

# Interpretação de Ensaios de Dissipação de Excessos de Poropressão Gerados em Ensaios do Tipo CPTu

Thiago Nunes Malaco

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, thiagomalacco@gmail.com

Lúcio Flávio de Souza Villar

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, lvillar@etg.ufmg.br

Giovani Cecatto Lopes Ribeiro da Costa

Chammas Engenharia, Belo Horizonte, Brasil, giovanicrlcosta@gmail.com

**RESUMO:** Este artigo apresenta uma análise de ensaios de dissipação dos excessos de poropressão gerados durante a penetração de piezocone em solo de comportamento argiloso em um maciço de barragem de rejeitos de mineração de ferro. Duas metodologias foram utilizadas para definir o tempo necessário para dissipar 50% do excesso de poropressão ( $t_{50}$ ), informação necessária para calcular o coeficiente de adensamento horizontal ( $c_h$ ). A primeira metodologia necessita da estabilização da poropressão, que pode resultar em um ensaio demorado. Estes dados foram plotados em duas escalas diferentes. A primeira escala usa um gráfico da poropressão versus a raiz quadrada do tempo, em que seu trecho retilíneo pode ser prolongado para obter a leitura da poropressão no tempo zero. E a outra, tendo a poropressão versus o tempo em escala logarítmica, sendo feita uma translação dos dados iniciais para determinar a poropressão no tempo zero. A segunda metodologia utiliza apenas parte das leituras dos ensaios de dissipação, que define o  $t_{50}$  sem necessidade de esperar a estabilização da poropressão, possibilitando, assim, uma significativa diminuição na duração do ensaio. Os valores do coeficiente de adensamento horizontal calculados para o material analisado através da segunda metodologia tenderam a ser 15% maiores que os valores calculados pela primeira metodologia, quando se obtém o  $t_{50}$  do gráfico de poropressão em função da raiz do tempo. E tenderam a ser 25% menores que os valores também calculados pela primeira metodologia, mas quando se obtém o  $t_{50}$  do gráfico de poropressão em função do tempo na escala logarítmica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Poropressão, Piezocone, Argilas, Dissipação.

**ABSTRACT:** This paper presents an analysis of the dissipation of pore pressure excess during piezocone penetration tests of clayey soils from an iron mining tailings dam. Two different methodologies were used to determine the time needed to dissipate 50% of pore pressure excess ( $t_{50}$ ), necessary parameter to calculate the coefficient of horizontal consolidation ( $c_h$ ). The first methodology requires the pore pressure stabilization, which can be time consuming. The data was plotted in two different scales. The first scale relates pore pressure versus the square root of time, which the rectilinear section can be extended to determine the pore pressure value at time zero. In the second one, pore pressure data was plotted versus time in logarithmic scale and the initial data was shifted to determine the pore pressure at time zero. The second methodology uses only part of the dissipation test readings, which the definition of  $t_{50}$  is done without requiring pore pressure stabilization and, therefore, making it possible to decrease the duration of the tests. The values of horizontal consolidation coefficient calculated for the analyzed material using the second methodology tended to be 15% greater than the values calculated using the first methodology, when the  $t_{50}$  of the pore pressure graph is obtained as a function of the square root of time. Furthermore, they tended to be 25% lower than the values also calculated using the first methodology, but when the  $t_{50}$  of the pore pressure graph as a function of time is obtained on the logarithmic scale.

**KEY WORDS:** Pore pressure, Piezocone, Clay, Dissipation

## 1 INTRODUÇÃO

Rosa e Marques (2019), ao estudarem a estimativa de coeficiente de adensamento a partir de resultados de ensaios de dissipação dos excessos de poropressão realizados durante ensaios do tipo CPTu (ensaio de penetração de cone com medição de poropressão),

relatam a dificuldade na interpretação dos dados devido ao não conhecimento da dissipação completa dos excessos de poropressão (definição da poropressão de estabilização). Baroni (2010) expõe dificuldades de se alcançar 70% de dissipação, mesmo com tempos de espera na ordem de três horas. De acordo com Krage et al (2015), argilas de baixa

permeabilidade podem exigir um tempo de ensaio de 6 a 24 horas para obtenção do valor de  $t_{50}$  (tempo necessário para 50% da dissipação do excesso de poropressão gerado devido à cravação do CPTu), tornando caro e difícil completar um ensaio deste tipo em um dia. E estes tempos são necessários para o cálculo do coeficiente de adensamento horizontal e da permeabilidade do meio onde o ensaio CPTu está sendo executado.

Pensando nesta problemática, Pereira (2017) propôs uma metodologia para determinação do valor de  $t_{50}$  realizando um ajuste polinomial na curva de dissipação dos excessos de poropressão obtida durante os ensaios CPTu. Este ajuste permite que o ensaio de dissipação seja realizado em tempo reduzido.

Dessa forma, este artigo se propõe avaliar a metodologia proposta por Pereira (2017), comparando os resultados fornecidos por ela e pela metodologia proposta por Houlsby e Teh (1991) que, de acordo com Bihs et al. (2021), vem sendo a mais utilizada para interpretação dos ensaios de dissipação dos excessos de poropressão gerados devido a execução de ensaios do tipo em condições não drenadas em solos. Essa comparação é realizada utilizando os resultados de ensaios executados em barragem de rejeitos e permite verificar se as duas metodologias conduzem a valores de  $t_{50}$  e  $c_h$  (coeficiente de adensamento horizontal) semelhantes, indicando que o ganho no tempo de execução do ensaio não compromete a interpretação dos resultados.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área Estudada

Para a interpretação de ensaios de dissipação de excessos de poropressão gerados durante o ensaio CPTu foi selecionada uma área onde os mesmos ensaios foram realizados e tiveram duração superior a três horas para atingir a estabilização da poropressão. Esta escolha possibilitou uma comparação direta entre os resultados calculados considerando os ensaios completos, ou seja, todas as leituras até a estabilização, pela metodologia de Houlsby e Teh (1991), e considerando os resultados como se os ensaios fossem incompletos, ou seja, sem atingir a estabilização da poropressão e, conseqüentemente, como se tivessem terminado com um menor tempo de duração, pela metodologia de Pereira (2017).

Estes ensaios foram realizados ao longo do maciço de uma barragem de rejeitos de minério de ferro, construída em etapa única, localizada no

quadrilátero ferrífero. A campanha de investigação contou com três verticais de ensaios e, em cada uma delas, foram realizados ensaios de dissipação em variadas profundidades, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Resumo dos ensaios CPTu estudados.

Furo	Nº do ensaio	Profundidade (m)	Comportamento previsto
CPTu-1	1	4	Argila
	2	6	Argila
	3	15,5	Silte argiloso a argila siltosa
CPTu-2	4	5	Argila
	5	6	Areia siltosa a silte arenoso
	6	7	Argila
	7	8	Argila a argila siltosa
CPTu-3	8	5	Argila
	9	11,5	Argila
	10	13,5	Argila
	11	14,5	Argila a argila siltosa
	12	15,5	Silte argiloso a argila siltosa

A condição não drenada da cravação do piezocone foi garantida pela confirmação de que, ao longo de toda ela, foram geradas variações positivas de poropressão.

### 2.2 Cálculo do Coeficiente de Adensamento Horizontal Segundo o Método de Houlsby e Teh (1991)

O coeficiente de adensamento horizontal ( $c_h$ ) foi calculado por meio da Equação (1) conforme o método proposto por Houlsby e Teh (1991) que, de acordo com Mayne (2007) e Bihs et al. (2021), se trata do método mais popular para se avaliar este coeficiente a partir do ensaio de dissipação.

$$c_h = \frac{T^* \cdot r^2 \cdot \sqrt{I_r}}{t_{50}} \quad (1)$$

Onde  $c_h$  ( $m^2/s$ ) é o coeficiente de adensamento horizontal;  $T^*$  é o fator do tempo modificado;  $r$  (m) é o raio do piezocone;  $I_r$  é o Índice de Rigidez;  $t_{50}$  (s) é o tempo de dissipação de 50% do excesso de poropressão.

#### 2.2.1 Cálculo do $t_{50}$

A poropressão de estabilização  $u_0$  foi considerada igual ao último valor observado na curva dos dados de valores de poropressão registrados plotados em

relação ao tempo, desde que esta curva apresentasse a tendência a ficar horizontal. Esta estabilização da poropressão foi assumida após confirmar leituras repetidas ao final do ensaio.

Para o cálculo da poropressão inicial  $u_i$  é necessário ajustar a curva de dissipação, uma vez que pode haver efeito de descarga e redistribuição local da poropressão antes do início da dissipação o que segundo Sully et al., (1999) pode ser caracterizado pelo aumento inicial da poropressão antes do seu decaimento. Estes autores discutem dois possíveis procedimentos para este ajuste. O primeiro procedimento considera um prolongamento do trecho retilíneo da curva de dissipação de excessos de poropressão versus raiz quadrada do tempo até o tempo zero. Desse modo, os valores de  $t_{50}$  são calculados como sendo iguais à metade da diferença entre  $u_{i,ext}$  e  $u_0$ , conforme ilustrado na Figura 1.

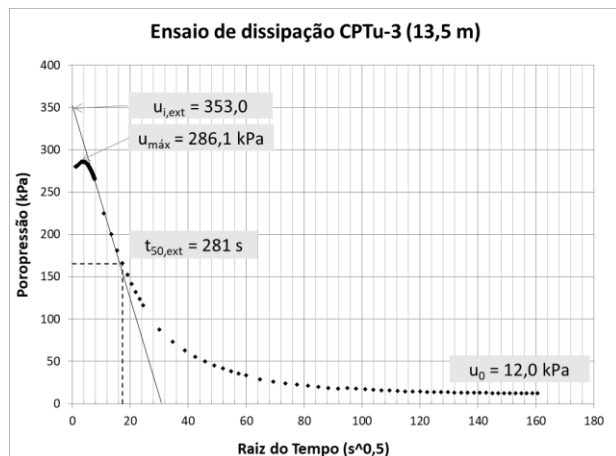


Figura 1. Cálculo de  $u_{i,ext}$  e  $t_{50}$ .

O segundo procedimento translada a curva dissipação de excessos de poropressão *versus* tempo na escala logarítmica para que o ponto de máxima poropressão lida esteja no tempo zero, desconsiderando o aumento inicial da poropressão e deslocando toda a curva. Desse modo, foram calculados os valores de  $t_{50}$  iguais à metade da diferença entre  $u_{transl}$  e  $u_0$ , conforme ilustrado na Figura 2.

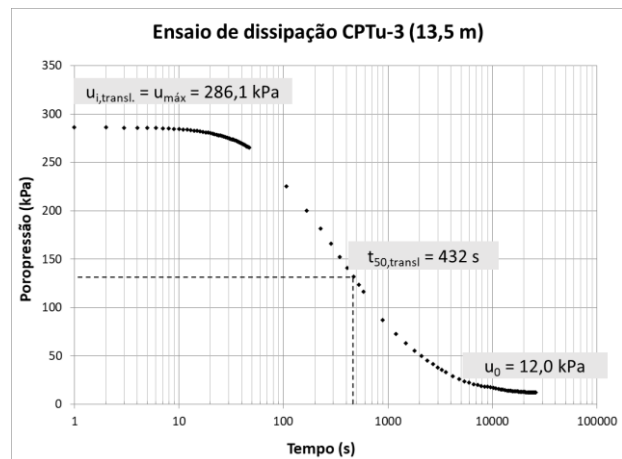


Figura 2. Cálculo de  $u_{i,transl}$  e  $t_{50}$ .

### 2.2.2 Definição do Fator de Tempo Modificado ( $T^*$ ) e Índice de Rigidez ( $I_r$ )

Uma vez que o piezocone utilizado dispõe do sensor de poropressão posicionado logo após a ponteira cônica e o cálculo em questão se refere aos 50% de dissipação, foi utilizado um fator de tempo modificado que, de acordo com Hously e Teh (1991), é igual a 0,245. O índice de rigidez foi considerado igual a 250, valor próximo aos encontrados por Agaiby e Mayne (2018) ao avaliar o índice de rigidez em argilas em condições de carregamento não drenado, uma vez que os resultados dos ensaios CPTu foram não drenados e indicaram comportamento do perfil como sendo argiloso.

### 2.3 Cálculo do Coeficiente de Adensamento Horizontal Segundo a Metodologia Polinomial Proposta por Pereira (2017)

A metodologia polinomial proposta por Pereira (2017) requer, segundo o próprio autor, um mínimo de 40% de dissipação do excesso de poropressão para que os cálculos possam ser realizados com precisão aceitável. Contudo, partindo do pressuposto da possibilidade da poropressão de equilíbrio não ser conhecida, foram considerados os dados de ensaio até o primeiro ponto, no trecho descendente, com valor imediatamente inferior a 60% da poropressão máxima ( $u_{máx}$ ) lida durante o ensaio. Dessa forma, considera-se que o mínimo de 40% de dissipação do excesso de poropressão é garantido e a operação do ensaio passa a não depender do conhecimento da poropressão de equilíbrio, que nem sempre pode ser facilmente obtida e ter medidas confiáveis (Mantaras et al., 2015).

Assim, traçou-se uma nova curva de dissipação em função do logaritmo do tempo, em que o ensaio

completo fora reduzido de 7 horas e 10 minutos para apenas 5 minutos (Figura 3). O valor máximo de poropressão lido, neste ensaio, foi igual a 286,1 kPa e o último ponto considerado, com 300 segundos de duração, tem valor de poropressão igual a 165,8 kPa, valor este igual a 58% do valor máximo. Conforme proposto por Pereira (2017), o trecho linear descendente da curva deve ser extrapolado até se atingir um grau de dissipação igual a 70% de dissipação. Contudo, conforme ilustrado na Figura 3, considerando a possibilidade de não se conhecer o valor da poropressão de equilíbrio para a definição destes 70%, considerou-se a extrapolação do trecho linear até 30% do valor de  $u_{m\acute{a}x}$  registrado, o que, no caso em questão, corresponde ao valor de 85,8kPa.

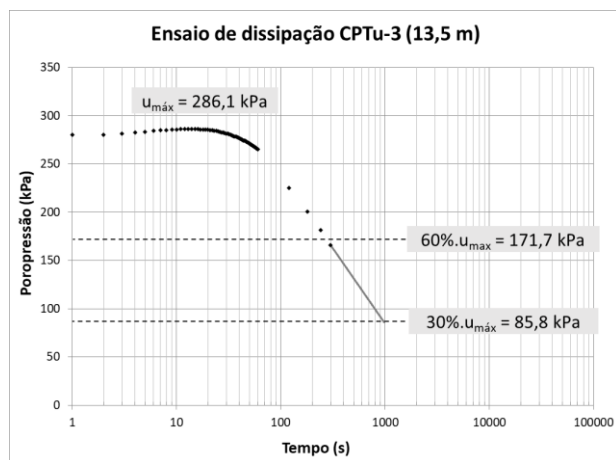


Figura 3. Curva extrapolada a partir de 5 minutos de ensaio.

### 2.3.1 Ajuste Polinomial, Derivada 1ª e 2ª, e Cálculos de $u_{50}$ e $t_{50}$

A partir da nova curva de dissipação encontrada com a extrapolação realizada do trecho retilíneo exemplificado na Figura 3, utilizou-se a função PROJ.LIN do software Excel para cálculo da função polinomial de 8º grau que rege a regressão da curva. Em seguida, calcularam-se as derivadas primeira e segunda da função polinomial encontrada, onde, no tempo em que a derivada primeira é mínima e a derivada segunda é igual à zero, tem-se o ponto de inflexão que, segundo Pereira (2017), se refere à dissipação de 50% do excesso de poropressão gerado na cravação. Assim, os valores da curva encontrada pela função polinomial, as derivadas e a curva original são plotadas em um mesmo gráfico, com os seus respectivos resultados encontrados para  $t_{50}$ .

A Figura 4 ilustra o resultado deste gráfico para o ensaio exemplo, que permite comparar os resultados finais entre as metodologias de Houlsby e Teh (1991), considerando o  $t_{50}$  obtido da curva

extrapolada (poropressão versus raiz quadrada do tempo) e da curva transladada (poropressão versus tempo na escala logarítmica), e a metodologia polinomial proposta por Pereira (2017).

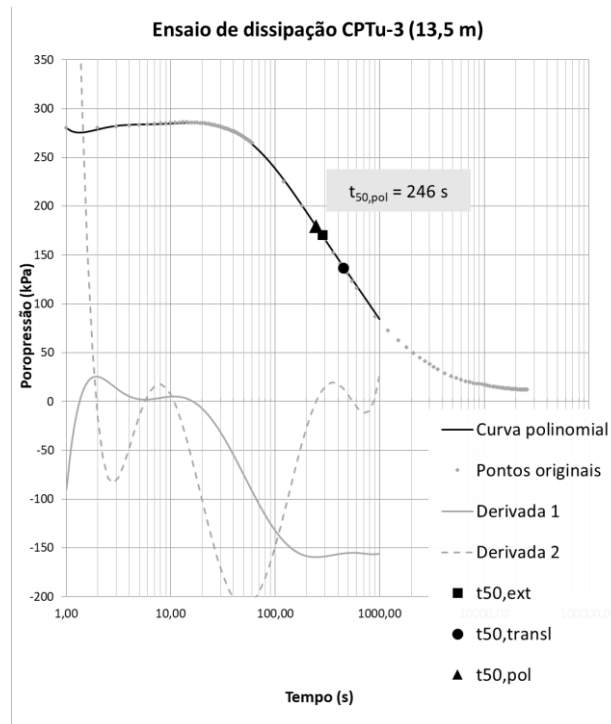


Figura 4. Curva de dissipação e  $t_{50}$  calculados pela metodologia proposta por Pereira (2017).

## 3 RESULTADOS

As metodologias descritas neste trabalho, conforme dispostas na seção anterior, foram aplicadas exatamente da mesma forma para cada um dos ensaios selecionados. Como resultados, foram obtidos os coeficientes de adensamento horizontal calculados a partir das curvas completas de dissipação e das suas aproximações polinomiais, com os respectivos valores encontrados de  $t_{50}$  e  $c_h$ , utilizando os mesmos valores de  $T^*$  e  $I_r$  considerados no item 2.2.2.

### 3.1 Duração dos Ensaio

A Tabela 2 mostra a duração dos ensaios realizados até a estabilização da curva de dissipação do excesso de poropressão gerada na cravação do CPTu, estabilização esta que é necessária para os cálculos do  $t_{50}$  segundo Houlsby e Teh (1991), comparando com o tempo de ensaio necessário para aplicação da metodologia proposta por Pereira (2017). Pode ser notado o enorme ganho de tempo que a segunda metodologia proporciona na realização do ensaio.

Tabela 2. Duração necessária dos ensaios

Furo	n° do ensaio	Prof. (m)	Para os cálculos por Houlsby e Teh (1991)	Para os cálculos por Pereira (2017)
CPTu-1	1	4,0	04:20	00:15
	2	6,0	04:10	00:20
	3	15,5	07:10	00:25
CPTu-2	4	5,0	06:20	00:15
	5	6,0	06:40	00:03
	6	7,0	07:00	00:06
	7	8,0	07:30	00:04
CPTu-3	8	5,0	07:30	00:03
	9	11,5	04:20	00:25
	10	13,5	07:10	00:05
	11	14,5	07:40	00:30
	12	15,5	03:20	00:20

### 3.2 Tempo para Dissipação de 50% do Excesso de Poropressão ( $t_{50}$ )

A Tabela 3 e Tabela 4 apresentam os resultados de  $t_{50}$  e  $c_h$ , respectivamente, tanto para o cálculo conforme Houlsby e Teh (1991), utilizando a extrapolação da curva de poropressão versus a raiz quadrada do tempo, quando o  $t_{50}$  daí obtido foi chamado de  $T_{50Ext}$ , e a curva de poropressão versus o tempo na escala logarítmica, chama de transladada e onde o  $t_{50}$  daí obtido foi chamado de  $T_{50Transl}$ , quanto para o cálculo seguindo a proposta de Pereira (2017), quando o  $t_{50}$  daí obtido foi chamado de  $T_{50Pol}$ , com suas devidas adequações para este estudo, já discutidas anteriormente no item 2.3. Para comparar os resultados utilizando as diferentes aproximações de valores de poropressão inicial, as diferenças relativas entre os resultados foram calculadas.

Tabela 3. Diferença entre os resultados de  $t_{50}$  obtidos por diferentes metodologias

n° do ensaio	$T_{50Ext}$ (s)	$T_{50Transl}$ (s)	$T_{50Pol}$ (s)	Diferença Pol-Ext	Diferença Pol-Transl	Diferença Ext-Transl
1	446	634	820	84%	29%	42%
2	649	975	956	47%	-2%	50%
3	1337	2287	1249	-7%	-45%	71%
4	658	1158	1019	55%	-12%	76%
5	113	165	127	12%	-23%	46%
6	249	386	297	19%	-23%	55%
7	195	284	249	28%	-12%	46%
8	106	159	121	14%	-24%	50%

9	855	1446	1287	51%	-11%	69%
10	281	432	246	-12%	-43%	54%
11	1242	1678	1979	59%	18%	35%
12	1059	1943	1119	6%	-42%	83%

Tabela 4. Diferença entre os resultados de  $c_h$  obtidos por diferentes metodologias

n° do ensaio	$c_h Ext$ ( $m^2/s$ )	$c_h transl$ ( $m^2/s$ )	$c_h Pol$ ( $m^2/s$ )	Diferença Pol-Ext	Diferença Pol-Transl	Diferença Ext-Transl
1	3,03E-06	2,13E-06	1,65E-06	-46%	-23%	-30%
2	2,08E-06	1,39E-06	1,41E-06	-32%	2%	-33%
3	1,01E-06	5,91E-07	1,08E-06	7%	83%	-42%
4	2,05E-06	1,17E-06	1,33E-06	-35%	14%	-43%
5	1,20E-05	8,19E-06	1,06E-05	-11%	30%	-32%
6	5,43E-06	3,50E-06	4,55E-06	-16%	30%	-35%
7	6,93E-06	4,76E-06	5,43E-06	-22%	14%	-31%
8	1,28E-05	8,50E-06	1,12E-05	-12%	31%	-33%
9	1,58E-06	9,35E-07	1,05E-06	-34%	12%	-41%
10	4,81E-06	3,13E-06	5,50E-06	14%	76%	-35%
11	1,09E-06	8,06E-07	6,83E-07	-37%	-15%	-26%
12	1,28E-06	6,96E-07	1,21E-06	-5%	74%	-45%

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram comparados os resultados entre todas as três diferentes abordagens, considerando a curva polinomial (Pereira, 2017), a curva extrapolada (u versus raiz quadrada do tempo) e a curva transladada (u versus tempo na escala logarítmica) (Houlsby e Teh, 1991). Nos gráficos, ilustrados pela Figura 5, Figura 6 e Figura 7, a linha pontilhada representa valores equivalentes entre as abordagens, ou seja, valores ideais com diferença zero. Já as linhas contínuas são utilizadas como referência e foram traçadas representando uma diferença igual a 30% para facilitar a comparação visual das diferenças entre os resultados. Os 12 pontos nos gráficos de dispersão representam os resultados de  $c_h$  obtidos dos 12 ensaios de dissipação realizados. Adicionalmente, foi realizada uma regressão linear em cada gráfico para que fosse possível verificar como se comportam os valores obtidos a partir de cada comparação. Além disso, foram calculados os seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) com o intuito de verificar se as linhas de tendência, obtidas das regressões, são adequadas ou não para descrever o

comportamento das comparações. Quanto mais próximo de um é o valor de  $R^2$ , melhor a linha de tendência descreve o fenômeno (Peternelli, 2004).

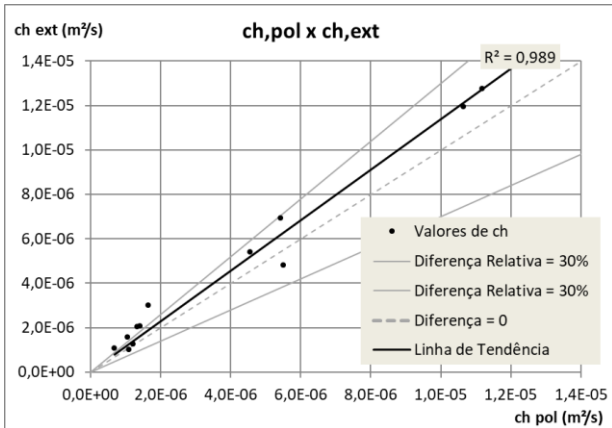


Figura 5. Comparação entre os valores calculados de  $Ch_{,pol}$  e  $Ch_{,ext}$ .

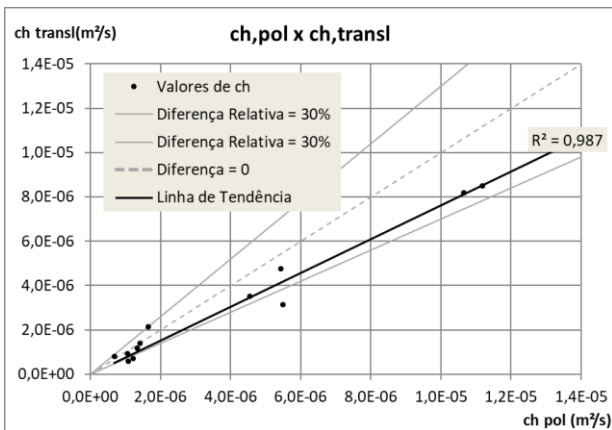


Figura 6. Comparação entre os valores calculados de  $Ch_{,pol}$  e  $Ch_{,transl}$ .

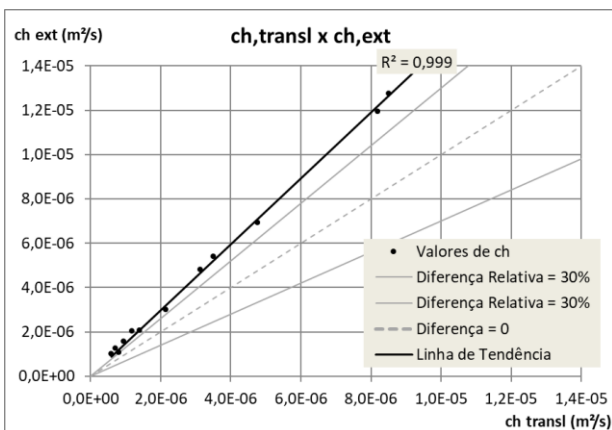


Figura 7. Comparação entre os valores calculados de  $Ch_{,transl}$  e  $Ch_{,ext}$ .

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao todo, foram analisados 12 ensaios de dissipação, todos realizados até a dissipação completa do excesso de poropressão, ou seja, até a estabilização da curva poropressão versus tempo. O fato de se trabalhar apenas com as curvas completas de dissipação foi uma vantagem, uma vez que os resultados obtidos a partir destas não dependem de estimativas da poropressão de estabilização e, portanto, são mais confiáveis para serem comparadas utilizando as diferentes metodologias. Devido às condições da estrutura e do comportamento do solo ser majoritariamente argiloso e sobreadensado, todas as curvas dos ensaios de dissipação considerados neste trabalho apresentaram decaimento não monotônico e valores apenas positivos. Portanto, não foram consideradas curvas de dissipação que começassem com valores negativos de poropressão, ou que não tivessem uma redistribuição inicial da poropressão, resultando em um acréscimo inicial dos valores durante o ensaio, conforme indicado por Sully et al., (1999).

A metodologia de Hously e Teh (1991) foi aplicada aos ensaios completos, ou seja, com a poropressão de estabilização bem determinada, com a determinação do  $t_{50}$  tanto sendo feita por um prolongamento do trecho linear inicial da curva de poropressão versus raiz do tempo quanto por uma translação das curvas de poropressão versus o tempo na escala logarítmica dos ensaios de dissipação para definição da poropressão inicial  $u_i$ . Já a metodologia proposta por Pereira (2017), aplicada à curva de dissipação dos excessos de poropressão incompleta, ou seja, sem atingir a poropressão de estabilização, considera uma regressão polinomial de 8º grau e calcula o ponto de inflexão da curva em seu decaimento.

Durante os cálculos pelo método proposto por Hously e Teh (1991) utilizando a metodologia extrapolada ( $u$  versus raiz quadrada do tempo), notou-se que o cuidado na escolha do trecho retilíneo a ser prolongado para estimativa da poropressão inicial é muito importante, uma vez que qualquer desvio pode resultar em diferenças significativas nos valores de  $t_{50}$ .

Os ensaios de dissipação considerados para este estudo tiveram duração de 3h20min até 7h40min para atingir a estabilização da poropressão, o que dificulta sua execução prática no dia a dia das investigações geotécnicas. Estes mesmos ensaios, se analisados por meio da metodologia polinomial proposta por Pereira (2017), precisariam de 3 a 30 minutos para serem concluídos em campo.

Comparando os resultados finais de coeficiente de adensamento horizontal ( $c_h$ ), é possível perceber que

as tendências dos resultados encontrados através da abordagem polinomial proposta por Pereira (2017), apresentam menores diferenças se comparados com os resultados entre as duas abordagens tradicionalmente utilizadas, calculadas por Housby e Teh (1991), tanto a partir da curva extrapolada (u versus raiz quadrada do tempo) e transladada (u versus tempo na escala logarítmica) para adequação de uma curva de caimento não monotônico.

Por outro lado, o coeficiente de determinação obtido a partir da comparação entre os valores calculados de  $c_{h,pol}$  e  $c_{h,transl}$ , ou da comparação entre os valores calculados de  $c_{h,pol}$  e  $c_{h,ext}$ , é menor que o coeficiente de determinação obtido a partir da comparação entre os valores calculados de  $c_{h,transl}$  e  $c_{h,ext}$ .

Assim como Pereira (2017) concluiu, ao se comparar os resultados encontrados neste trabalho para os coeficientes de adensamento horizontal, notou-se que estes valores se distanciaram menos que 20% de sua ordem de grandeza se comparados aos valores obtidos por Housby e Teh (1991) com a utilização do  $t_{50}$  obtido da curva extrapolada (u versus raiz quadrada do tempo).

Ao final, pode ser observado que os valores encontrados para o coeficiente de adensamento horizontal calculados para o material analisado através da metodologia proposta por de Pereira (2017), tendem a ser aproximadamente 15% maiores que os valores encontrados pela abordagem extrapolada (u versus raiz quadrada do tempo), calculados por Housby e Teh (1991); e tendem a ser aproximadamente 25% menores que os valores encontrados pela abordagem transladada (u versus tempo na escala logarítmica), calculados por Housby e Teh (1991).

## AGRADECIMENTOS

Especialmente à Universidade Federal de Minas Gerais, onde este trabalho se deu início.

À Chammas Engenharia e ao Sr. Riad Chammas, por fornecerem os dados utilizados neste artigo e me darem a oportunidade de trabalhar com o tema.

## REFERÊNCIAS

- AGAIBY, S.S.; MAYNE, P. W. *Evaluating undrained rigidity index of clays from piezocone data*. Geosystems Group, Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA. 2018. Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/326838097\\_Agaiby\\_Mayne\\_2018\\_Evaluating\\_rigidity\\_index\\_of\\_clays\\_from\\_piezocone\\_-\\_CPT18\\_Delft](https://www.researchgate.net/publication/326838097_Agaiby_Mayne_2018_Evaluating_rigidity_index_of_clays_from_piezocone_-_CPT18_Delft)> Acesso em 08 de fevereiro, 2022.
- BARONI, M. *Investigação geotécnica em argilas orgânicas muito compressíveis em depósitos da Barra da Tijuca*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <[https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc\\_number=000742835&local\\_base=UFR01#.YgeiOVXML3g](https://minerva.ufrj.br/F/?func=direct&doc_number=000742835&local_base=UFR01#.YgeiOVXML3g)> Acesso em 06 de fevereiro, 2022.
- BIHS, A.; LONG, M.; NORDAL, S.; PANIAGUA, P. *Consolidation parameters in silts from varied rate CPTU tests*. AIMS Geosciences, v. 7, n. 4, p. 637-688, 2021. Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/356811700\\_Consolidation\\_parameters\\_in\\_silts\\_from\\_varied\\_rate\\_CPTU\\_tests](https://www.researchgate.net/publication/356811700_Consolidation_parameters_in_silts_from_varied_rate_CPTU_tests)> Acesso em 26 de janeiro, 2022.
- HOULSBY, G. T.; TEH, C. I. *An analytical study of the cone penetration test in clay*. Géotechnique, v. 41, n. 1, p. 17-34, 1991. Disponível em: <[https://www.cambridge-insitu.com/system/files/files\\_trackable/TEH%20HOULSBY%201991%20An%20analytical%20study%20of%20the%20cone%20penetration%20test%20in%20clay.pdf](https://www.cambridge-insitu.com/system/files/files_trackable/TEH%20HOULSBY%201991%20An%20analytical%20study%20of%20the%20cone%20penetration%20test%20in%20clay.pdf)> Acesso em 26 de janeiro, 2022.
- KRAGE, C.; DEJONG, J. T.; SCHNAID, F. *Estimation of the Coefficient of Consolidation from Incomplete Cone Penetration Test Dissipation Tests*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. v. 141, n. 2, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/273311635\\_Estimation\\_of\\_the\\_Coefficient\\_of\\_Consolidation\\_from\\_Incomplete\\_Cone\\_Penetration\\_Test\\_Dissipation\\_Tests](https://www.researchgate.net/publication/273311635_Estimation_of_the_Coefficient_of_Consolidation_from_Incomplete_Cone_Penetration_Test_Dissipation_Tests)> Acesso em 06 de fevereiro, 2022.
- MANTARAS, F. M.; ODEBRECHT, E.; SCHNAID, F. *Using piezocone dissipation test to estimate the undrained shear strength in cohesive soil*. Canadian Geotechnical Journal. v. 52, 318-325, 2015. Disponível em: <<https://fernandoschnaid.com.br/admin/uploads/pesquisas/22.PDF>> Acesso em 26 de janeiro, 2022.
- MAYNE, P.W. *Cone Penetration Testing*. National Cooperative Highway Research Program, 368. 20-05, s. 37-14, 162 p., National Academy Press, Washington, D.C, 2007. Disponível em <[http://www.mcipin.com/publications/CPT/nchrp\\_syn\\_368.pdf](http://www.mcipin.com/publications/CPT/nchrp_syn_368.pdf)> Acesso em 16 de fevereiro, 2022.
- PEREIRA, F.S. *Nova metodologia para interpretação de ensaios de dissipação do piezocone*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 148. 2017.
- PETERNELLI, L. A. *Regressão linear e correlação*. Notas de Aula – Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~peterneli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>> Acesso em 8 de fevereiro, 2022.
- ROSA, A. C.; MARQUES, M. E. S. *Estimativa de coeficiente de adensamento a partir de ensaios de dissipação de piezocone*. In: XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul - GEOSUL.

Joinville/SC, 2019. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/338659966\\_Estimativa\\_de\\_coeficiente\\_de\\_adensamento\\_a\\_partir\\_de\\_ensaios\\_de\\_dissipacao\\_de\\_piezocone](https://www.researchgate.net/publication/338659966_Estimativa_de_coeficiente_de_adensamento_a_partir_de_ensaios_de_dissipacao_de_piezocone)> Acesso em 26 de janeiro, 2022.

SULLY, J. P.; ROBERTSON, P. K.; CAMPANELLA, R. G.; WOELLER, D. J. *An approach to evaluation of CPTu dissipation data in overconsolidated fine-grained soils*. Canadian Geotechnical Journal. v. 36, p. 369-381, 1999. Disponível em: <<http://damascopenna.com.br/wp-content/uploads/2020/11/Evaluation-of-CPTu-Dissipation-Tests-1999.pdf>> Acesso em 26 de janeiro, 2022.