

**Avaliação do efeito de cal na condutividade hidráulica de solo arenoso para impermeabilização**

*Evaluation of the effect of lime on the hydraulic conductivity of sandy soil for waterproofing*

*Evaluación del efecto de cal en la conductividad hidráulica de suelo arenoso para impermeabilización*

**Paula Mayumi Hatano**

Graduanda, UNESP, Brasil  
paulamayumi2015@gmail.com

**Matheus Henrique Magagnato**

Graduando, UNESP, Brasil.  
magagnato\_matheus@hotmail.com

**Paulo César Lodi**

Professor Doutor, UNESP, Brasil  
plodi@feb.unesp.br

## RESUMO

O presente trabalho avaliou a influência da cal no coeficiente de permeabilidade de um solo arenoso da região de Bauru (SP) por meio de ensaios com amostras de solo deformadas e compactadas. Para realização do experimento, variou-se o percentual de cal nos valores de 2, 4, 6, 8 e 10% em relação à massa seca do solo. Os ensaios foram conduzidos segundo as normas nacionais considerando carga constante (solo natural, com 2% de cal) e variável (considerando 4, 6, 8 e 10% de cal). Para tal, utilizou-se um solo classificado como areia média a fina pouco argilosa (coeficiente de permeabilidade =  $2,0 \times 10^{-3}$  cm/s) retirado do próprio campo experimental da UNESP de Bauru na profundidade de 0,95m. Para realizar o ensaio de permeabilidade do solo acrescido de cal, foram utilizadas amostras deformadas com grau de compactação de 95% e teor de umidade de 10,8%. Os parâmetros ótimos obtidos (Proctor normal) foram: massa específica seca máxima de  $1,955 \text{ g/cm}^3$  e umidade ótima de 10,8%. De acordo com os resultados experimentais obtidos, constata-se que houve uma variação do coeficiente de permeabilidade do solo a  $20^\circ \text{C}$  ( $K_{20}$   $20^\circ\text{C}$ ) com o acréscimo de cal. Os resultados para o  $K_{20}$  variaram de  $2,04\text{E-}04 \text{ cm/s}$  a  $2,06\text{E-}05 \text{ cm/s}$ . Sendo  $K_{20}=2,04\text{E-}04 \text{ cm/s}$  para 2% de cal,  $K_{20}=1,10\text{E-}04 \text{ cm/s}$  para 4% de cal,  $K_{20}=3,27\text{E-}05 \text{ cm/s}$  para 6% de cal,  $K_{20}=2,66\text{E-}05 \text{ cm/s}$  para 8% de cal e  $2,06\text{E-}05 \text{ cm/s}$  para 10% de cal. Ou seja, com o acréscimo de cal, houve uma diminuição do coeficiente de permeabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** permeabilidade, ensaio de laboratório, solo arenoso, teor de cal

## ABSTRACT

*The present work evaluated the influence of lime on the permeability coefficient of a sandy soil of the sandy soil of the Bauru region (SP) through tests with deformed and compacted soil samples. To perform the experiment, the percentage of lime was varied in the values 2, 4, 6, 8 and 10%, being these percentages in relation to the dry mass of the soil. The tests were conducted according to national standards considering constant load (natural soil with 2% lime) and variable (considering 4, 6, 8 and 10% lime). For this purpose, a soil classified as medium to fine sand with low clay content (permeability of  $2.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ) was taken from the experimental field of UNESP of Bauru at depth of 0,95m. To perform the soil permeability test plus lime, deformed samples with a degree of compaction of 95% and a moisture content of 10.8% were used. The optimum parameters obtained (Proctor normal) were: specific maximum dry mass of  $1.955 \text{ g/cm}^3$  and optimum humidity of 10.8%. According to the experimental results obtained, it was verified that there was a variation of the soil permeability coefficient at  $20^\circ \text{C}$  ( $K_{20} 20^\circ\text{C}$ ) with the addition of lime. The results for the  $K_{20}$  ranged from  $2,04\text{E-}04 \text{ cm/s}$  to  $2,06\text{E-}05 \text{ cm/s}$ .  $K_{20} = 2,04\text{E-}04 \text{ cm/s}$  for 2% lime,  $K_{20} = 1,10\text{E-}04 \text{ cm/s}$  for 4% lime,  $K_{20} = 3,27\text{E-}05 \text{ cm/s}$  for 6% lime,  $K_{20} = 2,66\text{E-}05 \text{ cm/s}$  for 8% lime and  $2,06\text{E-}05 \text{ cm/s}$  for 10% lime. That is, with the addition of lime, there was a decrease in the permeability coefficient.*

**KEYWORDS:** permeability, laboratory test, sandy soil, lime content

## RESUMEN

*El presente trabajo evaluó la influencia de la cal en el coeficiente de permeabilidad de un suelo arenoso de la región de Bauru (SP) a través de ensayos con muestras de suelo deformadas y compactadas. Para la realización del experimento, se varió el porcentaje de cal en los valores 2, 4, 6, 8 y 10% siendo esos porcentuales en relación a la masa seca del suelo. Los ensayos se realizaron según las normas nacionales considerando carga constante (suelo natural, con 2% de cal) y variable (considerando 4, 6, 8 y 10% de cal). Para ello, se utilizó un suelo clasificado como arena media a fina poco arcillosa (permeabilidad de  $2,0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ) retirado del propio campo experimental de la UNESP de Bauru en la profundidad de 0,95m. Para realizar el ensayo de permeabilidad del suelo incrementado de cal, se utilizaron muestras deformadas con grado de compactación del 95% y un contenido de humedad del 10,8%. Los parámetros óptimos obtenidos (Proctor normal) fueron: masa específica seca máxima de  $1,955 \text{ g/cm}^3$  y humedad óptima del 10,8%. De acuerdo con los resultados experimentales obtenidos, se constata que hubo una variación del coeficiente de permeabilidad del suelo a  $20^\circ \text{C}$  ( $K_{20} 20^\circ\text{C}$ ) con el aumento de cal. Los resultados para el  $K_{20}$  variaron de  $2,04\text{E-}04 \text{ cm/s}$  a  $2,06\text{E-}05 \text{ cm/s}$ . Siendo  $K_{20} = 2,1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$  para 2% de cal,  $K_{20} = 1,10\text{E-}04 \text{ cm/s}$  para 4% de cal,  $K_{20} = 3,27\text{E-}05 \text{ cm/s}$  para 6% de cal,  $K_{20} = 2,66\text{E-}05 \text{ cm/s}$  para 8% de cal y  $2,06\text{E-}05 \text{ cm/s}$  para 10% de cal. Es decir, con el aumento de cal, hubo una disminución del coeficiente de permeabilidad.*

**PALABRAS CLAVE:** permeabilidad, ensayo de laboratorio, suelo arenoso, contenido de cal

## 1. INTRODUÇÃO

De modo geral, muitos problemas de construção estão relacionados com a presença da água. Assim, o estudo do fluxo de água que percola o solo torna-se de extrema importância. Alguns exemplos são: a estimativa da quantidade de fluxo subterrâneo sob diversas situações hidráulicas; a análise de problemas envolvendo bombeamento de água para construções subterrâneas; verificações da estabilidade de barragens de terra e estruturas de contenção de terras sujeitas a forças de percolação; aterros sanitários e lagoas de estabilização onde existem diversos resíduos tóxicos que podem infiltrar no solo e contaminar o lençol freático (DAS, 2006). De acordo com Pinto (2006) existem três grupos de problemas práticos acarretados pela percolação de água no solo: problemas causados devido a infiltração de água; problemas de recalque originados devido à diminuição dos índices de vazios causada pela expulsão de água desses vazios; e problemas relacionados à estabilidade do solo, uma vez que a tensão efetiva é dependente da pressão neutra, que é dependente das tensões geradas com a percolação de água no solo.

Além disso, existem ainda problemas relacionados à contaminação do lençol freático bem como de solos. De Jesus (2012) afirma que "(...) a preocupação com lixões e aterros controlados em operação ou desativados na maioria das cidades brasileiras de pequeno e médio porte é real, principalmente ao que se refere à proteção dos aquíferos freáticos, subterrâneos e superficiais, cada vez mais utilizados para abastecimento público de água."

Na aplicação geoambiental o conhecimento da permeabilidade dos solos, entre outros parâmetros, é fundamental para desenvolvimento do projeto ou avaliação de áreas contaminadas, tendo em vista que este é uma das principais propriedades do solo que regem a movimentação das águas subterrâneas e conseqüentemente de uma possível pluma de contaminação.

A permeabilidade do solo é caracterizada pela capacidade de passagem da água através dos vazios existentes entre cada partícula de sólido que forma o solo. Quando existe uma diferença de potencial, ocorre a percolação de água entre esses vazios. Visando estudar a vazão de água no solo, em 1850, Darcy demonstrou que diversas características geométricas influenciam essa vazão. O coeficiente de permeabilidade do solo depende de muitos fatores, dentre eles a viscosidade do fluido de percolação, geralmente a água, a distribuição de tamanho dos poros, a distribuição granulométrica, índice de vazios, rugosidade de partículas minerais e grau de saturação dos solos (DAS, 2006; PINTO, 2006).

O termo coeficiente de permeabilidade refere-se à permeabilidade do solo em relação a algum fluido, enquanto que a condutividade hidráulica trata-se de um caso específico no qual o fluido percolante é a água numa dada temperatura, sendo utilizada como padrão a temperatura de 20°C. No entanto, é comum na literatura técnica e na prática que o termo permeabilidade seja utilizado para os solos permeados com água. Para a determinação da permeabilidade, podem ser realizados ensaios de campo ou de laboratório ou ainda a realização em conjunto destes.

Nesse sentido, nas aplicações ambientais o solo deve possuir um coeficiente de permeabilidade de forma a minimizar a passagem de líquidos, evitando-se assim a

contaminação do lençol freático e/ou aquíferos. No entanto, a grande maioria dos solos precisa ser substituído ou estabilizado quimicamente para garantir as condições exigidas em projeto. Procura-se, com isso, o aumento da resistência do solo tratado bem como a diminuição de sua compressibilidade e de sua permeabilidade. Exemplos de processos físicos e/ou químicos são a adição de cimento ou cal (BUENO, 1996; CASAGRANDE, 2005).

Passos (2002) explicita as diversas aplicações da cal na engenharia civil reforçando o fato de que esta é amplamente utilizada na engenharia geotécnica como estabilizante químico a fim de melhorar as propriedades do solo, principalmente para fins de pavimentação e impermeabilização de fundos de lagoas e/ou aterros. Dessa maneira, diversas pesquisas tem abordado a utilização do solo com cal (TANG, SHI, & ZHAO, 2010; FATAHI, LE & KHABBAZ, 2013; BALDOVINO, 2018; BENETTI et al., 2018).

Dentro desse contexto o estudo do coeficiente de permeabilidade do solo estabilizado quimicamente é de extrema relevância.

Dessa forma, este trabalho avalia as alterações provocadas nos valores do coeficiente de permeabilidade de solo arenoso com diferentes porcentagens de cal.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar a influência de diferentes porcentagens de cal nos valores do coeficiente de condutividade hidráulica de um solo arenoso da região de Bauru.

## 3. METODOLOGIA

Os resultados dos ensaios foram todos fundamentados na Lei de Darcy que expressou a equação que relaciona a área de percolação de água; o gradiente hidráulico e a distância  $L$ , que é a distância ao longo da qual a carga se dissipa com a vazão. Essa expressão recebeu seu nome ficando conhecida como Lei de Darcy. É amplamente utilizada na mecânica dos solos e é dada por (PINTO, 2006)

$$Q = k \cdot \frac{h}{L} \cdot A \quad (1)$$

sendo:  $Q$  a vazão total;  $k$  o coeficiente de permeabilidade,  $h$  a carga disponível (energia total) e  $A$  a área do corpo de prova.

Todos os resultados obtidos foram padronizados e apresentados na referência a 20°C ( $k_{20}$ ). Pressupõe-se, dessa forma, a existência de proporcionalidade direta entre as velocidades de fluxo e os gradientes hidráulicos.

### 3.1 EQUIPAMENTO

Para os ensaios, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Paquímetro digital DIGIMESS
- Balança de precisão 0,01g QUIMIS Modelo BG4000

- Estufa de Secagem e Esterilização FANEM Modelo 315 SE
- Compactador manual
- Permeâmetro.
- Sistema formado por reservatório de água, bureta graduada e Conectores
- Cronometro TECHNOS
- Frasco graduado

### 3.2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DO SOLO

Os ensaios foram realizados com base nas normas NBR13292 e NBR14545. Para todos os ensaios, utilizou-se uma areia média a fina, pouco argilosa e marrom avermelhada coletada no campus experimental da Unesp de Bauru.

Para o ensaio, à princípio, deve-se medir as dimensões do molde que será utilizado para preparação do corpo de prova com um paquímetro para se determinar o diâmetro e a altura do corpo de prova, bem como as dimensões do permeâmetro para se determinar as espessuras das camadas de pedregulho, parafina e bentonita que serão utilizadas no experimento. A Tabela 1 seguinte apresenta os dados do corpo de prova utilizado.

Tabela 1 – Dados do Corpo de Prova

|                           | Sigla | Medida 1 | Medida 2 | Medida 3 | Média |
|---------------------------|-------|----------|----------|----------|-------|
| Diâmetro (cm)             | D     | 5,000    | 4,990    | 5,000    | 5,00  |
| Altura (cm)               | L     | 9,950    | 9,960    | 9,940    | 9,95  |
| Área (cm <sup>2</sup> )   | A     | -        | -        | -        | 19,61 |
| Volume (cm <sup>3</sup> ) | V     | -        | -        | -        | 195   |
| Massa (g)                 | M     | -        | -        | -        | 400   |

Para se determinar o  $K_{20}$ , primeiramente prepara-se o solo a ser utilizado por meio da expressão 2:

$$M = \rho_{dmáx}.CG.(1 + w_{ot}).V \quad (2)$$

sendo:

M: Massa de solo necessária para se moldar o corpo de prova; CG: grau de compactação (95%); V: volume interno do molde do corpo de prova.

A massa específica aparente seca máxima ( $\rho_{dmáx}$ ) e a umidade ótima ( $w_{ot}$ ) foram obtidos a partir do gráfico construído com os dados do ensaio Proctor (padronizado no Brasil pela ABNT NBRB 7182/86). Dessa forma, os parâmetros ótimos obtidos e utilizados para moldagem dos corpos de prova foram  $\rho_{dmáx}=1,955\text{g/cm}^3$  e  $w_{ot}=10,8\%$  (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros de compactação obtidos

| Dados do ensaio                                   |        |
|---|--------|
| Energia de Compactação                            | Normal |
| Umidade de moldagem (%)                           | 10,8   |
| Grau de Compactação                               | 95,0%  |
| Massa específica seca máxima (g/cm <sup>3</sup> ) | 1,955  |

Para a moldagem do corpo de prova, o solo é preparado por meio de um acerto de umidade, que é determinado a partir da umidade inicial que o solo se encontra, obtida em estufa, de modo que o corpo de prova seja moldado com o solo na umidade ótima. Para corrigir a umidade, utiliza-se a seguinte expressão:

$$V_w = \frac{M}{1+w} \cdot (w_{ot} - W) \cdot \rho_w \quad (3)$$

sendo:

$V_w$ : Volume de água acrescido;  $M$  = massa do solo;  $w$  = umidade do solo;  $w_{ot}$  = umidade ótima do solo;  $\rho_w$  = massa específica da água.

Para finalizar a preparação do solo, acrescenta-se a respectiva porcentagem de cal em relação a massa seca de solo (Figura 1). Terminado o processo de preparação, coleta-se uma amostra desse solo para avaliar se este de fato conseguiu atingir a umidade ótima com um desvio de 2%.

Figura 1 – Preparação do solo



Com o solo preparado nas condições ideais, dá-se início à compactação. A compactação é realizada em três camadas com um compactador manual composto por um bastão em queda livre de uma altura fixa (Figura 2). O compactador apresenta três marcas, de modo que quando a respectiva marca é atingida, a camada de solo alcançou o grau de compactação desejado.

Figura 2- Compactação do solo



Ao fim da compactação, o corpo de prova é retirado do molde e parafinado nas laterais para que, dessa forma, seja garantido que o caminho do fluxo de água seja somente de base a base. Em seguida, prepara-se o permeâmetro para receber o corpo de prova. Primeiramente, na tampa de base do permeâmetro é disposta uma pedra porosa que terá como função garantir que o orifício de saída de água não seja bloqueado. Ainda sobre a tampa base, coloca-se um anel de borracha no local onde será disposto o anel do permeâmetro com o intuito de evitar possíveis vazamentos, que poderiam comprometer os resultados dos ensaios. O corpo de prova é, então, posicionado no centro, sobre uma camada de pedregulho, que atua como um filtro (Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Permeâmetro vazio



Figura 4 – Pedras Porosa



Em volta do corpo de prova, aplica-se uma camada de parafina, uma camada de bentonita e outra camada de parafina, todas de mesma espessura para que, dessa forma, seja garantido que a água irá percolar somente através do corpo de prova. Como última camada, coloca-se novamente uma camada de pedregulho atuando como filtro e, na tampa superior, põe-se novamente o anel de borracha e a pedra porosa (Figuras 5 e 6).

O permeâmetro é então fechado e disposto em um recipiente com água, submetido a uma determinada carga ( $h$ ), no caso do ensaio à carga constante, e cargas ( $h_f$ ) e ( $h_i$ ), no caso do ensaio à carga variável, para que seja percolado por água. Através de conectores, liga-se o permeâmetro ao reservatório de água.

Figura 5 – Permeâmetro aberto após término do ensaio e retirada da camada de pedregulho



Figura 6 – Pedregulho utilizado como filtro



Após a saturação, determina-se o coeficiente de permeabilidade para carga constante da seguinte maneira: assim como o experimento de Darcy, com um frasco graduado, mede-se o volume de água coletado e o respectivo tempo, registrado com o auxílio de um cronômetro, para uma carga ( $h$ ) fixa utilizando a expressão

$$Kt = \frac{v.L}{A.h.t} \quad (4)$$

sendo:

$v$ : o volume de água percolado;  $L$ : altura do corpo de prova;  $A$ : área do corpo de prova;  $h$ : altura de carga;  $t$ : tempo cronometrado para se coletar o respectivo volume.

Em seguida, faz-se uma conversão do coeficiente de permeabilidade à temperatura ambiente para a temperatura a 20°C para padronizar-se os resultados obtidos através da seguinte expressão matemática.

$$K_{20} = Kt \cdot C_k \quad (5)$$

Onde  $C_k$  é uma constante tabelada para diferentes valores de temperatura. Notou-se que conforme aumentava-se o teor de cal, diminuía-se o coeficiente de permeabilidade, como será apresentado mais adiante. Dessa forma, os ensaios passaram a ser realizados à carga variável através do seguinte procedimento: Registra-se o tempo, com um cronômetro, que a água em uma bureta leva para descer de uma altura  $h_i$  a uma altura  $h_f$ . Assim, o coeficiente de permeabilidade a temperatura ambiente é calculado pela seguinte expressão:

$$Kt = 2,3 \cdot \frac{a.L}{A.t} \cdot \log\left(\frac{h_i}{h_f}\right) \quad (6)$$

sendo:

$a$ : é a área do tubo de carga;  $L$ : altura do corpo de prova;  $A$ : área do corpo de prova;  $t$ : tempo cronometrado para a água descer da altura  $h_i$  para  $h_f$  na bureta.

As figuras 7 e 8 ilustram o local de realização dos ensaios bem como o detalhes das buretas utilizadas para leitura das alturas de coluna de água.

Figura 7 – Local de realização dos ensaios



Figura 8 – Buretas graduadas e conectores



#### 4. RESULTADOS

O solo utilizado foi classificado como areia média a fina pouco argilosa com coeficiente de permeabilidade igual a  $2,0 \times 10^{-3}$  cm/s). A Tabela 3 apresenta os valores de  $K_{20}$  obtidos experimentalmente para carga constante e o corpo de prova com 2% de cal. Para esse ensaio, foram realizadas 15 medidas em três dias diferentes, 5 medidas em cada dia. A tabela apresentada contém 3 medidas, correspondentes à média aritmética simples de cada dia.

Tabela 3 – Ensaio com carga constante para 2% de cal

| Medida | Gradiente Hidráulico Médio | Tempo (s) | Volume de água percolada v (cm <sup>3</sup> ) | Coef. de perm. T°C (cm/s) | Temp. (°C) | Fator correção CK | Coef. de perm. K <sub>20</sub> 20°C (cm/s) |
|--------|----------------------------|-----------|---|---------------------------|------------|-------------------|--|
| 1      | 6,58                       | 568       | 20,00   | 2,7E-04                   | 28,5       | 0,83              | 2,3E-04                                    |
| 2      | 6,58                       | 545       | 20,00   | 2,8E-04                   | 28,5       | 0,83              | 2,3E-04                                    |
| 3      | 6,58                       | 532       | 20,00   | 2,9E-04                   | 28,5       | 0,83              | 2,4E-04                                    |
| Média  | 6,58                       | 548       | 20,00   | 2,8E-04                   | 28,5       | 0,83              | 2,3E-04                                    |

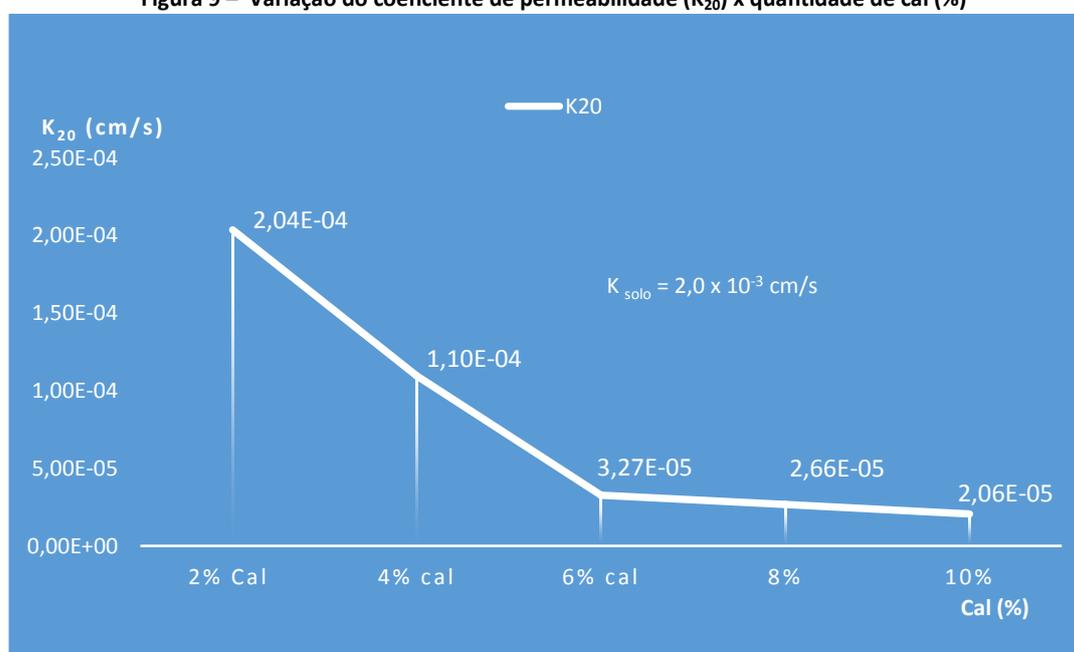
A tabela 4 apresenta os resultados obtidos para carga variável e o corpo de prova com 2, 4, 6, 8 e 10% de cal. Para esses ensaios, foram realizadas 15 medidas em três dias diferentes, 5 medidas em cada dia. Os valores tabelados correspondem a uma média aritmética simples de todos os 15 valores obtidos durante os três dias.

A Figura 9 ilustra a variação no coeficiente de permeabilidade com a variação no percentual de cal. Analisando-se os resultados obtidos dos ensaios e comparando-se estes ao valor do solo, pode-se perceber que os valores de  $K_{20}$  diminuem com o acréscimo de cal de forma mais acentuada até uma quantidade de 6% de cal, em seguida, a curva passa a ter uma inclinação mais suave. Para 2% de cal o valor obtido é de  $2,04 \times 10^{-4}$  cm/s. O valor correspondente a 6% é de  $3,27 \times 10^{-5}$  cm/s. A partir desse ponto, os valores mantêm a mesma ordem de grandeza.

Tabela 4 – Ensaios com carga variável para 2,4,6,8 e 10% de cal

| Taxa de cal (%) | Área tubo de carga (cm <sup>2</sup> ) | Gradiente Hidráulico Médio | Tempo (s) | Coef. de perm. T°C (cm/s) | Temp. (°C) | Fator correção CK | Coef. de perm. K <sub>20</sub> 20°C (cm/s) |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------|------------|-------------------|--|
| 2               | 0,51                                  | 5,53                       | 200       | 2,61E-04                  | 31         | 7,81E-01          | 2,04E-04                                   |
| 4               | 0,51                                  | 9,55                       | 351       | 1,31E-04                  | 27,75      | 8,37E-01          | 1,10E-04                                   |
| 6               | 0,51                                  | 9,55                       | 673       | 4,02E-05                  | 30         | 8,15E-01          | 3,27E-05                                   |
| 8               | 0,51                                  | 9,55                       | 900       | 3,21E-05                  | 28         | 8,38E-01          | 2,66E-05                                   |
| 10              | 0,51                                  | 9,55                       | 1.126     | 2,40E-05                  | 27         | 8,61E-01          | 2,06E-05                                   |

Figura 9 – Variação do coeficiente de permeabilidade (K<sub>20</sub>) x quantidade de cal (%)



Esse comportamento mostra que existe um decréscimo linear do coeficiente de permeabilidade até o limite de 6%, ou seja, de 2 a 6% de cal este diminui mais rapidamente do que do limite de 6% a 10%. Isso sugere que a cal vai gradualmente preenchendo os vazios do solo até o valor de 6% onde o valor do coeficiente de permeabilidade atinge um valor relativamente baixo em comparação ao valor do solo. Avaliando-se o trecho de 6 a 10% é possível afirmar que, do ponto de vista prático, é mais interessante utilizar-se uma quantidade de 6% a 8% do que 10%. Isso porque os valores não variam muito nesse trecho, mantendo-se a mesma ordem de grandeza.

Assim, os resultados obtidos mostram que as porcentagens de cal influenciam diretamente o valor do coeficiente de permeabilidade do solo, ou seja, à medida em que há um aumento do teor de cal ocorre uma diminuição no valor do coeficiente de permeabilidade do solo. Esses

resultados estão de acordo com a literatura corrente (CASAGRANDE, 2005; DIAMBRA et al., 2010; FATAHI, LE & KHABBAZ, 2013; FESTUGATO et al., 2018; NETO, HEIDEMANN & NIERWINSKI, 2018; NETO, 2018; WEI et al., 2018). Esses autores além de avaliarem as características relativas ao comportamento tensão e deformação também observaram a diminuição da condutividade hidráulica em solos arenosos e argilosos. Ressaltam ainda que o acréscimo da cal torna-se desvantajoso a partir de valores acima de 10%.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, as principais conclusões podem ser elencadas:

- O aumento nos teores de cal influem diretamente nos valores dos coeficientes de permeabilidade do solo;
- Existe um decréscimo linear do coeficiente de permeabilidade até o limite de 6%, ou seja, de 2 a 6% de cal este diminui mais rapidamente do que do limite de 6% a 10% e,
- Em termos práticos, um acréscimo de cal entre 6 e 8% mostrou ser mais interessante do que 10%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDOVINO, J. A. **Adição de cal em um solo sedimentar de Curitiba: fatores que influenciam na resistência mecânica.** XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG, 10p., Salvador, Bahia, Brasil, 2018.
- BENETTI, M. et al. **Influência do Índice Porosidade/Teor Volumétrico de Cal na Resistência e na Rigidez de um Solo Residual Tratado com Cal.** XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG, 9p., Salvador, Bahia, Brasil, 2018.
- BUENO, B.S. **Aspectos de estabilização de solos com uso de aditivos químicos e de inclusões plásticas aleatórias.** Texto Sistematizado (Livre Docência em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 99 p., 1996.
- CASAGRANDE, M.D.T. **Comportamento de solos reforçados com fibras submetidos a grandes deformações.** Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre, 219 p., 2005.
- DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** 6ª. São Paulo: Ligia Cosmo Cantarelli, 2006.
- DE JESUS, L. E. (2012). **Estudo da permeabilidade dos solos de fundação do aterro de resíduos sólidos urbanos de Bauru / SP.** Dissertação de mestrado, 190p. Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru (SP).
- DIAMBRA, A., IBRAIM, E., MUIR WOOD, D., RUSSELL, A.R. **Fibre reinforced sands: experiments and modelling.** Geotext. Geomembr. 28, 238-250, 2010.
- FATAHI, B., LE, T.M., KHABBAZ, H., 2013. **Small-strain properties of soft clay treated with fibre and cement.** Geosynth. Int. 20, 286-300, 2013.
- FESTUGATO, L. SILVA, A. P., DIAMBRAC, A., CONSOLI, N. C., IBRAIM, E. **Modelling tensile/compressive strength ratio of fibre reinforced cemented soils.** Geotextiles and Geomembranes, 46 (2018) 155–165, 2018.
- NBR 13292 (1995). **Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga variável**
- NBR 14545 (2000). **Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável.** Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT. Rio de Janeiro.
- NBR 7182 (1986). **Solo – Ensaio de Compactação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT.
- NETO, A. T., HEIDEMANN, M., NIERWINSKI, H. P. **Estabilização de um solo areno-siltoso com matéria orgânica usando cal e cimento.** XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG, 9p., Salvador, Bahia, Brasil, 2018.
- PASSOS, José Epitácio. **A Cal - Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2ª. São Paulo: Pini, 2002.
- PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico De Mecânica dos Solos.** 3ª. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

ROCHA, G. S. **Deformabilidade das Misturas Solo-Cal.** XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG, 5p., Salvador, Bahia, Brasil, 2018.

WEI, L., CHAI, S. X., ZHANG, H. Y., SHI, Q. **Mechanical properties of soil reinforced with both lime and four kinds of fiber,** *Construction and Building Materials* 172 (2018) 300–308, 2018.