

# **INFLUÊNCIA DO TEOR EM MATÉRIA ORGÂNICA NA REDUÇÃO DAS DEFORMAÇÕES DE FLUÊNCIA POR PRÉ-CARGA - ANÁLISE LABORATORIAL**

## **EFFECT OF THE ORGANIC MATTER CONTENT IN CREEP DEFORMATION REDUCTION BY PRE-LOADING- LABORATORY ANALYSIS**

Vieira, Andreia F. V.; *FCTUC, Coimbra, Portugal, andreia\_V10@hotmail.com*

Venda Oliveira, Paulo J.; *FCTUC, Coimbra, Portugal, pjvo@dec.uc.pt*

Correia, António A. S.; *FCTUC, Coimbra, Portugal, aalberto@dec.uc.pt*

### **RESUMO**

A construção de aterros sobre solos moles acarreta problemas de estabilidade e elevados deslocamentos, tanto verticais como horizontais. Nestes solos, a presença de matéria orgânica contribui para a amplificação dos assentamentos, bem como o prolongamento destes no tempo, mesmo sob carga constante. Uma das técnicas mais antigas que tem sido aplicada para colmatar estes problemas é a metodologia da pré-carga, que tem como objetivo principal acelerar os assentamentos devidos à consolidação primária, bem como reduzir os assentamentos por consolidação secundária. Neste trabalho, pretende-se analisar, por via laboratorial, a influência do teor de matéria orgânica na redução dos assentamentos por fluência do solo mole do Baixo Mondego quando submetido a pré-carga. Os parâmetros objeto de análise são o teor em matéria orgânica (1,2%, 4,1%, 6,4% e 8,3%) e o nível de pré-carga (25 e 50 kPa) utilizado. A avaliação da compressibilidade, com particular enfoque na componente volumétrica da fluência, será efetuada por intermédio de ensaios edométricos. Os resultados permitem constatar que a eficiência do método da pré-carga aumenta com o nível de tensão aplicado e com o teor em matéria orgânica.

### **ABSTRACT**

The construction of embankments over soft soils is associated with stability problems and higher displacement that can occur vertically or horizontally. In these soils, the presence of organic matter contributes to increase the magnitude of the settlements and its extent indefinitely over time even under constant load. One of the oldest techniques that have been applied to avoid such kind of problems is the preloading methodology that aims to speed up the settlements in time as well as reduce the settlements by secondary consolidation. This work intends to analyze, by laboratory methods, the influence of the organic matter content in the creep settlements reduction, when applying the preloading method. The parameters of analysis are the organic matter content (1.2%, 4.1%, 6.4% e 8.3%) and the level of preloading (25 e 50 kPa) used. The evaluation of compressibility, expressed by the volumetric creep component, will be obtained by oedometric tests. The results show that the efficiency of the preloading method increases with the stress level applied and the organic matter content.

## **1 - INTRODUÇÃO**

Os solos moles caracterizam-se pela sua baixa resistência e elevada compressibilidade, originando problemas de estabilidade e deformações excessivas das estruturas sobre eles construídas. Características como baixa permeabilidade, grande superfície específica das partículas, elevado teor em água e matéria orgânica, agravam ainda mais o processo natural de consolidação do solo, tornando-o mais lento. Assim, é inevitável que se resolva esta problemática dos solos moles através de técnicas que promovam a aceleração da consolidação, ou seja, dos assentamentos.

Ao longo dos tempos foram desenvolvidas algumas técnicas por forma a atenuar ou acelerar os assentamentos por consolidação primária. Não obstante, os assentamentos por consolidação secundária, apesar de menor magnitude que os primeiros, são de grande importância uma vez que estes se manifestam na fase de serviço da obra. Uma das soluções encontradas para acelerar os assentamentos por consolidação primária e reduzir os assentamentos por consolidação secundária, consiste na implantação de uma carga temporária superior àquela que se pretende transmitir em fase definitiva ao solo, método designado por pré-carga.

## **2 - MECANISMO ASSOCIADO À PRÉ-CARGA**

A pré-carga pode ser aplicada de duas formas, uma denominada por convencional com a colocação de uma sobrecarga temporária (Mesri et al., 1996) e outra com aplicação de vácuo (Chai et al., 2008).

A metodologia através de vácuo é usada quando o solo de fundação possui características mecânicas muito fracas, que não permitem a construção de um pequeno aterro, sendo o aumento das tensões efetivas induzido através da aplicação de sucção ao solo.

A metodologia tradicional, alvo de estudo no presente trabalho, consiste na realização de um aterro temporário que transmite ao maciço uma carga superior àquela que se pretende aplicar em fase definitiva. A carga em excesso só deverá ser retirada quando se verificarem assentamentos de grandeza semelhante (referentes à consolidação primária) àqueles que seriam previsíveis após a construção da obra final (Matos Fernandes, 2006).

O princípio base do método, inerente à aceleração da consolidação primária, é ilustrado na Figura 1, observando-se que um dado valor de assentamento é obtido mais rapidamente quando induzido por uma carga superior, dado o grau de consolidação ser independente da magnitude da carga aplicada.

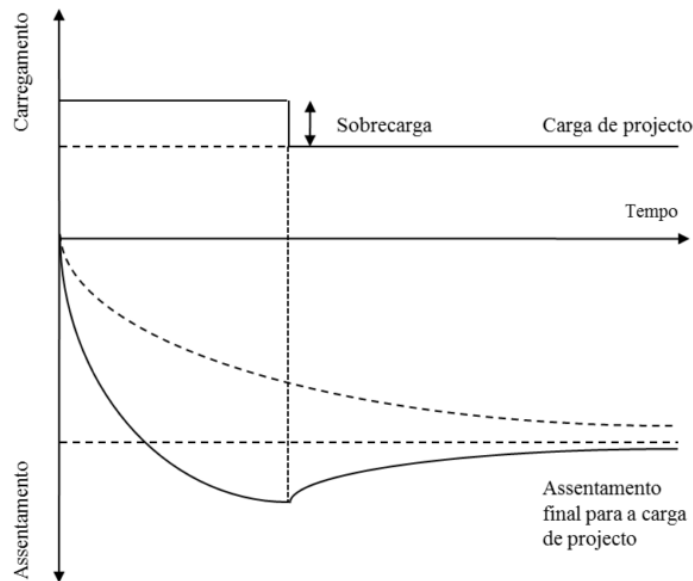


Figura 1 - Assentamento resultante da pré-carga (Stapelfedt e Vepsäläinen, 2007)

### 3 - FLUÊNCIA

Segundo Silva (1996) a fluência nos solos apresenta 3 fases distintas (primária, secundária e terciária) como se observa na Figura 2. Existe uma notória diferença na velocidade de deformação em cada uma destas fases, associada à alteração da relação entre tensões tangenciais e normais nos contactos entre as partículas (Kuhn e Mitchell, 1993).

Após a colocação da carga sobre o solo inicia-se a fase primária que corresponde a um endurecimento do material (ganho de capacidade resistente) associado à componente volumétrica, que conduz a uma rápida redução da velocidade para um valor relativamente baixo e aproximadamente constante até se iniciar a fluência secundária, caracterizada por ser a fase de maior permanência no tempo, daí ser denominada também de fluência secular.

A fase terciária corresponde a uma redução de resistência associada à componente distorcional da fluência, onde se verifica um aumento significativo das deformações até se atingir a rotura. Assim, conclui-se que as três fases mencionadas anteriormente resultam da combinação entre parcelas volumétricas (em estudo no presente trabalho) e distorcionais de fluência (Silva, 1996).

Mesri e Castro (1987) foram talvez os maiores impulsionadores no que diz respeito à quantificação do coeficiente de consolidação secundária ( $C_{\alpha}$ ), utilizando para tal o conceito de compressibilidade  $C_{\alpha}/C_c$ , o qual se prevê ser constante para um dado solo. Repare-se que o valor de  $C_c$ , não tem neste caso o habitual significado de declive de ramo virgem da curva  $e$ - $\log \sigma'_v$ , mas sim o de declive tangente à curva no ponto correspondente ao da determinação de  $C_{\alpha}$ . A Figura 3 comprova que a razão  $C_{\alpha}/C_c$  se mantém constante para um dado solo.

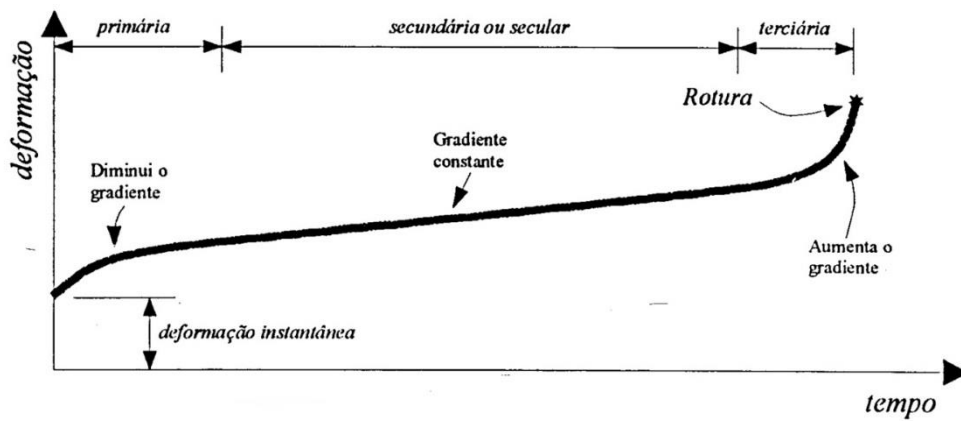


Figura 2 - Caracterização das 3 fases de fluência sob tensões desviatórias constantes (Kuhn e Mitchell,1993)

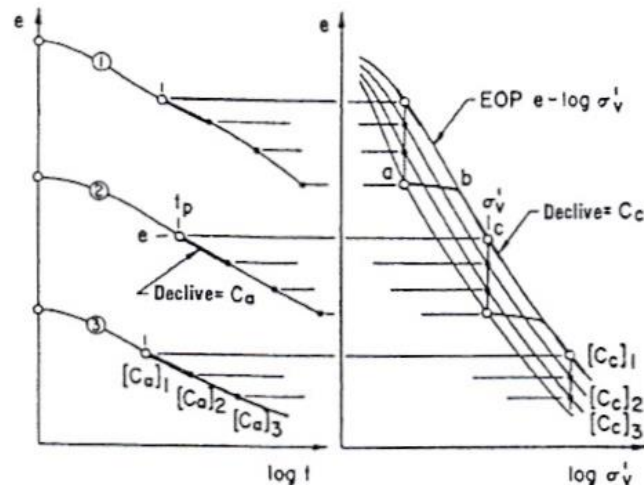


Figura 3 - Interpretação da razão  $C_u/C_c$  na teoria de Mesri e Castro (1987)

#### 4 - IMPACTO DA PRÉ-CARGA NA FLUÊNCIA

Taylor (1942) e Bjerrum (1967) definiram o modelo de fluência das "linhas de tempo" para materiais argilosos (Figura 4), no qual existe um sistema de linhas paralelas entre si, representando cada uma delas uma relação entre o índice de vazios e a tensão efetiva para um dado tempo de aplicação de carga, e que permite explicar o comportamento do solo sujeito à aplicação de uma carga temporária (pré-carga). Supondo um ponto A, correspondente a um estado normalmente consolidado, sobre o qual se aplica um acréscimo de carga  $\Delta\sigma_{apl}$  ( $=\Delta\sigma'_{apl}$ ) que se mantém durante um determinado tempo  $t_1$ , a trajetória correspondente é ABD, referindo-se o ramo BD à deformação por fluência. Se adicionalmente com o acréscimo de carga  $\Delta\sigma_{apl}$  for aplicada uma pré-carga  $\Delta\sigma_{pré-carga}$  ( $=\Delta\sigma'_{pré-carga}$ ) a qual será removida após o término da consolidação primária, obtém-se a trajetória ABCD. Neste caso, o ponto final D encontra-se num estado sobreconsolidado, equivalendo a um tempo de fluência mais avançado,  $t_1$  (sendo no caso da Figura 4,  $t_1=10$  anos). Portanto, esta metodologia permite antecipar as deformações por fluência que teriam ocorrido até ao instante  $t_1$  (correspondendo na Figura 4,  $t_1=10$  anos). Naturalmente, quanto maior for o nível de pré-carga, maior será o efeito em termos de atenuação dos assentamentos por fluência.

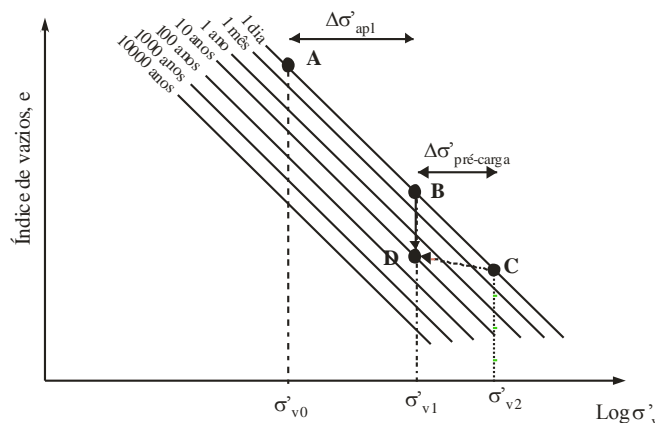


Figura 4 - Modelo das "linhas do tempo" (adaptado de Bjerrum,1967)

Porém, segundo Mesri et al. (1997) o efeito da pré-carga não se mantém benéfico ao longo do tempo. Quando a pré-carga é retirada existe sim uma redução significativa do  $C_{\alpha}$ , contudo este valor tende a aumentar com o passar do tempo.

Mira (2008) com base em ensaios edométricos de fluência realizados sobre o solo mole do Baixo Mondego, constatou que existe uma redução dos assentamentos por fluência, proporcionais ao aumento da pré-carga aplicada, em que o 1º nível de pré-carga toma o valor de 35 kPa, e o segundo de 75 kPa, porém este não é um efeito duradouro ao longo do tempo. Como se observa pela Figura 5, verifica-se uma redução dos assentamentos quando é usada a pré-carga de maior valor. Porém, para valores superiores a sensivelmente 5000 min o valor do coeficiente  $C_{\alpha}$  aumenta de tal forma, que tende a ser superior ao determinado quando não é usado a pré-carga ( $C_{\alpha}=0,16$ ).

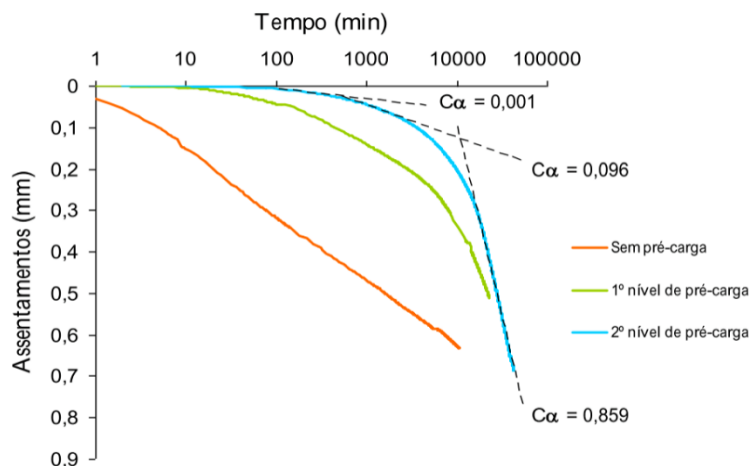


Figura 5 - Ensaio de fluência sobre o solo mole do Baixo Mondego (Mira, 2008)

## 5 - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO DO BAIXO MONDEGO

No Quadro 1 são apresentados os resultados dos ensaios de identificação do solo mole do Baixo Mondego. Em termos gerais, trata-se de um silte orgânico (OH), com uma elevada percentagem do teor em matéria orgânica (8,3%), que lhe confere um reduzido peso volúmico e elevada plasticidade. Naturalmente estas condições traduzem-se em baixa resistência ao corte, em termos não drenados, elevada compressibilidade e na existência de apreciáveis deformações por fluência (consolidação secundária).

Quadro 1 - Caracterização do Solo do Baixo Mondego (Vieira, 2016)

Características do solo	
Teor em água natural ( $w_{nat}$ )	80%
Densidade das partículas sólidas (G)	2,63
Peso volúmico ( $\gamma$ )	14,8 kN/m <sup>3</sup>
Teor em matéria orgânica (OM)	8,3%
Composição Granulométrica:	
Argila	21%
Silte	54%
Areia	25%
Limites de Consistência:	
Limite de liquidez ( $w_L$ )	76,2%
Limite de plasticidade ( $w_P$ )	38,4%
Índice de plasticidade (IP)	37,8%
Índice de liquidez (IL)	1,09

## 6 - PROCEDIMENTO LABORATORIAL

### 6.1 - Preparação das amostras

No presente trabalho utilizaram-se amostras reconstituídas, mantendo a composição mineralógica, orgânica e granulométrica do solo original, mas isento das heterogeneidades presentes no solo in-situ, o que permite uma melhor interpretação dos resultados.

Uma vez que o presente estudo pretende determinar a influência da matéria orgânica no método da pré-carga, é de real interesse explicar o processo usado para determinar as percentagens de matéria orgânica de 1,2; 4,1; 6,4 e 8,3%, sendo esta última referente ao solo natural.

No caso solo natural (OM=8,3%) garantiu-se a correta homogeneização tanto por processos manuais como mecânicos, até que o solo apresentasse um aspeto homogéneo.

As restantes percentagens de teor em matéria orgânica foram obtidas com recurso ao solo no seu estado natural (OM=8,3%). Para tal foi necessário reduzir a pó, através do pilão e almofariz, cerca de 12 kg de solo natural previamente seco à temperatura de 400°C-solo "queimado"- possuindo um teor de matéria orgânica de cerca de 1,2%. Assim, tendo por base o solo natural e o "solo queimado" foi possível obter, mediante a mistura destes dois solos, materiais com teores em matéria orgânica de 4,1 e 6,4 %, usando as seguintes proporções em massa: 50/50 e 73/27. Com as diferentes percentagens do teor em matéria orgânica preparadas, foram calculados os limites de liquidez ( $w_L$ ) e de plasticidade ( $w_p$ ) para estes solos, de forma a poder dosear a quantidade de água a adicionar a cada mistura mantendo o índice de liquidez (IL) igual a 1,09 (solo natural) para todas as amostras (Quadro 2).

Quadro 2 - Características dos 4 solos com diferentes %OM

	Matéria orgânica presente no solo (%)			
	8,3	6,4	4,1	1,2
<b>Limite de Liquidez</b>	76,2	62,6	57,5	41
<b>Limite de Plasticidade</b>	38,4	45,2	40,3	34,0
<b>Índice de Plasticidade</b>	37,8	17,4	17,2	7,0
<b>Teor em água (%)</b>	79,6	64,1	59,0	41,6
<b>Índice de Liquidez</b>	1,09			

Com os solos do Quadro 2 foram preparadas amostras reconstituídas com 200mm de altura e 101mm de diâmetro. Inicialmente estes provetes foram submersos num tanque com água de forma a promover a saturação da amostra. Com a colocação de uma massa de 24 kPa sobre as amostras, simulou-se o estado de tensão existente a cerca de 5 metros de profundidade no depósito de solo mole do Baixo Mondego.

## 6.2 - Ensaios efetuados

Os ensaios executados dividem-se em dois tipos. Numa primeira fase realizaram-se 4 ensaios edométricos clássicos, cada um deles para as diferentes percentagens de matéria orgânica em análise. Estes ensaios tiveram como principal objetivo avaliar a compressibilidade dos solos e determinar o tempo necessário para ocorrer a consolidação primária para o nível de tensão em estudo (100 kPa), ou seja, a tensão efetiva vertical atuante a 5m de profundidade e induzida pela construção de um aterro fictício com 3,8 metros de altura ( $\gamma_{at} = 20 \text{ kN/m}^3$ ).

Na segunda fase realizaram-se ensaios de fluência para os solos com diferentes percentagens de matéria orgânica (1,2; 4,1; 6,4; 8,3%). Estudaram-se 2 níveis diferentes de pré-carga (25 kPa e 50kPa) e outros casos sem pré-carga. Estes casos de estudo referem-se à construção do aterro com auxílio da pré-carga com altura de 1,25 e 2,25 metros, e à construção do aterro sem recurso à metodologia referida, respetivamente.

## 7 - ANÁLISE DE RESULTADOS

### 7.1 - Ensaio clássico

Na Figura 6 comparam-se as compressibilidades dos solos em estudo através da representação da variação do índice de vazios com o logaritmo da tensão efetiva aplicada. Verifica-se que o solo com maior índice de vazios inicial ( $e_0$ ) é o solo natural (OM=8,3%), com cerca de 1,8, e que à medida que a presença da matéria orgânica diminui existe uma redução de índice de vazios. Além disso é possível constatar que o solo natural é aquele que sofre maior variação do índice de vazios para a mesma variação de tensão, pelo que é inquestionável a influência que a matéria orgânica tem sobre as características de deformabilidade dos solos.

Em qualquer uma das curvas representadas na Figura 6 é possível identificar três troços de diferente declive definindo-os como o ramo de recompressão, ramo virgem e ramo de descarga final. O ramo de recompressão reproduz o comportamento no troço em que as tensões efetivas aplicadas são inferiores a  $\sigma'_p$ , enquanto que o ramo de compressão virgem relaciona o índice de vazios com tensões efetivas verticais que, até então, ainda não tinham sido "experimentadas" pelo solo. Com base nestes dois declives, é

possível determinar o valor do índice de compressibilidade do solo (ramo virgem),  $C_c$ , e o índice de recompressibilidade (ramo de recompressão),  $C_r$  para cada percentagem de teor em matéria orgânica.

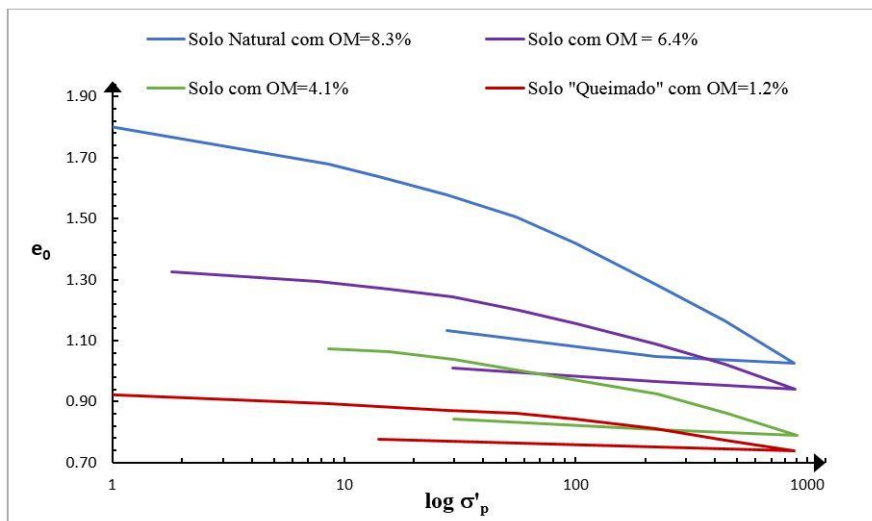


Figura 6 - Comparação de curvas  $e$ - $\log$ - $\sigma'_v$  para os solos em estudo

A Figura 7 apresenta a variação destes dois índices com o teor em matéria orgânica. Em geral, verifica-se uma tendência crescente dos valores de  $C_c$  e  $C_r$  com a presença da matéria orgânica, sendo que no caso das percentagens inferiores a 6,4 este acréscimo é mais reduzido. A razão  $C_r/C_c$  varia entre 0,33 a 0,44, tendo como valor médio 0,39. Este valor é maior do que o usual em solos naturais (entre 0,1 e 0,2) justificado pelo facto dos solos não terem história, ou seja, estes solos não apresentam estrutura induzida pelo envelhecimento.

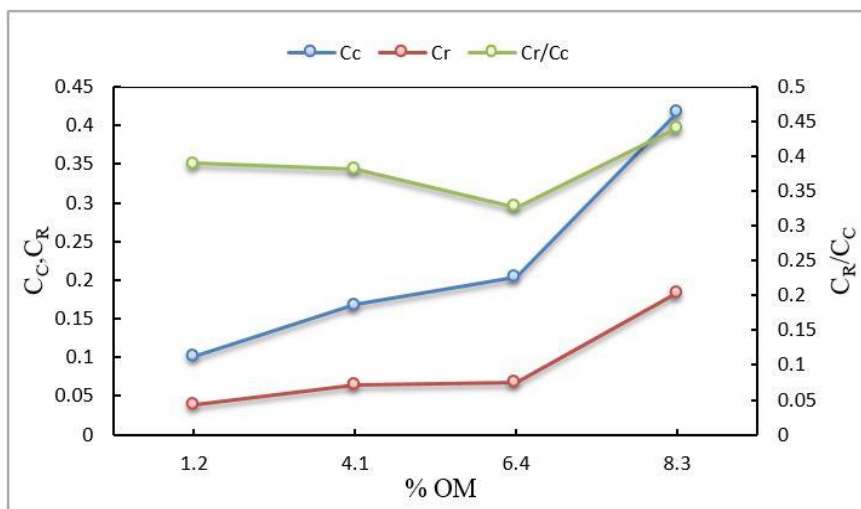


Figura 7 - Variação de  $C_c$ ,  $C_r$  e  $C_r/C_c$  em função da %OM

## 7.2 - Ensaio de fluência sem pré-carga

Os ensaios de fluência sem pré-carga consistem em submeter a amostra a uma tensão de 100 kPa, a qual se deixa em fluência durante 14 dias, de modo a observar o desenrolar dos assentamentos por consolidação secundária.

Os resultados obtidos corroboram os obtidos por Mesri e Vardhanabuti (2005), pois verifica-se que  $C_\alpha$  se mantém constante ao longo do tempo, logo os assentamentos por consolidação secundária dão-se indefinidamente ao longo do tempo (Figura 8).

Como expectável, a presença da matéria orgânica influencia a grandeza dos assentamentos por fluência ocorridos, verificando-se que quanto maior a quantidade desta no solo, maior o valor de  $C_\alpha$ , e consequentemente, maior magnitude dos assentamentos por fluência. Os valores obtidos para  $C_\alpha$  encontram-se resumidos no Quadro 3.

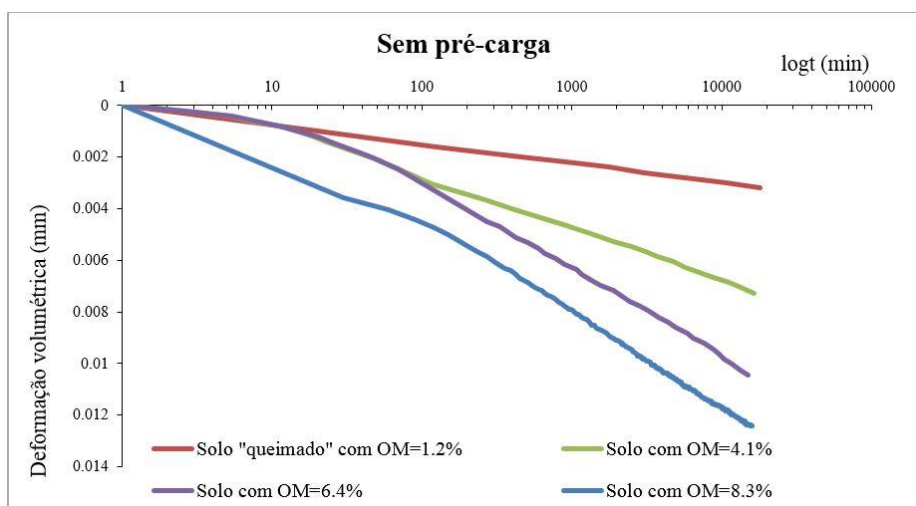


Figura 8 - Variação dos assentamentos por fluência ao longo do tempo (ensaio sem pré-carga)

Quadro 3 - Valores de  $C_{ae}$  obtidos sem pré-carga

OM(%)	1,2	4,1	6,4	8,3
$C_{\alpha}$	0,00138	0,00403	0,00818	0,00926

Os assentamentos secundários resultam da fluência do esqueleto sólido, motivada pela natureza viscosa das partículas constituintes do solo, ou seja, existe um rearranjo das partículas para posições de equilíbrio mais estáveis do que aquelas que resultaram da consolidação primária, sendo estes rearranjos mais notórios em solos com maior teor de matéria orgânica, daí os valores mais elevados para estes solos. Os resultados levam a supor que a matéria orgânica lubrifica as partículas de solo, facilitando o escorregamento de umas em relação às outras, o que se traduz no aumento das deformações por fluência.

### 7.3 – Ensaios de fluência com pré-carga

Os ensaios com pré-carga regem-se da mesma forma que os ensaios tradicionais, ou seja, através de incrementos de carga sobre a amostra. Contudo, no escalão de carga correspondente a simulação da pré-carga em conjunto com o aterro final ( $\sigma'_{v}=125$  kPa ou  $\sigma'_{v}=150$  kPa), a pré-carga atua apenas durante o tempo em que decorre a consolidação primária do solo (determinado através do método de Casagrande). Terminada esta fase, retira-se a pré-carga e deixa-se a amostra sujeita à tensão efetiva vertical de 100 kPa (que corresponde ao aterro final), durante 14 dias (tempo de fluência).

Pela análise dos gráficos nos quais é usada a pré-carga, verifica-se que a forma da curva que descreve os assentamentos ao longo do tempo com a aplicação desta adquire três declives distintos. Imediatamente após a remoção da pré-carga, a evolução no tempo das deformações por fluência começa por ser muito ligeira, sem expressão significativa. Com o desenrolar do tempo verifica-se que  $C_{\alpha}$  tem uma evolução crescente. Assim, para efeitos de cálculo optou-se por considerar 2 intervalos de tempo compreendidos, aproximadamente, entre 100-1000min e entre 5000 até ao final do ensaio, correspondendo ao cálculo de  $C_{\alpha 1}$  e  $C_{\alpha 2}$ , respetivamente. Na Figura 9 encontram-se representados as linhas correspondentes a  $C_{\alpha 1}$  e  $C_{\alpha 2}$  para o caso do solo natural (OM=8,3%).

Nas Figuras 9 e 10 apresentam-se as evoluções das deformações com o tempo na fase de fluência para os diversos teores em matéria orgânica, correspondentes aos níveis de pré-carga de 25 e 50 kPa, respectivamente. Independentemente do nível de pré-carga, observa-se que quanto maior for a percentagem de matéria orgânica maiores são os assentamentos por fluência. Quando se utiliza a pré-carga verifica-se que existe uma redução dos assentamentos por consolidação secundária, sendo esta redução proporcional ao nível de pré-carga utilizado, ou seja, a pré-carga de 50 kPa promove uma maior redução do coeficiente de consolidação secundária ( $C_{\alpha}$ ), logo dos assentamentos por fluência.

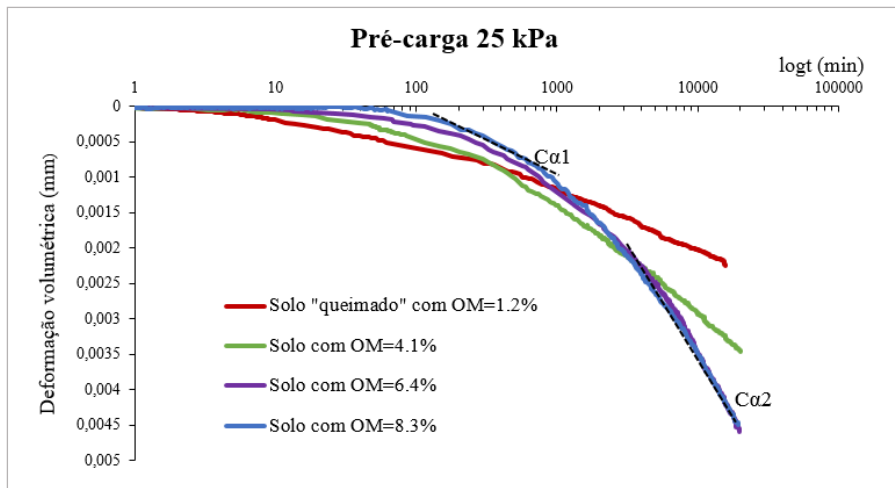


Figura 9 - Variação dos assentamentos por fluência ao longo do tempo com recurso à pré-carga de 25 kPa

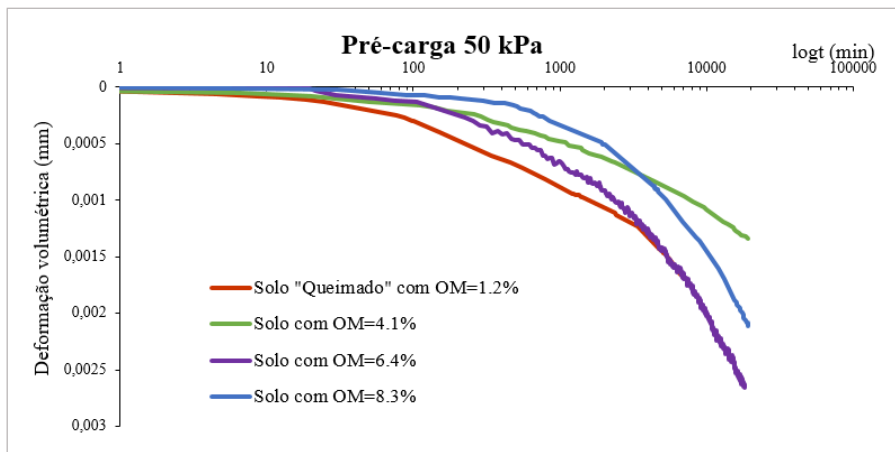


Figura 10 - Variação dos assentamentos por fluência ao longo do tempo com recurso à pré-carga de 50 kPa

As Figuras 11 e 12 ilustram a evolução de  $C_{\alpha 1}$  e  $C_{\alpha 2}$  em função do teor em matéria orgânica para os solos em estudo, para os dois níveis de pré-carga utilizados. Consta-se que o valor de  $C_{\alpha 1}$  (100 - 1000min) é sempre inferior ao valor de  $C_{\alpha 2}$  (5000 - até ao final do ensaio) o que indica que, tal como referido por Mesri et al. (1997), que o efeito da pré-carga é benéfico até certo instante, observando-se posteriormente o aumento de  $C_{\alpha}$  até valores bastante próximos do caso em que não se utilizou pré-carga. Além disso a evolução de  $C_{\alpha 1}$  com OM é bastante mais suave do que em  $C_{\alpha 2}$ , o que leva a crer que uma presença mais significativa da matéria orgânica influencia sobremaneira este coeficiente.

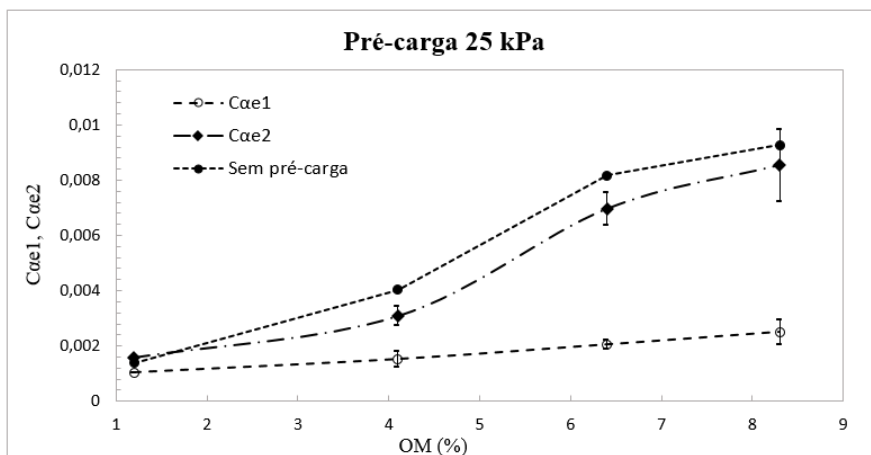


Figura 11 - Variação do  $C_{\alpha}$  com OM, com e sem recurso a pré-carga 25 kPa



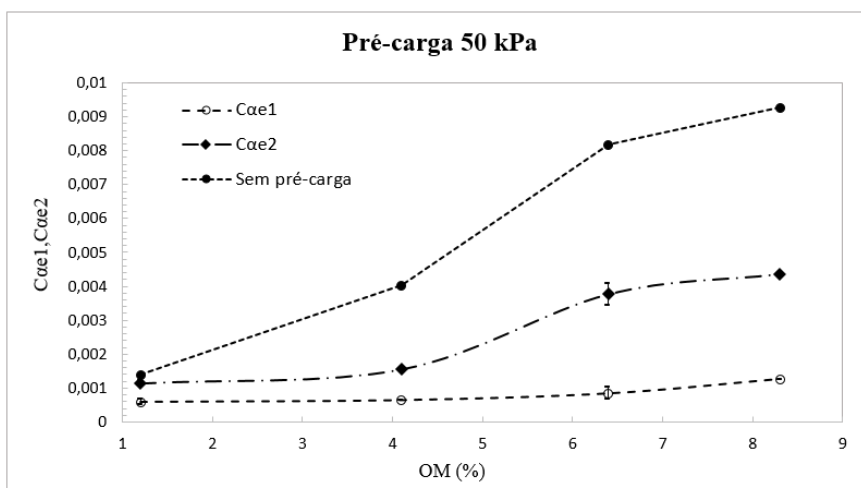


Figura 12 - Variação do  $C_{\alpha}$  com OM, com e sem recurso a pré-carga 50 kPa

De seguida, confrontam-se as curvas deformação-tempo dos provetes sem pré-carga com os provetes sujeitos aos dois níveis de pré-carga para os quatro teores em matéria orgânica (Figuras 13 e 14), pois desta forma é mais perceptível a influência do teor em matéria orgânica na redução dos assentamentos por fluência quando é ou não usada a pré-carga.

Como anteriormente referido constata-se que quanto maior for a percentagem de teor em matéria orgânica, maior serão os assentamentos por fluência. Estes assentamentos são reduzidos quando é aplicada a pré-carga, sendo a redução mais significativa quando usada a pré-carga de maior magnitude.

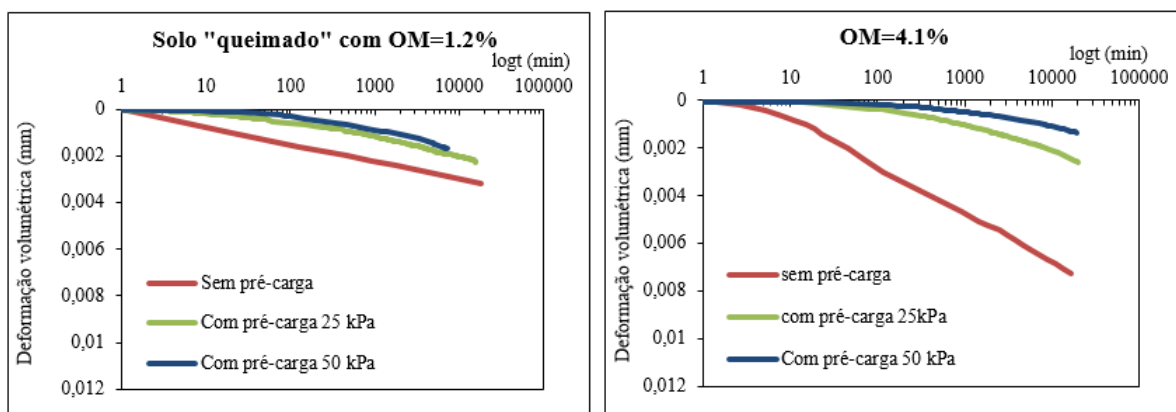


Figura 13 - Variação dos assentamentos por fluência para OM=1.2% e OM=4.1%, com e sem pré-carga

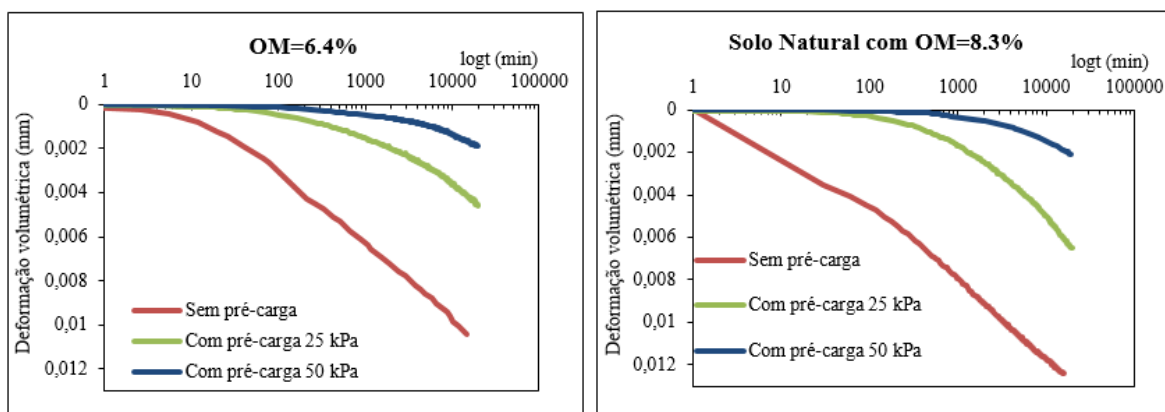


Figura 14 - Variação dos assentamentos por fluência para OM=6.4% e OM=8.3%, com e sem pré-carga

Mesri et al. (1997) referiram que o uso da pré-carga apenas é benéfica num intervalo de tempo, pois com o aumento do tempo,  $C_{\alpha}$  tende a aumentar podendo mesmo, a longo prazo, atingir o valor de  $C_{\alpha}$  quando não se utiliza a pré-carga. Com exceção do solo "queimado" (OM=1,2%), os resultados obtidos nos restantes casos não corroboram completamente a teoria de Mesri et al. (1997), obtendo-se com a utilização de pré-carga valores de  $C_{\alpha 1}$  e  $C_{\alpha 2}$  sempre inferiores aos obtidos sem pré-carga, evidenciando o efeito

benéfico da utilização desta metodologia. Contudo, o efeito da pré-carga é potenciado a curto prazo, ou seja, em termos de redução de  $C_{a1}$  (Figura 15).

Na Figura 16 apresenta-se a eficiência da pré-carga na redução dos assentamentos por consolidação secundária em função do teor em matéria orgânica presente no solo. Considerou-se um tempo de referência igual a 1000 min, e quantificou-se a redução dos assentamentos por fluência resultante da aplicação da pré-carga.

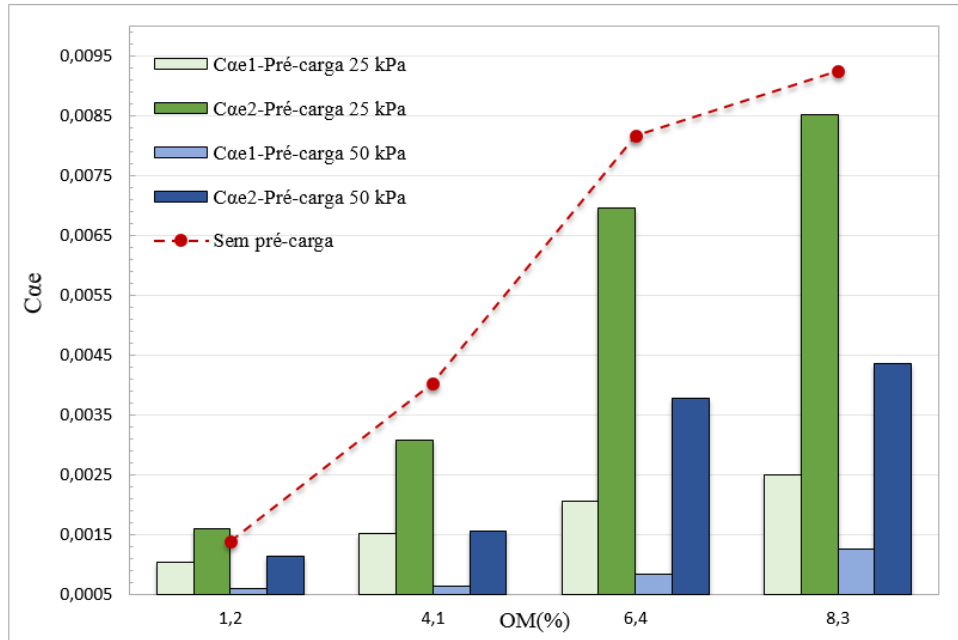


Figura 15 - Variação de  $C_a$  para cada % OM, com e sem pré-carga

Como observado anteriormente, uma pré-carga de maior magnitude tem mais eficiência na redução dos assentamentos por fluência. Além disso verifica-se que a metodologia em estudo é mais eficaz com o aumento do teor de matéria orgânica presente no solo.

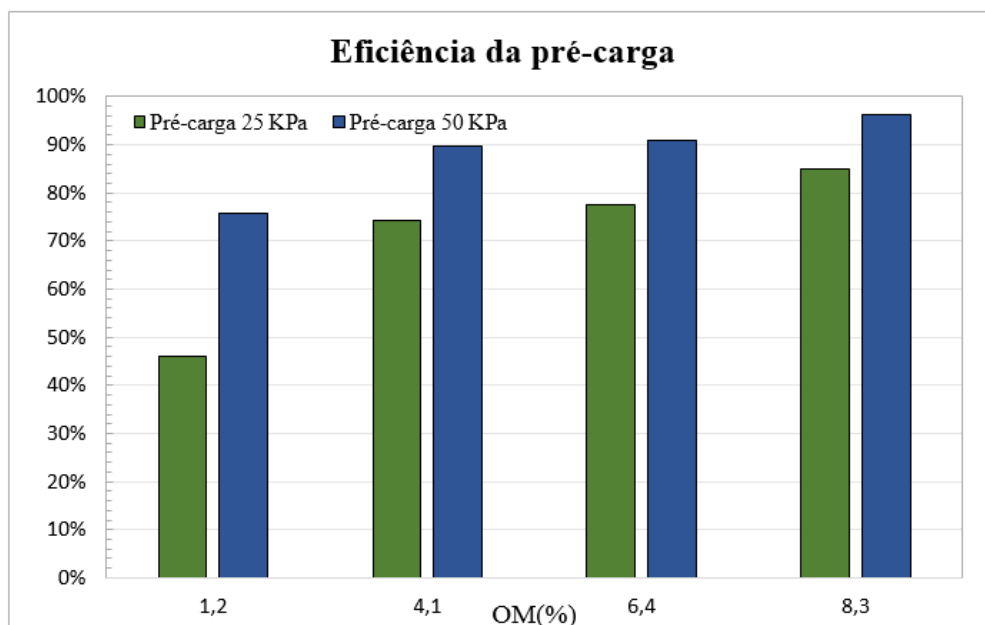


Figura 16 - Eficiência da pré-carga para cada % OM

## 8 - CONCLUSÕES

Com base no presente trabalho experimental podem-se retirar as seguintes conclusões:

- O aumento do teor em matéria orgânica incrementa as deformações por fluência dos solos, independentemente ou não da utilização de pré-carga.

- Em geral, a utilização da pré-carga reduz de facto os valores de  $C_\alpha$ , porém com maior preponderância a curto prazo, dado que à medida que se avança no tempo após a remoção da sobrecarga temporária, este coeficiente sofre um aumento progressivo aproximando-se do valor que se verificaria sem a aplicação de pré-carga.
- O aumento do teor em matéria orgânica aumenta a eficiência da pré-carga, a qual é potenciada para superiores níveis de pré-carga.

## REFERÊNCIAS

- Bjerrum, L. (1967). Engineering geology of Norwegian normally – consolidated marine clays as related to settlements of buildings. Seventh Rankine Lecture, *Géotechnique*, 17, pp. 83–118.
- Chai, J., Miura, N., e Bergado, D. (2008). Preloading clayey deposit by vacuum pressure with cap-drain: Analyses versus performance. *Geotextiles and Geomembranes*, 26(3): pp. 220-230.
- Kuhn, M.R., e Mitchell, J.K. (1993). New perspectives on soil creep. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119, pp. 507-524.
- Matos Fernandes, M. (2006). *Mecânica dos Solos. Volume I*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Mesri, G., Vardhanabhuti, B. (2005). Secondary Compression. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131, pp. 398-401.
- Mesri, G. e Castro, A. (1987).  $C_\alpha/C_c$  concept and  $K_0$  during secondary compression. *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(3): p. 230-247.
- Mesri, G., Peck, R., e Terzaghi, K. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Third Edition. Wiley, New York.
- Mesri, G., Stark, T.D., Ajlouni, M.A. e Chen, C.S. (1997). Secondary Compression of Peat with or without surcharging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123: p. 411-421.
- Mira, E.S.P. (2008). Atenuação dos assentamentos por consolidação secundária com recurso a pré-carga- Análise Laboratorial. Dissertação de Mestrado, Dep. de Eng<sup>a</sup> Civil da FCTUC, Coimbra.
- Stapelfedt, T. e Vepsäläinen, P. (2007). *Preloading and vertical drains*. Helsinki University of Technology.
- Silva, J.M.M.M. (1996). Modelação do colapso e da fluência em aterros. Dissertação de Doutoramento, elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Universidade do Porto.
- Taylor, D.W. (1942). Research of consolidation of clays. Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil and sanitary Engineering, Serial 82.
- Vieira, A.F.C. (2016). Influência do teor em matéria orgânica na redução da fluência por pré-carga: análise laboratorial. Dissertação de Mestrado, Dep. de Eng<sup>a</sup> Civil da FCTUC, Coimbra.