

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/555

## Obtenção de Parâmetros Geotécnicos Através da Análise de Pressiômetro e Comparação com Metodologias Baseadas em $N_{SPT}$ para Pilhas de Estéril.

Naiala Fidelis Gomes

Engenheira Geotécnica, DF+ Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, ngomes@df+engenharia.eng.br

Luiz Vinicius Rangel

Engenheiro Geotécnico, Tellus Company, Belo Horizonte, Brasil, lrangel@telluscompany.com.br

Guilherme Ribeiro

Engenheiro Geotécnico, SRK, Belo Horizonte, Brasil, gribeiro@dfmais.eng.br

Junio Fagundes

Engenheiro Geotécnico, DF+ Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, jfagundes@dfmais.eng.br

Felipe Cruz

Engenheiro Geotécnico, DF+ Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, fcruz@dfmais.eng.br

**RESUMO:** Este estudo se concentra na obtenção de ângulo de atrito efetivo do maciço de duas pilhas de estéril por meio da interpretação de ensaios pressiométricos, para isso foram considerados três métodos encontrados na literatura, são eles: Hughes et al. (1977), Calhoon (1970) e Centre d'Études Ménard (1970). Tendo em vista que os métodos para correlações dos dados obtidos com pressiômetros de Menard são empíricas, foi realizada uma comparação com os resultados obtidos por metodologias baseadas no ensaio de SPT (Standard Penetration Test) de modo a realizar uma análise geotécnica mais ampla e confiável do material que compõe as pilhas de estéril em estudo. As metodologias utilizadas para obtenção do ângulo de atrito efetivo por correlação com  $N_{spt}$  foram: Muromachi (1974), Shioi and Fukui (1982), Godoy (1983), Wolff (1989), Teixeira (1996), Hatanaka e Uchida (1996), Chen (2004), Schnaid (2009), Geofast (2018) e Mucheti & Albuquerque (2019). Os resultados indicaram que a utilização de pressiômetros de Menard fornece informações valiosas sobre a resistência do solo e quando realizado um tratamento estatístico, utilizando histogramas e definindo os parâmetros conforme a repetibilidade, pode ser representativo para utilização em pilha de estéril.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ângulo de atrito efetivo, ensaio pressiométrico (PMT), ensaio SPT

**ABSTRACT:** This study focuses on obtaining the effective friction angle of the mass of two waste rock piles through the interpretation of Menard pressuremeter tests. For this, three methods found in the literature were considered: Hughes et al. (1977), Calhoon (1970) and Center d'Études Ménard (1970). Considering that the methods for correlating data obtained with Menard pressuremeters are empirical, a comparison was made with the results obtained by methodologies based on the SPT test (Standard Penetration Test) in order to carry out a broader and more reliable geotechnical analysis. of the material that makes up the waste piles under study. The methodologies used to obtain the effective friction angle by correlation with  $nSPT$  were: Muromachi (1974), Shioi and Fukui (1982), Godoy (1983), Wolff (1989), Teixeira (1996), Hatanaka e Uchida (1996), Chen (2004), Schnaid (2009), Geofast (2018) e Mucheti & Albuquerque (2019). The results indicated that the use of Menard pressuremeters provides valuable information about soil resistance and when a statistical treatment is carried out, using histograms and defining parameters according to repeatability, it can be representative for use in waste piles.

**KEYWORDS:** Effective friction angle, pressuremeter test (PMT), SPT test

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos em áreas de mineração, como o estéril, é uma preocupação ambiental significativa. Pilhas de estéril, que consistem em disposição de materiais inertes provenientes das operações de mineração, requerem uma avaliação geotécnica adequada para garantir a segurança e estabilidade a longo prazo. O estéril é um agregado natural composto de um ou mais minerais, resultante da exploração mineral, porém desprovido de valor econômico, normalmente heterôgeneo principalmente a respeito da granulometria, podendo possuir de finos a blocos rochosos.

Os pressiômetros de Ménard são instrumentos de campo utilizados para medir a resistência do solo *in situ*, obtenção de  $k_0$  e ângulo de atrito, entre outros parâmetros geotécnicos. Esse ensaio de campo consegue fornecer informações sobre a compressibilidade e a resistência do solo. A execução de ensaios de laboratório em solos com presença de matações requer ensaios realizados em amostras de grandes dimensões para garantir a representatividade da amostra, já os ensaios *Standard Penetration Test* (SPT), em português Ensaio de Penetração Padrão, podem ter seus resultados mascarado pela resistência de blocos rochosos no solo.

Visto isso, o ensaio pressiométrico pode ser considerada uma excelente ferramenta de ensaio de campo para solos heterogêneos com a presença de blocos rochosos. No entanto, a correlação dos dados obtidos com pressiômetros de Ménard são empíricas e há necessidade de uma avaliação de engenharia para permitir uma análise geotécnica mais ampla e confiável de pilhas de estéril.

## 2 ENSAIO PRESSIOMÉTRICO (PMT)

O ensaio pressiométrico é um ensaio realizado “*in situ*”, tendo maior aplicação nos solos e rochas brandas ou solos duros. Este consiste na introdução de uma sonda cilíndrica dentro de um furo aberto no solo, e na aplicação de uma pressão que levará à expansão da sonda - Figura 1, tendo como consequência uma compressão horizontal do solo na zona envolvente (Da Silva, 2001). O modelo apresentado por Ménard está esquematizado na Figura 1.

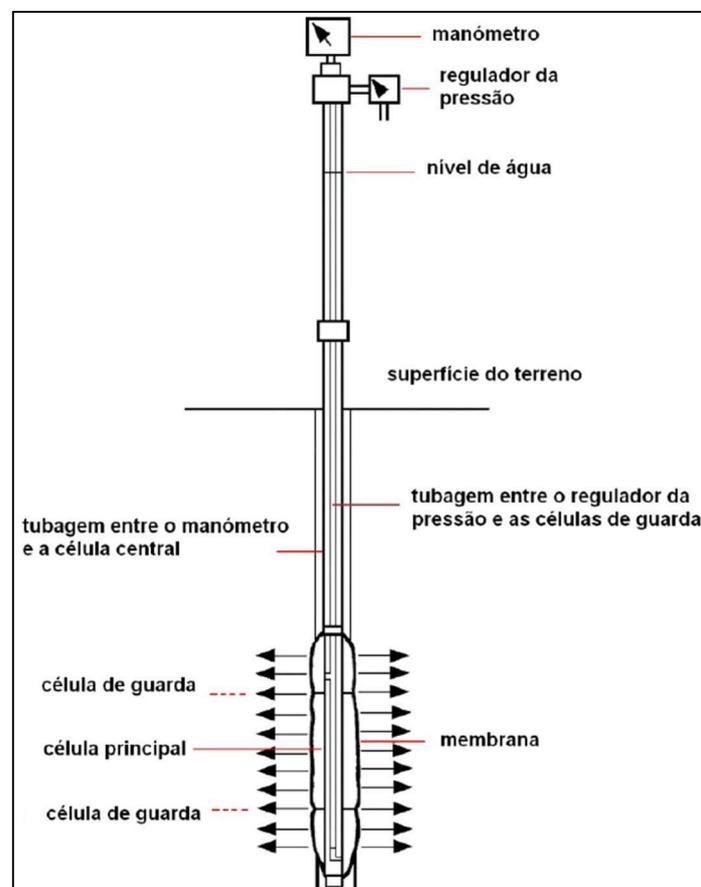


Figura 1. Esquema do pressiômetro de Ménard (Oliva, 2009).

Hoje em dia existem diferentes tipos de pressômetros, sendo a principal diferença entre eles o resultado do processo de introdução da sonda no solo. Assim sendo, tem-se: com pré-perfuração (PBPM – Preboring Pressuremeter); com autoperfuração (SBPM – Selfboring Pressuremeter); com cone, cravado no local (DCPM – Driven Cone Pressuremeter); com cone, penetração por pressão - (PCPM – Pushed Cone Pressuremeter); e com tubo exterior de revestimento, penetração por pressão - (PSPM – Pushed Shelby Tube Pressuremeter).

A utilização do pressômetro de pré-furo requer a abertura prévia de um furo no terreno, ou seja, é necessário recorrer a equipamento de furação. O pressômetro de Ménard é o modelo mais importante deste tipo de pressômetro, razão pela qual alguma bibliografia denomina o ensaio pressiométrico com este tipo de aparelho por MPT, *Menard Pressuremeter Test* ou, PBPM, *Preboring Pressuremeter*.

## 2.1 Interpretação do ensaio

Conforme normas ASTM D4719 (2020) e BS EN ISO 22476-4 (2012), a partir dos resultados obtidos pela calibração do pressômetro de Menard, são realizadas as correções dos dados brutos de volume e pressão, conforme as Equações (1) e (2), respectivamente.

$$p = p_r - p_e \cdot (V_r) + p_h \quad (1)$$

Onde:

- $p$ : pressão corrigida, em MPa;
- $p_r$ : pressão medida em 60 segundos, em MPa;
- $p_e(V_r)$ : pressão em função do volume medido em 60 segundos conforme a curva de calibração de pressão, em  $\text{cm}^3$ ;
- $p_h$ : pressão hidrostática entre a unidade de controle e a sonda, em MPa

$$V = V_r - p_e \cdot a \quad (2)$$

Onde:

- $V$ : volume corrigida, em  $\text{cm}^3$ ;
- $V_r$ : volume medido em 60 segundos, em  $\text{cm}^3$ ;
- $p_r$ : pressão medida em 60 segundos, em MPa;
- $a$ : coeficiente de calibração, fator obtido a partir da calibração de volume.

A pressão limite ( $p_l$ ) foi calculada por dois métodos, o primeiro foi o apresentado pela norma americana ASTM D4719 (2020), essa técnica consiste em plotar as três últimas leituras correspondentes à fase plástica numa escala  $P$  versus  $\text{Log}_{10}V$ . Os pontos plotados devem formar uma linha reta de acordo com a Figura 2, o prolongamento da reta até a ordenada correspondente ao dobro do volume inicial da cavidade, ou seja,  $V = V_s + 2V_1$ , fornecerá a pressão limite  $P_L$ . Considerando  $V_s$  o volume da sonda e  $V_1$  o volume do início da fase pseudoelástica.

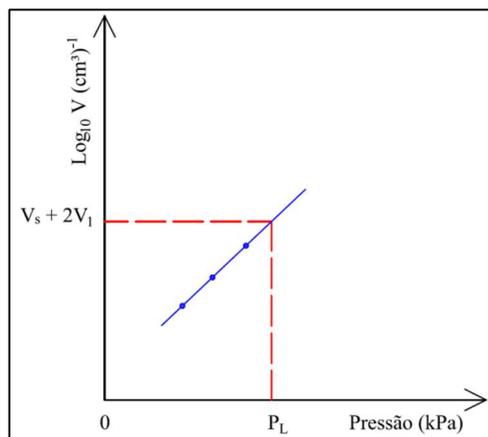


Figura 2. Técnica para obtenção da pressão limite – Ensaio Pressiométrico (Cândido, 2016).

O segundo método utilizado para cálculo da pressão limite foi o recíproco ( $1/V$ ), conforme a norma BS EN ISO 22476-4 (2012). Os pares  $(p, V)$  de leituras são transformados em valores  $(p, 1/V)$  e então é realizada uma regressão linear utilizando as três últimas leituras. Esta extrapolação deve ser obtida pela seguinte transformação (Equação (3)):

$$V^{-1} = A \cdot p + B \quad (3)$$

Onde:

- A e B: coeficientes obtidos por uma regressão de mínimos quadrados de Y em p.

Após a determinação destes coeficientes, a pressão limite é calculada pela Equação (4).

$$p_{LMR} = -\frac{B}{A} + \frac{1}{[A \cdot (V_s + 2V_1)]} \quad (4)$$

Onde:

- $p_{LMR}$ : pressão limite do solo, em MPa;
- $V_s$ : volume da célula central da sonda, em  $cm^3$ ;
- $V_1$ : volume do ponto inicial do trecho pseudoelástico, em  $cm^3$ .

Já o parâmetro de pressão ( $p_1^*$ ) é definido pela Equação (5).

$$p_1^* = p_1 - \sigma_{hs} \quad (5)$$

## 2.1 Determinação do Ângulo de Atrito

Para determinação do ângulo de atrito através do ensaio pressiométrico, foram considerados três métodos encontrados na literatura. O primeiro foi método de Hughes et al. (1977, apud Oliva, 2009), que se baseia na expressão da curva pressiométrica a partir da pressão de cedência, no entanto Briaud (1992, apud Oliva, 2009) avisa que este método foi desenvolvido para o pressiómetro auto perfurador.

O segundo método foi o empírico proposto por Calhoon (1970, apud Oliva, 2009) e determina o valor de  $\phi'$  com base nos parâmetros módulo pressiométrico ( $E_M$ ) e pressão limite ( $p_l$ ) através do ábaco apresentado na Dissertação de Oliva (2009) na Figura 4.15. Este método não apresentou resultados satisfatórios, já que para encontrar a interseção entre os resultados de  $E_M$  e  $p_l$  encontrados nos ensaios analisados neste estudo, as isolinhas desses parâmetros teriam que ser expandidas.

O terceiro e último método considerado foi a correlação empírica proposta pelo Centre d'Études Ménard (1970, apud Oliva, 2009) é o ábaco que se baseia na Esquação (6). O parâmetro  $b$  é igual a 180 para

solos saturados e igual a 350 para solos secos. O valor da pressão  $p_1^*$  é expresso em kPa. Clarke (1995, apud Oliva, 2009) aconselha o uso do valor médio,  $b = 250$ , tal como proposto por Ménard. Este último método foi o que apresentou melhores resultados e, portanto, foi o adotado neste estudo para as correlações.

$$p_1^* = b \times 2^{\frac{\phi - 24}{4}} \quad (6)$$

### 3 CORRELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E O ÂNGULO DE ATRITO

Diante do cenário de escassez de ensaios de laboratório na prática de engenharia, muitos autores propuseram correlações entre o índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ) e o ângulo de atrito ( $\phi$ ), dentre eles, Muromachi et al. (1974, apud Mc Gregor e Duncan, 1998), Shioi and Fukui (1982, apud Bowles, 1997), Godoy (1983, apud Ribeiro et al. 2019), Wolff (1989, apud Mutjaba et al. 2017), Teixeira (1996, apud Ribeiro et al. 2019), Hatanaka e Uchida (1996, apud Ching, 2016), Chen (2004, apud Ching, 2016), Schnaid (2009), Geofast (2018, apud Bicalho, 2019) e Mucheti & Albuquerque (2019) conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Metodologias para correlação entre o índice de resistência à penetração e o ângulo de atrito.

Metodologia	Formulação
Muromachi et al. (1974, apud Mc Gregor e Duncan, 1998)	$\phi = 20^\circ + 3,5 \cdot \sqrt{N_{70}}$
Shioi and Fukui (1982, apud Bowles, 1997)	$\phi = 27^\circ + 0,36 \cdot N_{70}$
Godoy (1983, apud Ribeiro et al. 2019)	$\phi = 28^\circ + 0,4 \cdot N_{70}$
Wolff (1989, apud Mutjaba et al. 2017)	$\phi = 27^\circ + 0,3 \cdot N_{60} + 0,00054 \cdot N_{60}^2$
Teixeira (1996, apud Ribeiro et al. 2019)	$\phi = 15^\circ + \sqrt{24 \cdot N_{70}}$
Hatanaka e Uchida (1996, apud Ching, 2016)	$\phi = 20^\circ + \sqrt{15,4 \cdot N_{1,60}}$
Chen (2004, apud Ching, 2016)	$\phi = 27,5^\circ + 9,2 \cdot \log_{10}(N_{1,60})$
Schnaid et al. (2009)	$\phi = 18^\circ \cdot N_{1,60}^{0,234}$
Geofast (2018, apud Bicalho, 2019)	$\phi = 25^\circ + \sqrt{24 \cdot N_{70}}$
Mucheti & Albuquerque (2019)	$\phi = (N_{70}/2,66) + 27,5$

É importante ressaltar que os resultados encontrados através das 10 metodologias apresentadas na Tabela 1 foram corrigidos em função da granulometria predominante do estéril (areia siltosa) pela metodologia Mucheti & Albuquerque (2019), visto isso, foi subtraído o valor de 0,71 nos ângulos de atritos obtidos.

### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores de ângulo de atrito efetivo para o estéril da Pilha I e II, respectivamente. Estes foram estimados a partir da consolidação de todos os furos de ocorrência desse material, a partir da correlação empírica proposta pelo Centre d'Études Ménard (1970) apud Oliva (2009). Os ensaios em negrito e sublinhado apresentaram maior discrepância para os valores de  $p_1^*$ , ou seja, ficaram fora do intervalo (média - 2 desvios padrão; média + 2 desvios padrão) e, conseqüentemente, os ângulos de atrito obtidos por esses ensaios, visto isso não foram desconsiderados para os dados estatísticos.

Tabela 2. Ângulo de atrito efetivo em função de  $p_1^*$  para o estéril da Pilha I.

Furo	Prof. (m)	$p_1^*$ (kPa)	$\phi$ (°)		
			Máximo b = 350	Médio b = 250	Mínimo b = 180
A	10,0	1780,7	37,2	35	33,3
A	18,5	294,8	26,9	24,6	23,0
A	20,0	943,3	33,6	31,3	29,7
A	25,0	1661,0	36,8	36,8	36,8
B	5,0	2131,9	38,3	36,1	34,4
C	5,0	2158,8	38,4	36,1	34,5
C	14,0	400,0	28,6	26,4	24,7
C	20,0	1598,5	36,6	34,4	32,7
D	10,0	2818,2	39,7	37,4	36,0

Tabela 3. Ângulo de atrito efetivo em função de  $p_1^*$  para o estéril da Pilha II.

Furo	Prof. (m)	$p_1^*$ (kPa)	$\phi$ (°)		
			Máximo b = 350	Médio b = 250	Mínimo b = 180
E	6	656,2	31,4	29,1	27,5
E	10	698,5	31,9	29,6	28,0
E	18	1.039,8	34,0	31,8	30,3
E	20	863,7	33,1	30,8	29,2
E	24	2.224,3	38,6	36,3	34,7
F	11	969,4	33,7	31,5	29,9
F	15	1.731,5	37,1	34,9	33,2
F	20	6.815,3	45,0	42,7	41,1
F	34	17.006,0	50,3	48,0	46,3
G	6	466,1	29,5	27,3	25,7
G	10	282,3	26,6	24,4	22,8
<b>G</b>	<b>15</b>	<b>44.120,6</b>	<b>55,9</b>	<b>53,5</b>	<b>52,0</b>
G	20	1.534,0	36,4	34,1	32,5
G	25	2.672,1	39,6	37,4	35,8
<b>H</b>	<b>5</b>	<b>94.800,7</b>	<b>60,1</b>	<b>57,9</b>	<b>56,2</b>
I	5	586,8	30,9	28,6	27,0
<b>I</b>	<b>10</b>	<b>31.074,4</b>	<b>53,8</b>	<b>51,7</b>	<b>49,7</b>

O tratamento estatístico dos dados de ângulo de atrito obtidos nos ensaios executados no estéril das Pilhas I e II (Tabelas 2 e 3) são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Prevost et al. (1997) sugere a utilização de um percentil de 20%, já Olson (2001) sugere a utilização de um percentil de 33%, buscando valores representativos à moda. No âmbito deste estudo foi considerado o 1º quartil (considerando b médio, temos  $\phi_{Pilha I} = 28,9$  e  $\phi_{Pilha II} = 29,0$ ), tendo em vista que a utilização de percentil elevado reproduzirá valores muito elevados e com pouca repetibilidade.

Tabela 4. Dados estatísticos obtidos para o ângulo de atrito efetivo em função de  $p_1^*$  do estéril da Pilha I.

Ângulo de Atrito b	$\phi$ (°)		
	Máximo	Médio	Mínimo
Mínimo	26,9	24,6	23,0
Máximo	39,7	37,4	36,8
Média	35,1	33,1	31,7
Desvio Padrão	3,6	3,8	3,9
1º Quartil	31,1	28,9	27,2

Tabela 5. Dados estatísticos obtidos para o ângulo de atrito efetivo em função de  $p_1^*$  do estéril da Pilha II.

Ângulo de Atrito b	$\phi$ (°)		
	Máximo	Médio	Mínimo
Mínimo	26,6	24,4	22,8
Máximo	50,3	48,0	46,3
Média	35,6	33,3	31,7
Desvio Padrão	4,8	4,8	4,8
1° Quartil	31,3	29,0	27,4

Nos ensaios à percussão realizados em 14 furos da Pilha de Estéril I, observou-se grande variação nos valores de resistência à penetração, alcançando valores de  $N_{SPT}$  entre 2 e 50 golpes, devido da presença de blocos e matacões justapostos ao material inconsolidado. Esse material apresentou espessuras de 1,00 a 51,00 m, a depender do furo prospectado. Tal resultado deve-se à heterogeneidade nos materiais depositados na Pilha. Foi observado uma diferença considerável entre os valores calculados para o ângulo de atrito de acordo com correlações dos diversos autores apresentados no item 3. O ângulo de atrito efetivo, considerando o valor mínimo e máximo dos resultados de  $N_{SPT}$  ensaiados corresponde ao intervalo de 25° a 49°.

Assim como na Pilha I, observou-se grande variação nos valores de resistência à penetração nos ensaios realizados em 21 furos da Pilha II, alcançando valores de  $N_{SPT}$  entre 2 e 50 golpes, devido da presença de blocos e matacões justapostos a material inconsolidado. Esse material apresentou espessuras de 1,00 a 39,00 m, a depender do furo prospectado. Esse resultado também confirma a heterogeneidade no estéril da Pilha II.

A Figura 3 apresenta os histogramas de ângulo de atrito efetivo obtidos por correlações com  $N_{SPT}$  nas 10 metodologias indicadas no item 3 para o Estéril das Pilhas I (Figura 3(a)) e II (Figura 3(b)). Assim como para ensaios PMT, foi considerado o 1° quartil da análise estatística dos ângulos de atrito obtidos por correlação com  $N_{SPT}$ , com isso foram encontrados os valores de 32,5° para o estéril da Pilha I e 31,9° para o estéril da Pilha II.

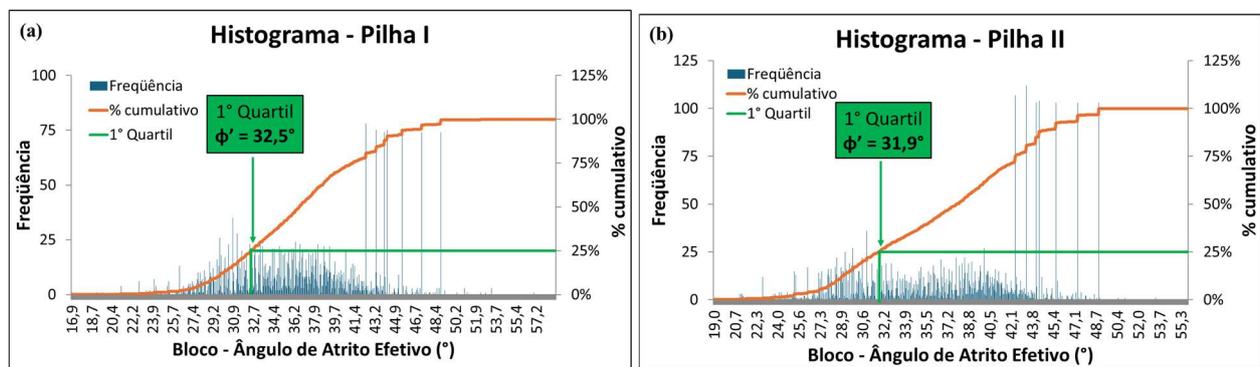


Figura 3. Histograma, Ângulo de Atrito Efetivo Obtido por Correlações com  $N_{SPT}$  (a) Pilha I e (b) Pilha II.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a comparação entre os valores de ângulo de atrito encontrados para o estéril a partir dos ensaios pressiométricos e aqueles encontrados pelo tratamento estatísticos das 10 correlações apresentadas no item 3 ( $\phi_{SPT \text{ Pilha I}} = 32,5^\circ$  e  $\phi_{SPT \text{ Pilha II}} = 31,9^\circ$ ), verifica-se que para os estéreis das duas pilhas, independente do parâmetro b utilizado, os ângulos de atrito encontrados pelos ensaios PMT apresentaram menor variação nos resultados e foram inferiores aos obtidos através do  $N_{SPT}$ . Este fato pode estar correlacionado com a presença de blocos rochosos no estéril das duas pilhas, já estes podem tender a um  $N_{SPT}$  elevado.

A diferença entre os resultados encontrados pelas correlações com  $N_{SPT}$  e pelos ensaios PMT ( $\phi'_{SPT} - \phi'_{PMT}$ ), considerando o parâmetro b, variaram de 1,4° a 5,3° na Pilha I e de 1,2° a 5,1° na Pilha II, sendo os resultados da Pilha I ligeiramente mais discrepante que os da Pilha II, esse fato pode indicar maior heterogeneidade do estéril da Pilha I.

Também foi verificado que apesar dos ângulos de atrito efetivos obtidos através dos ensaios PMT serem ligeiramente maior na Pilha II, os resultados encontrados pelas correlações com  $N_{SPT}$  são maiores na Pilha I

com uma diferença entre os valores superior ao do PMT. Embora haja essa ligeira diferença entre os ângulos de atrito das pilhas encontrados pelos dois ensaios, esta diferença não é significativa. Pode-se correlacionar essa pequena diferença entre os ângulos de atritos da Pilha I e da Pilha II ao fato de que o estéril das duas estruturas são provenientes da mesma mina.

Pode-se concluir que a utilização de pressiômetros de Menard fornece informações valiosas sobre a resistência do solo, aparentemente se mostra menos sensível à heterogeneidade do material e quando realizado um tratamento estatístico, utilizando histogramas e definindo os parâmetros conforme a repetibilidade, pode ser representativo para utilização em pilha de estéril. Além disso, a correlação dos dados com metodologias baseadas em  $N_{SPT}$  permite uma parametrização, podendo comparar e avaliar a ordem de grandeza dos dados obtidos pelo ensaio pressiométrico, o que é crucial para a avaliação da estabilidade e segurança da pilha de estéril.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International (2020). ASTM D4719: *Standard test method for prebored pressuremeter testing in Soils*.
- Bicalho, A.L.B.A. (2019) Análise de soluções para projeto de fundação de aterro sobre solo compressível no KM571+100 da pista norte da BR-381. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto/ UFOP, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, 162 p.
- Bowle, P.E. (1997). *Foundation Analysis And Design*, Fifth Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc. New York, NY, USA, 1168 p.
- BSI Standards Publication (2012). BS EN ISO 22476-4:2012: *Geotechnical investigation and testing — Field testing Part 4: Ménard pressuremeter test*.
- Cândido, E. S. (2016) *Análise inversa do ensaio pressiométrico utilizando o modelo hiperbólico*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa/ UFV, 177 p.
- Da Silva, E.M.J. (2001) O Ensaio Pressiométrico: Metodologia de Ensaio e Calibração do Equipamento. Disponível em: <[http:// https://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/152/1/11\\_23.pdf](http://https://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/152/1/11_23.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2024.
- Ching, J., Lin, G., Chen, J., Phoon, K. (2016) Transformation models for effective friction angle and relative density calibrated based on a generic database of cohesionless soils. *Canadian Geotechnical Journal*. doi.org/10.1139/cgj-2016-0318.
- McGregor, J. A., Duncan, J. M. (1998) Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice. Report of a study performed by the Virginia Tech Center for Geotechnical Practice and Research.
- Mucheti, A. S. e Albuquerque, P. J. R. (2019) Desenvolvimento de correlação entre NSPT e ângulo de atrito efetivo e, também, ajuste de ângulos de atritos obtidos por correlação com NSPT em função da granulometria do material. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, Brasil.
- Mutjaba, Hassan; Farooq, Khalid; Sivakugan, Nagaratnam; Das, Braja M. (2017) Evaluation of Relative Density and Friction Angle Based on SPT-N Values. *KSCE Journal of Civil Engineering*, DOI 10.1007/s12205-017-1899-5.
- Oliva, R.R.R.S (2009) *Caracterização do comportamento de materiais a partir do ensaio pressiométrico*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 125 p.
- Olso, S.M. (2001) *Liquefaction analysis of level and sloping ground using field case histories and penetration resistance*. Doctor of Philosophy in Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, 566p.
- Prevost, J. H.; Deodatis, G.; Popescu, R. (1997). *Effects of spatial variability on soil liquefaction: some design recommendations*. *Géotechnique*, 47(5), 1019–1036. doi:10.1680/geot.1997.47.5.1019.

- Ribeiro, D. F. D., Aguiar, M. F. P., Mendes, G. C. M., Veríssimo, S. F. (2019) Estudo das Correlações entre os Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento dos Solos e o Índice de Resistência à Penetração ( $N_{SPT}$ ). 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, São Paulo, Brasil.
- Schinaid, F., Odebrecht, E., Rocha, M.M., Bernardes, G.P. (2009) Prediction of soil properties from the concepts of energy transfer in dynamic penetration tests. *J. Geotech. Geoenv. Eng., ASCE*, v. 135, n. 8, p. 1092-1100.
- Shioi, Y., and J. Fukui (1982), "Application of N-Value to Design of Foundations in Japan," 2nd ESOPT, vol. 1, pp. 159-164.