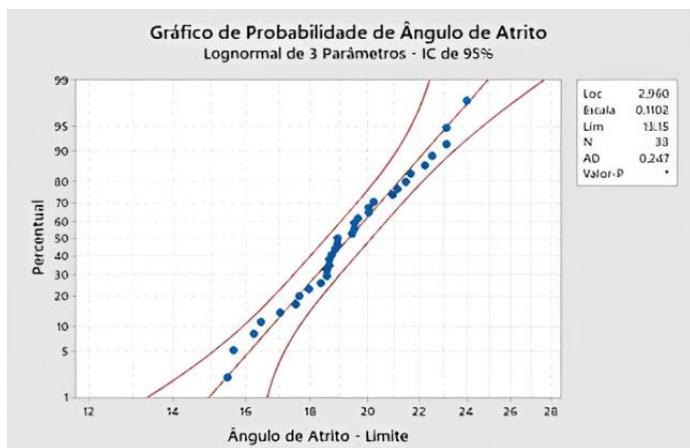
3.4 Análise Descritiva da Coesão

Assim como para os valores de ângulo de atrito, foram gerados os histogramas e as curvas de distribuição para os valores de coesão dos aterros experimentais.

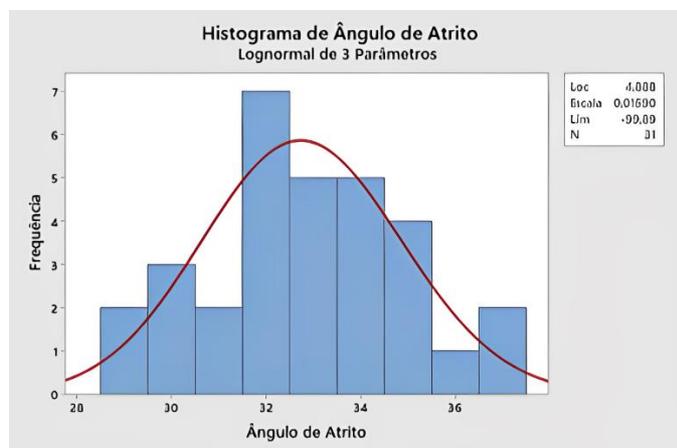
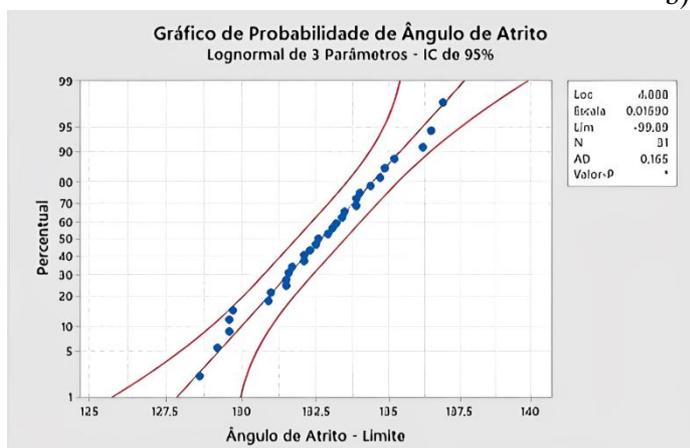
Igualmente, ao examinar os gráficos QQ e os histogramas dos valores acumulados de coesão dos três aterros, foi possível observar um melhor ajuste das distribuições apenas ao lognormal de três parâmetros para os três aterros, como mostra os resultados gerados no *software* apresentados na Figura 2.



(a)



b)



(c)

Figura 2 - Histogramas e gráficos de probabilidade da coesão (a) Aterro 01, (b) Aterro 02 e (c) Aterro 03.
 Fonte: Autores (2024).

A Tabela 6 apresenta os valores de coesão e ângulo de atrito obtidos, utilizando a distribuição normal (média), lognormal de 3 parâmetros (moda), percentil 20, 1º quartil e 3º quartil.

Tabela 6 - Estatística Coesão e Ângulo de Atrito. Fonte: Os autores (2024).

Coesão			
Estatística	Aterro 01	Aterro 02	Aterro 03
Média	13,90	14,05	12,93
Lognormal de 3 parâmetros	11,70	12,70	11,60
Percentil 20	11,76	12,80	11,50
1º Quartil	11,80	12,10	11,75
3º Quartil	16,95	15,40	14,15
Ângulo de Atrito			
Estatística	Aterro 01	Aterro 02	Aterro 03
Média	33,450	32,570	32,780
Lognormal de 3 parâmetros	30,600	30,600	31,300
Percentil 20	30,340	30,780	31,400
1º Quartil	31,500	31,500	31,600
3º Quartil	35,700	34,300	34,300

Os valores de moda encontrados para a distribuição lognormal de 3 parâmetros aproximam-se dos valores do percentil 20, sugerido por Popescu *et al.* (1997). Outro valor, que também pode ser adotado de modo a simplificar a determinação do valor da coesão e do ângulo de atrito, é o 1º quartil e o 3º quartil, pois são valores semelhantes à moda.

4. CONCLUSÃO

Esse trabalho demonstrou a análise estatística descritiva dos parâmetros de Mohr-Coulomb em amostras de três aterros experimentais compostos por rejeitos e estereis de minério de ferro. Os ensaios triaxiais realizados incluíram diferentes condições de saturação, fornecendo informações abrangentes sobre o comportamento desses materiais sob diferentes cenários. Foi observada uma consistência nos resultados de coesão e ângulo de atrito entre os aterros, apesar das variações nos materiais utilizados. A curva de ajuste da distribuição de probabilidade normal não se ajustou a maioria dos histogramas, assim, não é recomendado o uso da média para coesão e nem para ângulo de atrito de acordo com os testes de normalidades de histograma e QQ-Plot.

Ademais, a análise estatística revelou que as distribuições lognormal de três parâmetros foram as mais adequadas para modelar os dados, destacando a moda como o valor mais representativo. Além disso, foi observado que a maioria dos valores se concentra próximo ao percentil 20 ou ao primeiro quartil, indicando uma assimetria positiva nos parâmetros. Esses resultados contribuem para a aplicação de abordagens estatísticas na determinação dos parâmetros de Mohr-Coulomb visando minimizar os riscos associados as PDER's. Para maiores certezas referente a moda ser o valor mais representativo para o ângulo de atrito e a coesão é possível realizar outros testes de normalidades Shapiro-Wilk ou Anderson-Darling, nesse trabalho apenas foi usado os testes de normalidade de histograma e QQ-plot devido a fácil visualização do mesmo, além da boa adequação com amostras de tamanhos moderados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), por meio do Departamento de Engenharia Civil (DECIV), por todo apoio técnico, conhecimento e aprendizado passado para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457 (1984): NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro.
- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Resolução ANM nº 95, 2022.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D4767 (2011): Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. [s.n].
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D7181 (2011): Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. [s.n].
- CRAIG, R. F. (2007). Mecânica dos solos: 7. ed. Rio de Janeiro: LTC. 363 p. Tradução de: Amir Kurban.
- DAS, B. M. (2014). Fundamentos de Engenharia Geotécnica. 8 ed. Tradução All Tasks. São Paulo. Cengage Learning.
- MAGALHÃES, P.S.G. (1993). Dinâmica de solos. In: CORTEZ, L.A.B. & MAGALHÃES, P.S.G., eds. Introdução à engenharia agrícola: 2.ed. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 393p. (Série Manuais).
- MELO, M.C.B. (2022) Análise estatística dos parâmetros coesão e ângulo de atrito de ensaios triaxiais de rejeito de minério de ferro. 177 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil).
- MINITAB (2021). Visão geral de Gráfico de Probabilidade.
- Microsoft Corporation. Microsoft Excel. Versão 2021. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2021.
- PINTO, C.S. (2006). Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas: 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 368 p.
- POPESCU, R; PRÉVOST, J. H; DEODATIS, G. (1997). Effects of spatial variability of soil liquefaction: Some design recommendations. Geotechnique 47.5 (1997): 1019-1036.
- TABACHNICK, B., & FIDELL, L. (2019). Using Multivariate Statistics (7th Ed). Boston, MA: Pearson Education Inc.