

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/510

Avaliação Estatística de Razões de Resistência Não Drenada de Rejeitos de Mineração Oriundas de Correlações Aplicadas à CPTus

Wanessa Alves Silva

Engenheira civil, Tractebel, Belo Horizonte, Brasil, wanessa.as@hotmail.com

Maria Eduarda Fernandes Borba

Engenheira civil, Tractebel, Belo Horizonte, Brasil, dudafb22@gmail.com

Maria Raquel Damaceno

Geóloga, Tractebel, Belo Horizonte, Brasil, mariaraqueldama@gmail.com

Marcio Fernandes Leão

Geólogo, Tractebel, Belo Horizonte, Brasil, marcio.leao@tractebel.engie.com

RESUMO: Um dos principais agentes causadores de rupturas em estruturas geotécnicas é a liquefação, ação que leva um material granular no estado sólido a se comportar como um fluido, ocorrendo em materiais saturados, com comportamento contrátil e sob carregamento não drenado. Diante disso, é evidente a necessidade da avaliação do comportamento não drenado dos materiais granulares, visto que esse comportamento prevê o potencial do material saturado se liquefazer e perder sua resistência ao cisalhamento. Uma das maneiras de se avaliar a resistência não drenada dos materiais é através de ensaios do tipo CPTu. O objetivo deste artigo é, por meio de avaliações estatísticas, analisar as metodologias comumente utilizadas para ensaios de piezocone em rejeitos de mineração. Essa avaliação se deu analisando os resultados de ensaios realizados em rejeitos de mineração e verificando qual a melhor curva de distribuição se ajusta aos histogramas de resistências, não drenadas de pico e liquefeita. Visando simplificar a aplicação de avaliações estatísticas, os dados foram analisados e tratados comparativamente seguindo diferentes distribuições de probabilidade. Buscou-se metodologias matemáticas que simplificassem o cálculo do valor de tendência central para as distribuições que apresentaram bons ajustes. A partir dos resultados, espera-se subsidiar as análises buscando a definição de uma curva padronizada e passível de replicação a outros rejeitos, fornecendo uma metodologia matemática que simplifique o cálculo sem a necessidade de *softwares* mais específicos.

PALAVRAS-CHAVE: CPTu, Rejeito, Quadrilátero Ferrífero.

ABSTRACT: One of the main causes of failures in geotechnical structures is liquefaction, a phenomenon that transforms granular materials from a solid state to a liquefied state. This occurs in saturated materials with contractive behavior under undrained loading conditions. Given this, it is evident that assessing the undrained behavior of granular materials is crucial, as it predicts the potential for saturated material to liquefy and lose its shear strength. One way to evaluate the undrained strength of materials is through Cone Penetration Testing (CPTu). The objective of the article is to statistically analyze commonly used methodologies for piezocone testing in mining tailings. This analysis involves examining test results from mining tailings and determining which distribution curve best fits the histograms of peak and liquefied undrained strengths. To simplify statistical assessments, the data was comparatively analyzed using different probability distributions. Mathematical methodologies were sought to streamline the calculation of central tendency values for distributions that showed good fits. The results aim to support further analyses by defining a standardized curve that can be replicated for other tailings, providing a mathematical methodology that simplifies calculations without the need for specialized softwares.

KEYWORDS: CPTu, Tailings, Quadrilátero Ferrífero.

1 INTRODUÇÃO

Os rompimentos da barragem de Fundão (2015), no município de Mariana (MG), e da barragem da mina Córrego do Feijão (2019), em Brumadinho (MG), ocorreram devido a um processo conhecido como liquefação (MOTA, 2019; BOTELHO et al., 2021). Após os acidentes, o assunto ganhou visibilidade e o estudo de suscetibilidade à liquefação dos rejeitos vem se aprimorando desde então.

De forma resumida, para verificar o potencial à liquefação de um material, deve-se avaliar a sua resistência não drenada. Uma das maneiras mais usuais envolve correlações a partir de ensaios *in situ*, como o ensaio de penetração do cone com medida de poropressão, conhecido também pelo seu nome em inglês *Piezcone Penetration Test* (CPTu).

Para determinar o valor de razão de resistência não drenada para um material, se fazem necessárias análises estatísticas dos dados tratados. Assim, é verificada qual a distribuição de probabilidade melhor se ajusta aos histogramas de resistência não drenada de pico e liquefeita. Para este trabalho, foram considerados os dados de 44 ensaios do tipo CPTu de um rejeito de mineração de ferro hidraulicamente disposto.

Assim, o objetivo deste artigo é, por meio de abordagem estatística, verificar as metodologias comumente utilizadas para ensaios de piezocone em rejeitos de mineração e definir uma curva estatística padronizada e passível de replicação a outros rejeitos, com os devidos ajustes às características inerentes desses materiais, fornecendo então uma metodologia matemática mais simples e que possibilitasse cálculos sem a necessidade de *softwares* estatísticos específicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A liquefação é um mecanismo que ocorre comumente em areias finas e siltes muito fofos que apresentam comportamento contrátil. É provocada devido às variações de poropressões no maciço durante um carregamento não drenado. Tal processo, que resulta na redução das tensões efetivas e da resistência ao cisalhamento, ocorre devido ao acréscimo positivo das poropressões, oriundo da tendência de diminuição de volume durante o cisalhamento (OLSON, 2001; FREIRE NETO, 2009). Assim, é de grande importância para a análise de susceptibilidade à liquefação entender a tendência de mudança de volume de um solo durante o cisalhamento. Para avaliar o potencial de um material à liquefação, são utilizadas correlações a partir de ensaios *in situ*, como a sondagem à percussão (SPT) e o ensaio de penetração do cone com medida de poropressão (CPTu), sendo esse último, o método abordado neste trabalho.

Após a identificação do alto potencial para a liquefação, a razão de resistência cisalhante não drenada máxima ($S_{u,pico}/\sigma_{v0}$) e residual ou liquefeita ($S_{u,liq}/\sigma_{v0}$) são os parâmetros essenciais para estudar e prever o desencadeamento da liquefação estática e a avaliação de risco de rompimentos por liquefação em solos sem coesão, saturados e fofos (SADREKARIMI, 2014).

Na Geotecnia, as análises determinísticas são frequentemente utilizadas, porém, não costumam levar em consideração as incertezas relacionadas ao número de amostras e erros nos procedimentos dos ensaios. Além disso, os parâmetros dos materiais apresentam grandes variabilidades, sendo necessário o uso de ferramentas de probabilidades estatísticas (MENDES, 2019).

Para determinar a associação da probabilidade de ocorrência de um experimento numérico a cada valor de variável estudada, é utilizada a distribuição de probabilidade. Graficamente, ela é representada por uma curva cuja área delimitada pelo eixo das abscissas expressa 100% de probabilidade de ocorrência do evento estudado (ASSIS et al., 2018). É evidenciado também que o uso da distribuição da probabilidade fornece parâmetros a partir dos quais é possível fazer análises estatísticas e visualizar o deslocamento da medida de tendência central de um conjunto de dados (RESENDE, 2001). As distribuições podem assumir três formatos (Figura 1), podendo ser simétricas ou deslocadas.

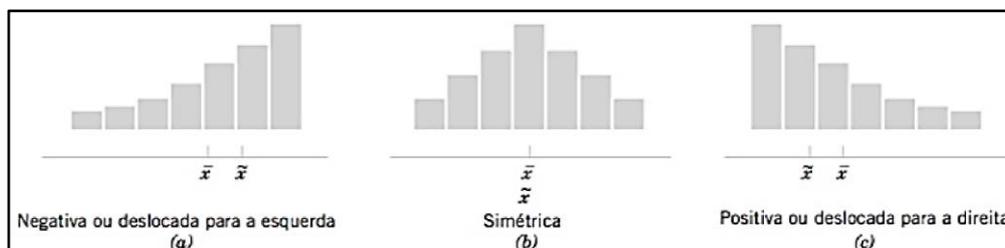


Figura 1. Histogramas para distribuições simétricas e deslocadas. Fonte: (MONTGOMERY; RUNGER, 2021).

3 METODOLOGIA

Nesse estudo, foram analisados 44 ensaios do tipo CPTu. É válido salientar que o local onde os ensaios foram executados foi dividido em duas áreas, sendo elas praia e lago. A diferenciação ocorre devido à distância de cada área do ponto de espigotamento do rejeito. Foram realizados ensaios de granulometria em 9 amostras do rejeito extraídas de forma espaçada e aleatória nas proximidades dos furos, resultando em um material arenoso e arenoso-siltoso. Os ensaios de CPTu foram executados na velocidade padrão, que é 2 cm/s, e também nas velocidades 0,2 cm/s e 10 cm/s.

A partir do estudo de Schnaid (2021), foram escolhidas as formulações utilizadas para determinar o parâmetro de estado e razão de resistência não drenada a partir de ensaios do tipo o CPTu. A análise quanto à suscetibilidade à liquefação dos perfis estudados foi realizada considerando o parâmetro de estado de Robertson (2010) e o ábaco SBTn de Robertson (2016). Como os materiais susceptíveis à liquefação são contráteis, esse comportamento também foi avaliado. Para tal, foi utilizada a definição de Jefferies e Been (2016), ou seja, que materiais com $\psi > -0,05$ são contráteis e a de Robertson (2016), que define que materiais com CD abaixo de 70 são contráteis.

O parâmetro de estado (ψ) é utilizado para analisar o comportamento de solos granulares (solos não plásticos) que não se encontram no estado crítico (SCHNAID, 2021). O parâmetro de estado representa a distância que o índice de vazios de um solo se encontra de atingir a linha de estado crítico. O parâmetro de estado é calculado através da Equação 1.

$$\psi = \frac{-\ln\left(\frac{Q_p}{k}\right)}{\bar{m}} \quad (1)$$

Assim, ψ o parâmetro de estado crítico, Q_p a resistência de ponta de cone normalizada pela tensão efetiva média e k e \bar{m} os coeficientes de inversão efetivos. CD é a linha limite que representa a separação dos solos ideais entre contráteis ou dilatantes (ROBERTSON, 2016); o valor CD (contrátil-dilatante) é dado pela Equação 2.

$$\psi = (Q_{tn} - 11) \times (1 + 0,06 \times F_r)^{17} \quad (2)$$

Assim, CD o valor limite entre comportamento contrátil-dilatante, Q_{tn} a resistência de ponta de cone normalizada e F_r a razão de atrito normalizada.

As razões de resistência não drenada de pico e liquefeita foram calculadas utilizando as correlações empíricas de Olson (2001), Sadrekarimi (2014) e Robertson (2010) com modificação por Jefferies e Been (2016). Tais metodologias foram escolhidas em razão de sua vasta aplicação em artigos e em trabalhos acadêmicos e comerciais.

Para todas as metodologias de cálculo estudadas, os resultados dos parâmetros de resistência não drenada de pico e liquefeita foram organizados em histogramas, com o auxílio do Minitab® Statistical Software 19. O ajuste da nuvem de pontos às curvas de distribuição de probabilidade se conforme proposto por Santos Junior e Ribeiro (2018), e somente os materiais com tendência de comportamento contrátil foram avaliados estatisticamente.

As distribuições de probabilidade avaliadas foram: lognormal de três parâmetros, de Weibull de 3 parâmetros e gama de 3 parâmetros. A tentativa de ajuste a outras distribuições de probabilidade vem da dificuldade de se trabalhar com a distribuição lognormal de 3 parâmetros em diversos *softwares* de estatística ou de engenharia disponíveis no mercado. Essa problemática é o que impulsionou o objetivo principal deste trabalho.

4 RESULTADOS

Devido ao grande número de investigações com comportamento semelhante ao longo da profundidade, foram apresentados os resultados de apenas um ensaio representativo. Na Figura 2, encontram-se os critérios de suscetibilidade à liquefação de Robertson (2010; 2016). Por ambas as metodologias, observa-se uma predominância na classificação do material como contrátil e de comportamento arenoso ou transicional (siltoso). Assim, o rejeito foi classificado com suscetível à liquefação devido à sua natureza contrátil e não coesiva.

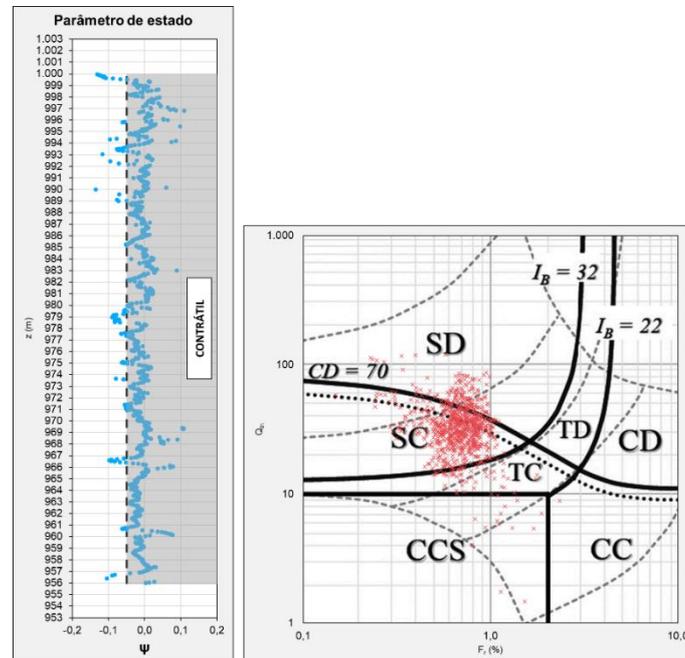


Figura 2. Parâmetro de estado de Robertson (2010) e ábaco de classificação comportamental (SBTn) de Robertson (2016).

As razões de resistência não drenada de pico e liquefeita foram calculadas utilizando as correlações empíricas de Olson (2001), Sadrekarimi (2014) e Robertson (2010) com modificação por Jefferies e Been (2016). Os resultados obtidos estão representados na Figura 3, mostrando os gráficos das razões de resistência não drenada de pico e liquefeita calculadas ao longo da profundidade. As metodologias apresentadas para a razão de resistência não drenada de pico são: Olson (2001), Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento à compressão (TXC) e Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento simples (DSS). As metodologias apresentadas para a razão de resistência não drenada liquefeita são: Olson (2001), Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento à compressão (TXC), Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento simples (DSS) e Jefferies e Been (2016).

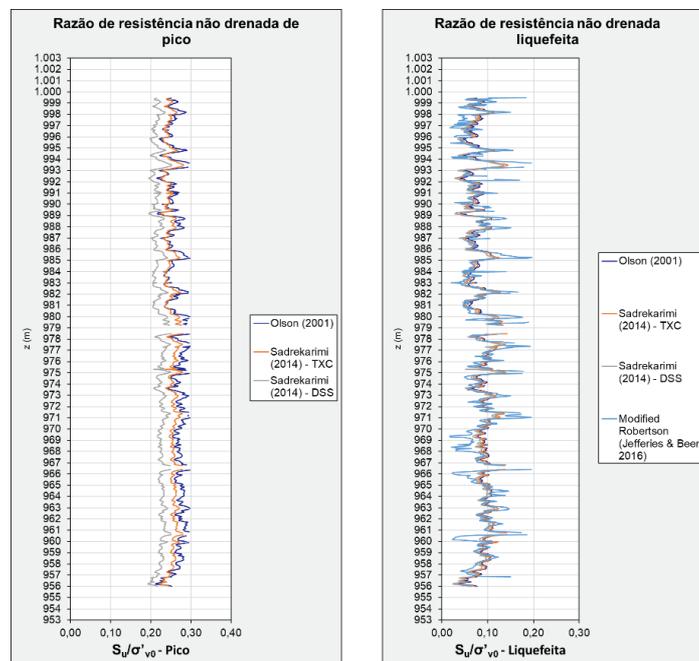


Figura 3. Razão de resistência não drenada de pico e liquefeita por Olson (2001), Sadrekarimi (2014) e Jefferies e Been (2016).

Utilizando os valores de razão de resistência não drenada de pico e liquefeita, por meio das correlações supracitadas, foram gerados histogramas para cada um dos ensaios no *software* Minitab® 19, bem como o ajuste desses histogramas (Figuras 4, 5 e 6) às curvas de distribuição de probabilidade disponíveis no programa. Dentre todas as curvas de distribuição de probabilidade testadas, três apresentaram bom ajuste: lognormal de três parâmetros, Weibull de três parâmetros e gama de três parâmetros. A verificação foi realizada com o auxílio da ferramenta “Gráfico de probabilidade” (MINITAB, 2021). O manual do usuário do Minitab® 19 indica que, se a distribuição avaliada apresentar um bom ajuste para o histograma de dados, os pontos devem ficar próximos à linha de distribuição ajustada (linha central) se mantendo dentro dos limites (linhas pontilhadas).

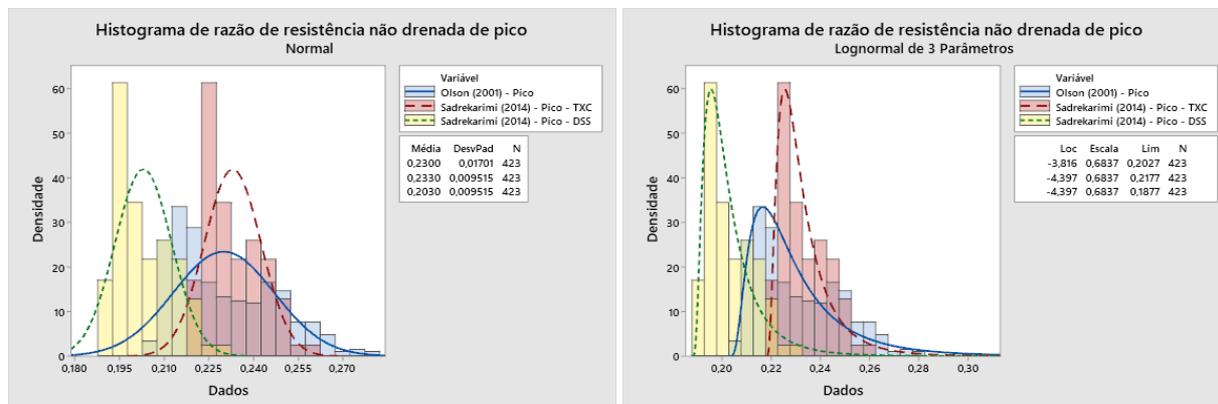


Figura 4. Histogramas e ajustes às distribuições normal e lognormal de 3 parâmetros – Olson (2001), Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento à compressão (TXC) e Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento simples (DSS).

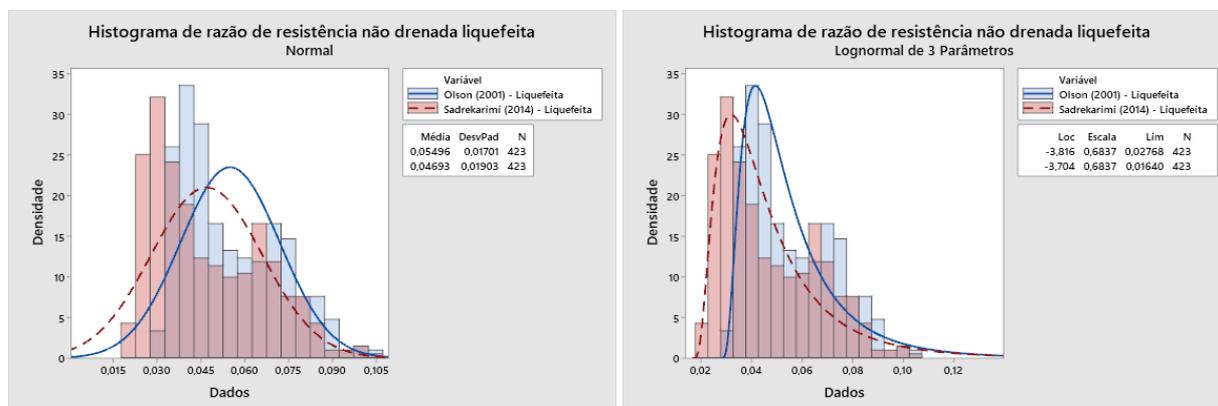


Figura 5. Histogramas e ajustes às distribuições normal e lognormal de 3 parâmetros – Olson (2001) e Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento à compressão (TXC).

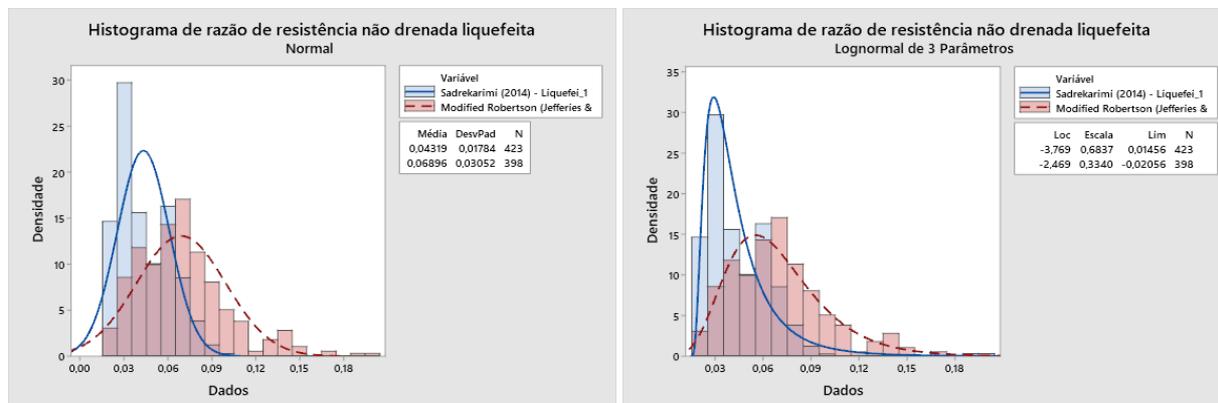


Figura 6. Histogramas e ajustes às distribuições normal e lognormal de 3 parâmetros – Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento simples (DSS) e Jefferies e Been (2016).

Como pode ser observado nas Figuras 4, 5 e 6, a curva de ajuste da distribuição de probabilidade normal não se ajusta aos histogramas, portanto, não é recomendado o uso da média. No caso de uma distribuição de probabilidade, a moda é o valor de pico da densidade (MONTGOMERY; RUNGER, 2021), sendo ela o valor mais representativo para a razão de resistência não drenada. Observa-se que, para os dados estudados, as distribuições de probabilidade lognormal de três parâmetros, Weibull de três parâmetros e gama de três parâmetros assumem um comportamento deslocado para a direita. Assim, a moda assume um valor menor que a média.

Dentre as 3 distribuições que apresentaram bom ajuste, a distribuição lognormal de três parâmetros foi a que melhor se adequou aos histogramas de razão de resistência não drenada de pico e liquefeita no presente trabalho. Aristizabal (2012) sugere a Equação 3 para o cálculo da moda para a distribuição lognormal de três parâmetros.

$$\text{Moda} = \gamma + e^{\mu - \sigma^2} \quad (3)$$

Sendo, γ o parâmetro de localização ou *threshold* (define o ponto onde a curva da distribuição começa), μ o parâmetro de escala (estica ou encolhe a distribuição) e σ o parâmetro de forma (afeta a forma da distribuição) (ARISTIZABAL, 2012).

Na Tabela 1 e na Tabela 2 estão apresentados os valores de razão de resistência não drenada de pico e liquefeita, respectivamente, obtidos utilizando a distribuição normal (média), lognormal de 3 parâmetros (moda), percentil 20 e 1º quartil. Os valores de moda encontrados para a distribuição lognormal de 3 parâmetros se aproximam 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 de resistência não drenada é o primeiro quartil. A forma de se obter um valor representativo para a resistência não drenada de pico e liquefeita se torna simplória quando adotado o valor do percentil 20 ou 1º quartil, não sendo necessário o uso de nenhum *software* estatístico mais complexo.

Tabela 1. Valores de razão de resistência não drenada de pico obtidos.

	Olson (2001)	Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento à compressão (TXC)	Sadrekarimi (2014) - Modo de cisalhamento simples (DSS)
Média	0,230	0,233	0,203
Lognormal de 3 parâmetros	0,216	0,225	0,195
Percentil 20	0,214	0,224	0,194
1º quartil	0,215	0,225	0,195

Tabela 2. Valores de razão de resistência não drenada liquefeita obtidos.

	Olson (2001)	Sadrekarimi (2014) – Modo de cisalhamento à compressão (TXC)	Sadrekarimi (2014) - Modo de cisalhamento simples (DSS)	Jefferies e Been (2016)
Média	0,055	0,047	0,043	0,069
Lognormal de 3 parâmetros	0,041	0,032	0,029	0,055
Percentil 20	0,039	0,029	0,026	0,042
1º quartil	0,040	0,030	0,028	0,047

Os ensaios do tipo CPTu utilizados no presente estudo foram realizados em um rejeito de minério de ferro disposto hidráulicamente. Como resultado do lançamento hidráulico do rejeito, houve a formação de duas áreas com comportamentos distintos: a praia, próxima ao ponto de espigotamento, e o lago à jusante. De modo geral, como esperado devido à disposição hidráulica do rejeito, observou-se um material com comportamento areno-siltoso e drenado na região da praia. Enquanto na região do lago, foi observado um material com lentes de comportamento silto-arenoso (sem geração de poropressão), intercaladas por lentes de material de comportamento silto-argiloso (com geração de poropressão). Tanto pelo parâmetro de estado proposto por Robertson (2010)

quanto pelo ábaco de classificação comportamental (SBTn) de Robertson (2016), o rejeito foi classificado como suscetível à liquefação devido à sua natureza contrátil e não coesiva.

As razões de resistência não drenada de pico e liquefeita foram calculadas utilizando as correlações empíricas de Olson (2001), Sadrekarimi (2014) e Robertson (2010) com modificação por Jefferies e Been (2016). Utilizando os valores de razão de resistência não drenada calculadas, foram gerados histogramas para cada um dos ensaios no *software* Minitab® 19, bem como o ajuste desses histogramas às curvas de distribuição de probabilidade disponíveis no programa. As distribuições de probabilidade lognormal de três parâmetros, Weibull de três parâmetros e gama de três parâmetros apresentaram bons ajustes.

Foi constatado que a curva de ajuste da distribuição de probabilidade normal não se ajusta aos histogramas. Assim, não é recomendado o uso da média, por se tratar de um valor maior que a moda e menos conservador para parâmetro de projeto. Como resultado da análise dos 44 ensaios do tipo CPTu, confirmou-se que a distribuição lognormal de três parâmetros é o melhor ajuste para as razões de resistência não drenada de pico e liquefeita.

5 CONCLUSÃO

O ajuste das distribuições de probabilidade aos histogramas se mostrou intrínseco ao comportamento do material estudado e independe da metodologia empírica de cálculo utilizada. Ao comparar a variação dos valores para cada um dos métodos empregados na obtenção das razões de resistência não drenada, observa-se que a média apresenta o maior valor para todos os métodos, ou seja, como parâmetro de projeto, o uso da média resulta em valores superiores para a razão de resistência não drenada em relação aos demais métodos e não é representativo para o material ensaiado. Portanto, fica evidente a importância do uso de abordagens estatísticas na determinação desses parâmetros, uma vez que o uso de valores não representativos implica em obras geotécnicas com maior incerteza e riscos de falhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assis, A.P. et al. (2018). *Apostila de Estatística Aplicada a Geotecnia*. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 278 p.
- Botelho, M. R. et al. (2021). Rompimento das barragens de Fundão e da Mina do Córrego do Feijão em Minas Gerais, Brasil: decisões organizacionais não tomadas e lições não aprendidas. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 46:e16, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbso/a/dFcg5LRcYkMgPZ8HyRkFgpQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2024.
- Freire Neto, J. P. (2009). *Estudo da liquefação estática em rejeitos e aplicação de metodologia de análise de estabilidade*. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3232>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2024.
- Jefferies, M.; Been, K. (2016). *Soil liquefaction – A Critical State Approach*. 2ª ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2016. 690 p.
- Mendes, L. O. (2019). *Análise Probabilística do Potencial de Falha por Liquefação Estática e Dinâmica de Barragens*. 2019. 147 f. Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/35512>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2024.
- Minitab (2021). *Visão geral de Gráfico de Probabilidade*. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/21/help-and-how-to/graphs/probability-plot/before-you-start/overview/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.
- Montgomery, D. C.; Runger, G. C. (2021). *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.
- Mota, C. V. (2019). *Tragédia em Brumadinho: o que são liquefação e 'piping', os dois principais problemas em barragens no Brasil*. BBC News, 3 de fev. de 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-4710750>>. Acesso em: 16 de janeiro de 2024.

- Olson, S. M. (2001). *Liquefaction analysis of level and sloping ground using field case histories and penetration resistance*. 2001. 564 f. Tese de PhD - University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, 2001. Disponível em: < <http://mae.cee.illinois.edu/publications/reports/Report02-02.pdf>>. Acesso em 16 de janeiro de 2024.
- Popescu, R; Prévost, J. H; Deodatis, G. (1997). *Effects of spatial variability of soil liquefaction: Some design recommendations*. *Geotechnique* 47.5 (1997): 1019-1036. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/246026205_Effects_of_spatial_variability_of_soil_liquefaction_Some_design_recommendations>. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.
- Resende, H. (2021). *Avaliação da variabilidade das razões de resistência de pico e liquefeita de um rejeito calculadas por métodos empíricos baseados em resultados de ensaio do tipo CPTu*. 68 f. Monografia (Graduação) – Engenharia Civil, UFMG, Belo Horizonte, 2021.
- Robertson, P. K. (2010). Evaluation of Flow Liquefaction and Liquefied Strength Using the Cone Penetration Test. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 136, n. 6, p. 842–853, 2010. Disponível em: <<https://www.cpt-robertson.com/PublicationsPDF/Robertson%202010%20Flow%20Liq%20ASCE.pdf>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.
- Robertson, P. K. (2016). Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification system — An update. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 53, n. 12, p.1910– 1927, 2016. Disponível em: < <https://www.cptrobertson.com/PublicationsPDF/Robertson%20Updated%20SBT%20CGJ%202016.pdf>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2024.
- Sadrekarimi, A. (2014). *Effect of the Mode of Shear on Static Liquefaction Analysis*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. v. 140. n. 12. P. 2.100-2.119.
- Santos Junior, M. P.; Ribeiro, S. G. S. (2018) *Uso da distribuição Log-Normal de três parâmetros da razão de resistência não drenada de pico em análise probabilística de liquefação estática em barragens de rejeito*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG, 2018.
- Schnaid, F. (2021). *On The Geomechanics and Geocharacterization of Tailings*. James K. Mitchell Lecture. ISC6 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization. Budapeste, 2021. Disponível em: < <http://www.isc6.org/images/Cikkek/Keynotes/ISC2020-501.pdf>>. Acesso em: 5 de fevereiro de 2024.