

# MELHORAMENTO COM CAL DE UM SOLO DO MIOCÉNICO PARA UTILIZAÇÃO EM CAMADAS DE LEITO DE PAVIMENTO

Nuno Cruz<sup>1</sup>, Eduardo Castro Neves<sup>2</sup> e Jorge Santos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MOTA-ENGIL/Univ. de Aveiro, Travessa das Lages, Zona Industrial de S. Caetano 4405-194 Gaia, Portugal

email: [nunocruz@mota-engil.pt](mailto:nunocruz@mota-engil.pt) <http://www.mota-engil.pt>

<sup>2</sup> CICCOPN, LGMC, Lugar da Espinhosa, S. Pedro de Avioso, Maia, Portugal

<sup>3</sup> MOTA-ENGIL Peru, Lima, Peru

---

## Sumário

*A estabilização de solos com cal tem como finalidade melhorar as características físicas e mecânicas dos solos com vista à sua utilização em obras de engenharia. A adição de cal a um solo com uma fracção fina relevante modifica o seu comportamento por alteração das suas propriedades. A acção da cal conduz, em geral, a uma melhoria significativa das características de resistência e de deformabilidade dos solos.*

*No presente trabalho, o estudo realizado visou averiguar a possibilidade de utilização dos solos de escavação da obra do Aeroporto de Lisboa (plataformas sul) estabilizados com cal em camadas de leito de pavimento e sub-base, evitando o transporte de grandes volumes a vazadouro, e selecção de solos em zonas de empréstimo, praticamente inexistentes na proximidade da obra.*

---

**Palavras-chave:** Aterros; solos; tratamento com cal; leito de pavimento; Aeroporto de Lisboa.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo foi realizado no âmbito da execução da obra do Aeroporto de Lisboa (plataformas sul), empreitada em execução pela MOTA-ENGIL, na perspectiva de rentabilizar os materiais provenientes das escavações no local. A significativa percentagem de finos e a reduzida grandeza dos valores de equivalente de areia inviabilizavam a utilização dos solos nas camadas de leito de pavimento e de sub-base, conduzindo à necessidade de levar terras a vazadouro e adquirir materiais apropriados em empréstimos, raros nas imediações da obra. Para obviar este conjunto de problemas, efectuou-se um estudo aprofundado para avaliação da possibilidade de estabilização destes solos com cal, cujos resultados se procurarão evidenciar em seguida.

## 2 MATERIAIS E PROGRAMA DE ENSAIOS

### 2.1 Solos existentes no local da obra

O enquadramento geológico da zona evidencia a presença de aterros heterogéneos de espessura variável, podendo atingir valores superiores a 15,0m, que assentam sobre formações do Miocénico, constituído por areias finas a médias, siltosas pontualmente argilosas, e por calcários gressosos, fossilíferos, medianamente compactos, com níveis arenosos e siltosos friáveis. A informação laboratorial foi recolhida na fase de prospecção e, posteriormente em análises efectuadas directamente sobre os materiais de escavação. Os resultados obtidos nessa caracterização laboratorial são resumidos nos Quadros 1 e 2.

Através da análise aos resultados é possível destacar alguns aspectos relacionados com as características físicas e mecânicas dos solos ensaiados, que em geral evidenciam uma regularidade da distribuição das diferentes tipologias dos solos independentemente do local de colheita. Assim, cerca de 20% das amostras classificam-se como argila magra (CL) e correspondem a materiais margosos fáceis de identificar. Estes solos evidenciam presenças elevadas de passados no P#200 (55 a 90%) com Índices de plasticidade de 19 a 22, equivalentes de areia de 7 a 26 e azul-de-metileno de 2,5 a 4,5.

Os restantes 80% correspondem solos SM, SC, SC-SM segundo a classificação unificada [1] e solos A-1-b, A-2-4 e A-4 [2], segundo a classificação rodoviária (AASHTO). De acordo com essas classificações, os solos em questão são razoáveis a bons para utilização em aterros. De um modo geral, a percentagem de finos destes solos varia entre 20 e 45%, essencialmente não plásticos (SM) ou de índice de plasticidade inferior a 10 (SC), equivalente de areia de 9 a 26, azul-de-metileno de 0,6 a 1,7 e com valores de CBR de 10 a 15 (SC) e 25 a 33 (SM).

Quadro 1. Ensaio de identificação e compactação (Lote 2)

Litologia	W <sub>nat</sub> (%)	Matéria orgânica (%)	EA (%)	Compactação Proctor		CBR (%)			AM (g/100g solo)	Gran. P#n°200 (%)	IP (%)	Classificação	
				$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	W <sub>opt</sub> (%)	Exp.	2,5mm	5,0mm				AASHO	Unif.
Argila magra arenosa	19,2	0,9	7	---	---	---	---	---	2,88	56,53	19	A-6(8)	CL
Areia Argilosa	10,6	---	11	1,980	10,0	0	12	14	---	49,50	10	A-4(3)	SC
Areia Argilosa	12,8	0,7	13	1,978	8,1	1	10	10	1,66	34,20	9	A-2-4(0)	SC
Areia Siltosa	5,7	---	26	2,000	9,1	0	27	33	---	19,10	NP	A-1-b(0)	SM
Areia Siltosa	9,6	0,5	24	2,080	7,9	0	25	31	0,75	18,95	NP	A-1-b(0)	SM

Quadro 2. Ensaio de identificação e compactação (Lote 1)

Litologia	W <sub>nat</sub> (%)	EA (%)	AM (g/100g solo)	Compactação Proctor		CBR (%)			Gran. P#n°200 (%)	IP (%)	Classificação	
				$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	W <sub>opt</sub> (%)	Exp.	2,5mm	5,0mm			AASHO	Unif.
Areia Siltosa	10,7	22	0,66	---	---	---	---	---	26,1	NP	A-2-4(0)	SM
Areia Argilosa	12,3	19	0,99	---	---	---	---	---	35,2	5	A-2-4(0)	SC-SM
Argila magra	19,9	7	4,23	---	---	---	---	---	92,9	22	A-6(13)	CL
Areia Siltosa	16,5	9	1,62	---	---	---	---	---	42,2	6	A-4(1)	SM
Areia Siltosa	11,8	14	1,15	1,948	11,6	0	20	25	22,7	NP	A-2-4(0)	SM

A comparação destas propriedades com os critérios de selecção de materiais para leito de pavimento revelou que:

- Os solos CL não se enquadram em nenhum dos intervalos de referência;
- Globalmente, os solos SM, SC e SC-SM não cumprem os critérios referentes à percentagem de finos e equivalente de areia;
- Para o caso dos solos SM e SM-SC, os ensaios realizados mostram claramente que os finos presentes são de plasticidade baixa a nula, com valores do índice de plasticidade inferiores a 6%, azul de metileno inferior a 2 e expansibilidade nula. A baixa influência das partículas finas no comportamento mecânico

dos solos analisados é, aliás, confirmada pelos significativos valores de CBR (25 a 33%), bastante superior ao do critério de referência (15%) definido para as camadas de leito de pavimento;

- d) Por seu lado, os solos SC mantêm globalmente a mesma tendência anterior embora atingindo índices de plasticidade um pouco superiores (10%) o que faz baixar os valores de CBR para intervalos de 10 a 15%.

Deste modo, foi efectuado um estudo de tratamento com estes solos devidamente misturados e homogeneizados, esperando ultrapassar com o tratamento ao óbice à sua utilização. Apesar de globalmente os solos evidenciarem baixa plasticidade e por isso estarem nos limites da franja habitualmente considerada no tratamento com cal, optou-se por avaliar a hipótese de tratamento sem adição de cinzas volantes, dado que a bibliografia da especialidade refere com alguma frequência casos em que essa situação tem sido ultrapassada.

## 2.2 Cal

Na realização deste estudo laboratorial foi utilizada uma cal aérea viva cálcica com a referência “PROVIACAL® Q2”, produzida pela Lusical – Companhia Lusitana de Cal, S.A. que apresenta as seguintes características físicas e químicas apresentadas no Quadro 3. De acordo com a classificação da “NP EN 459-1 – Cal de construção. Definições, especificações e critérios de conformidade”, este produto é classificado como CL90-Q”.

Quadro 3. Características da cal

Propriedades	Unidades	Valores
CO <sub>2</sub>	(%)	≤ 3,5
CaO <sub>T</sub>	(%)	≥ 92
SiO <sub>2</sub>	(%)	≤ 0,3
S	(%)	< 0,3
Retidos no 2,0 mm	(%)	< 5
Densidade aparente		≈ 1,0
Reactividade à água t <sub>60</sub>	min.	< 25

## 2.3 Metodologia de ensaios

Os prazos impostos pela direcção de obra para a apresentação dos resultados condicionaram o programa de estudo quer na quantidade de ensaios quer nas percentagens de cal a testar. Pelo exposto inicialmente apenas foram realizados ensaios para uma percentagem de cal de 3%, tendo-se posteriormente realizado também ensaios para 2% de cal. O programa definido [3] contemplou a realização de ensaios de análises granulométricas, limites de consistência (limite de liquidez e plasticidade) [4], equivalente de areia [5], compactação pesada (PROCTOR) [6], ensaio de IPI, ensaios CBR [7] e ensaio de compressão simples [8].

Os solos foram secos ao ar e a preparação da mistura foi realizada através da adição de cal ao solo, procedendo-se de seguida à sua homogeneização. Para os ensaios de compactação, CBR e compressão simples, posteriormente foi adicionada uma determinada quantidade de água de forma a atingir o teor em água pretendido e realizada a mistura de forma a garantir uma boa homogeneização da amostra. Após estes procedimentos, a mistura permaneceu em repouso por um período de cerca de duas horas dentro de recipientes hermeticamente fechados.

# 3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

## 3.1 Ensaio de Equivalente de Areia

Os ensaios de equivalente de areia (EA) foram realizados a 2 e 72 horas após a adição de cal ao solo, permanecendo a mistura durante esse período dentro de recipientes hermeticamente fechados. Para a realização

do ensaio tomou-se como referencia a Especificação do LNEC E 199 [5]. No Quadro 4 e na Figura 1, apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro 4. Resultados de Equivalente de Areia

Dosagem de cal (%)	Tempo após moldagem (horas)	EA (%)
0	2	13
2		18
3		25
0	72	13
2		35
3		51

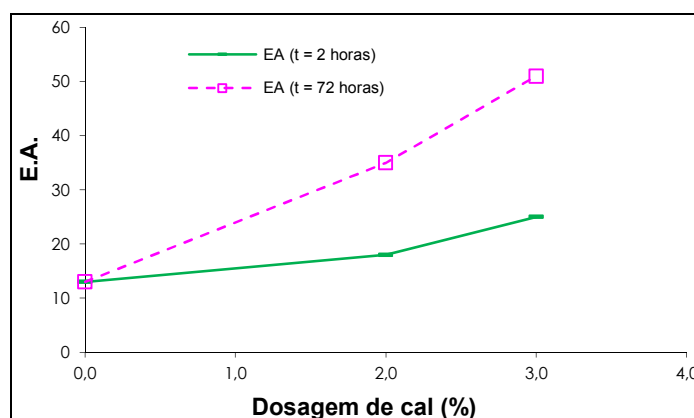


Fig.1. Evolução do Equivalente de Areia com adição de cal e com o tempo

Os resultados obtidos evidenciam um aumento significativo do equivalente de areia com a adição de cal, verificando-se ainda que existe também uma evolução da floculação e aglomeração com o tempo. Para complementar esta informação, refira-se ainda que o valor de azul-de-metileno baixou de um valor inicial de 1,2 nos provetes sem cal, para 0,9 e 0,6 nas misturas com 3% de cal, respectivamente ao fim de 2 e 72 horas.

### 3.2 Ensaio de Compactação e CBR imediato, IPI

Os ensaios de compactação tiveram por objectivo principal a avaliação do valor máximo do peso volúmico (coloquialmente designado “baridade”) seco e do respectivo teor óptimo em água das misturas com diferentes percentagens de cal utilizadas. Os provetes do ensaio foram realizados com recurso a uma energia de compactação pesada em cinco camadas aplicando-se 55 pancadas em cada camada (PROCTOR modificado) [6].

Após a realização dos ensaios de compactação os provetes foram submetidos a um ensaio de IPI (Índice de Portant Immédiate ou CBR imediato) realizado segundo a norma vigente [7]. Este ensaio é executado imediatamente após a compactação do provete e sem placas de carga. A sua realização destina-se a dar indicação das condições de compactação e de traficabilidade do material durante a fase de construção, imediatamente após compactação da camada.

No Quadro 5 apresenta-se um resumo dos valores obtidos, enquanto na Figura 2 se representam as curvas de compactação e os valores de IPI para as diferentes percentagens de cal.

A análise dos resultados evidencia para as misturas tratadas com cal uma diminuição do peso volúmico (baridade) seco máximo e um aumento do teor óptimo em água, quando comparado com a amostra não tratada, confirmando as referências bibliográficas [9].

Por seu lado, verifica-se um aumento dos valores de IPI no ramo húmido da curva, comparativamente com o solo não tratado, sendo que o seu valor máximo ocorre para um teor em água inferior a cerca de 2% do teor óptimo para a respectiva percentagem de cal, ou seja, o maior valor de IPI ocorre para o provete compactado do “lado seco” da curva de compactação e não para o provete correspondente ao teor óptimo [10].

Quadro 5. Resultados dos ensaios de compactação e IPI

Dosagem de cal (%)	Teor de água (%)	Peso volúmico seco ( $\text{KN/m}^3$ )	Teor de água óptimo (%)	Peso volúmico seco máx. ( $\text{KN/m}^3$ )	IPI (2,5mm) (%)	IPI (5mm) (%)
Sem Cal	4,9	18,0	19,9	8,5	36,9	32,1
	6,7	19,5			74,8	72,3
	8,5	19,9			74,4	78,9
	9,8	19,7			43,5	54,9
2	12,1	19,0	19,2	12,5	4,0	5,2
	8,7	18,7			72,4	67,6
	10,9	19,0			76,1	78,7
	12,9	19,2			63,0	71,5
3	14,8	18,5	19,2	12,9	17,2	20,1
	16,1	17,9			6,0	7,0
	7,7	17,8			45,9	47,9
	8,8	18,6			60,3	65,0

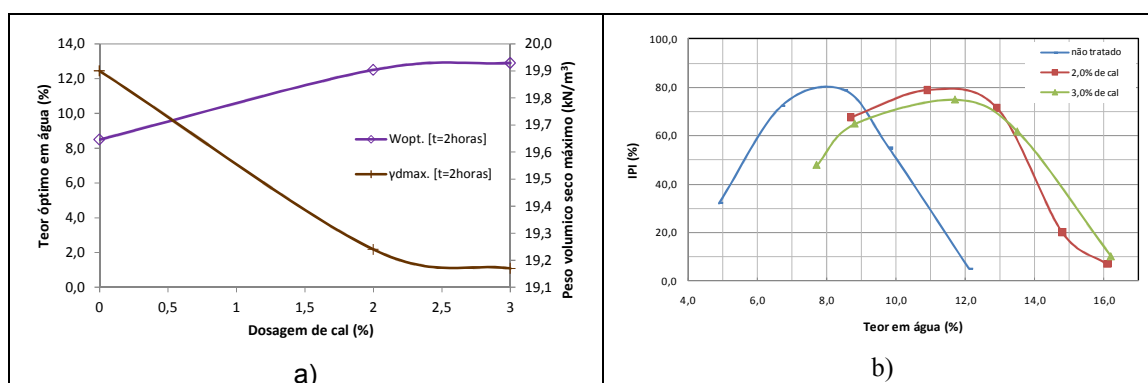


Fig.2. a) Variação do teor em água óptimo e peso volúmico com a dosagem de cal; b) Variação de IPI com o teor em água em função da dosagem de cal

### 3.3 Ensaio CBR

O ensaio CBR é um dos ensaios mais utilizados no dimensionamento de pavimentos flexíveis e trata-se de uma medida convencional aferida da capacidade de suporte de um solo. No caso presente este ensaio foi realizado conforme o descrito na norma já referida [7], com recurso à imersão dos provetes por um período de 96 horas tendo-se utilizado duas placa de sobrecarga. Durante a fase de imersão foi avaliada a expansibilidade dos provetes. Para a compactação dos provetes foi utilizada a energia de compactação pesada e os provetes foram moldados sem variação de energia, ou seja, todos em 5 camadas com 55 pancadas por camada, variando-se apenas os teores em água da moldagem. No Quadro 6 apresenta-se um resumo dos valores obtidos nos ensaios CBR para as diferentes percentagens de cal utilizadas e na Figura 3 representa-se a respectiva evolução.

Os resultados evidenciam bem o incremento da rigidez com a adição da cal [11]. O valor de CBR para 95% da compactação seca máxima sem adição de cal é de 31% e passa para 63% e 71% respectivamente para as percentagens de 2 e 3% de cal. Durante a fase de imersão também foi possível detectar a diminuição da expansibilidade dos provetes assumindo expressão mínima de 0%.

Quadro 6. Resultados dos ensaios CBR

Dosagem de cal (%)	Peso vol. seco (kN/m <sup>3</sup> )	Teor em água (%)	Teor em água óptimo (%)	Peso volúmico seco máx. (kN/m <sup>3</sup> )	Grau de Compactação (%)	CBR 2,5 mm (%)	CBR 5,0 mm (%)	Expans. (%)
Sem cal	17,0	8,7	8,5	19,9	85,43	2	2	0,8
	18,0	8,5			90,45	11	11	0,8
	19,4	8,7			97,49	41	43	0,7
2,0	17,3	13,2	12,5	19,2	90,1	30	29	0,0
	18,1	13,6			94,3	62	60	0,0
	18,8	13,6			97,9	73	82	0,0
3,0	17,1	14,3	12,9	19,2	89,1	24	25	0,0
	18,0	14,4			93,8	62	62	0,0
	18,7	14,2			97,4	73	95	0,0

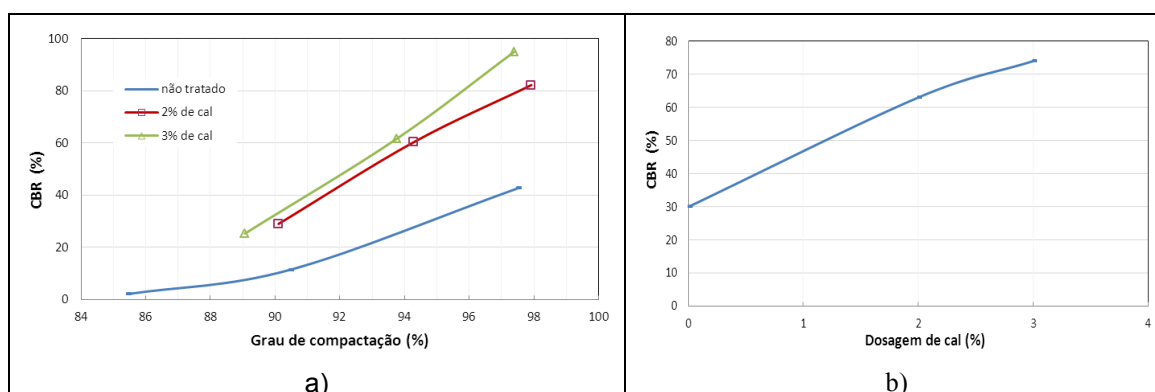


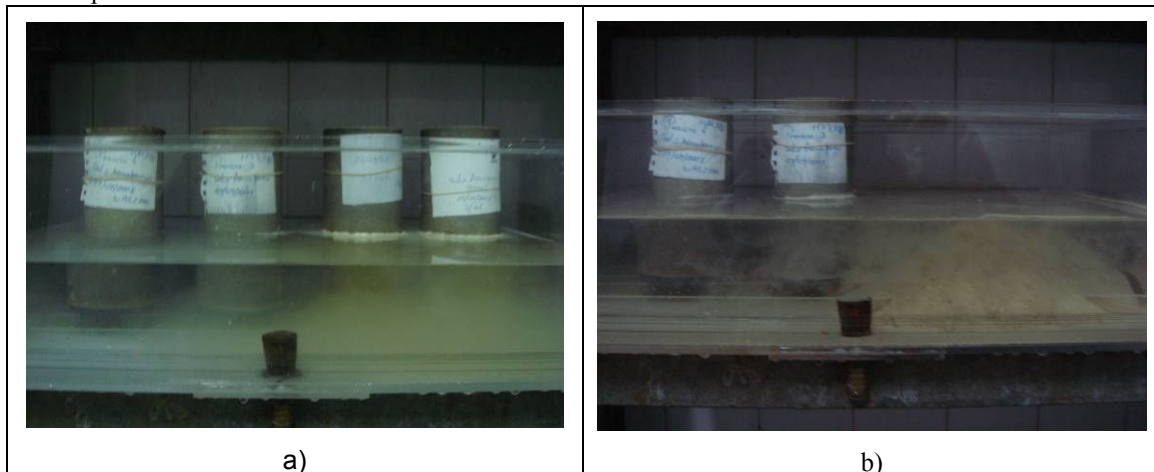
Fig.3. a) Evolução de CBR com a percentagem de cal e o grau de compactação;  
b) Evolução de CBR a 95% com a dosagem de cal

### 3.4 Ensaio de compressão uniaxial

Com a finalidade de compreender o aumento de resistência e a diminuição da deformabilidade do solo tratado com cal foram realizados ensaios de compressão uniaxial sobre provetes sem adição de cal e com 3% de cal. O provete moldado com 3% de cal foi mantido em recipiente fechado durante 7 dias a uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e humidade relativa superior a 95%. No quadro seguinte são apresentados de forma resumida os valores da moldagem e do ensaio de compressão.

Por outro lado, pretendeu igualmente verificar-se a variação de resultados com as condições de moldagem. Desse modo, moldaram-se 8 provetes de ensaio com um grau de compactação de 95% e teor de humidade igual ao óptimo, 4 deles estabilizados com 3% de cal e os restantes sem cal. Esses dois subconjuntos foram submetidos a dois tipos de condições de cura (2 provetes para cada situação): condições de submersão em água (1/3 da altura) e câmara húmida ( $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $HR \geq 95\%$ ). Os provetes sujeitos a condições de submersão foram colocados sobre uma pedra porosa no interior de um recipiente de vidro, adicionando-se água por etapas (1/8, 1/6 e 1/3 da

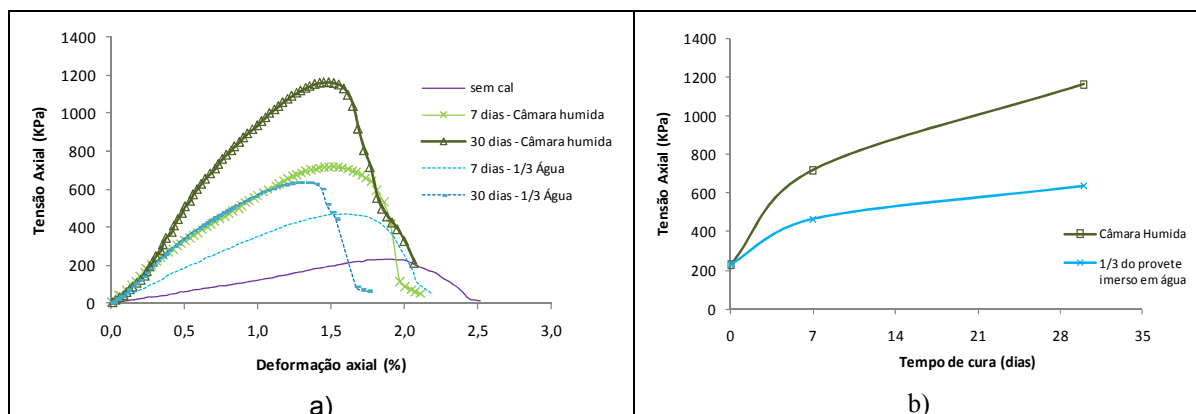
altura) [11], [12]. Na Figura 4 apresentam-se o aspecto dos provetes imediatamente e uma hora após imersão, onde é visível a turbidez inicial no caso de amostras não tratadas e a sua completa desagregação ao fim de uma hora, enquanto os provetes tratados mantêm a sua aparência intacta [11], [13]. No Quadro 7 apresentam-se os resultados obtidos, enquanto na Figura 5 se apresentam as curvas tensão-deformação e a evolução da resistência com o tempo.



**Fig.4. Aparência dos provetes - a) após imersão a 1/3 de altura; b) após 1 hora da imersão**

**Quadro 7. Resultados obtidos nos ensaios de compressão uniaxial**

Dosagem de cal (%)	Condições de cura	Idade (dias)	Módulo tangente inicial (MPa)	$\sigma_c$ - Tensão de rotura (kPa)
Sem cal	Câmara húmida ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $\text{HR} > 95\%$ )	---	28	257
	Imersão a 1/3 da altura	---	Provetes desagregados ao fim de uma hora (Figura 4)	
3,0	Câmara húmida ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $\text{HR} > 95\%$ )	7	64	719
		30	75	1163
	Imersão a 1/3 da altura	7	36	465
		30	69	637



**Fig.5. Evolução da tensão axial: a) com a deformação axial para distintas condições e tempos de cura; b) com o tempo de cura para duas condições distintas de cura**

Os dados obtidos no ensaio evidenciam como era de esperar, que nos provetes submersos em água a 1/3 da altura, o ganho de resistência e rigidez não foi tão acentuado como no caso da cura em câmara húmida [11]. No entanto, os valores obtidos evidenciam um incremento de resistência de 81% e 148%, aos 7 e 30 dias, respectivamente, quando comparado com os resultados obtidos em provetes não tratados conservados em câmara húmida. No caso dos provetes tratados curados em câmara húmida os ganhos em termos de resistência são muito superiores da ordem de 197% e 353%, respectivamente aos 7 e 30 dias. No caso da rigidez a tendência para o crescimento mantém-se, nomeadamente 28% e 146% (7 e 30 dias, respectivamente) no caso de cura em imersão a 1/3 da altura e 128% e 167% no caso de cura em câmara húmida. No entanto, ao contrário do que se verifica no caso da resistência, 30 dias após a moldagem a convergência dos resultados obtidos segundo ambos os modos de cura é evidente, sendo a diferença de resultados inferior a 10%).

### 3.5 Ensaios de carga em placa, PLT

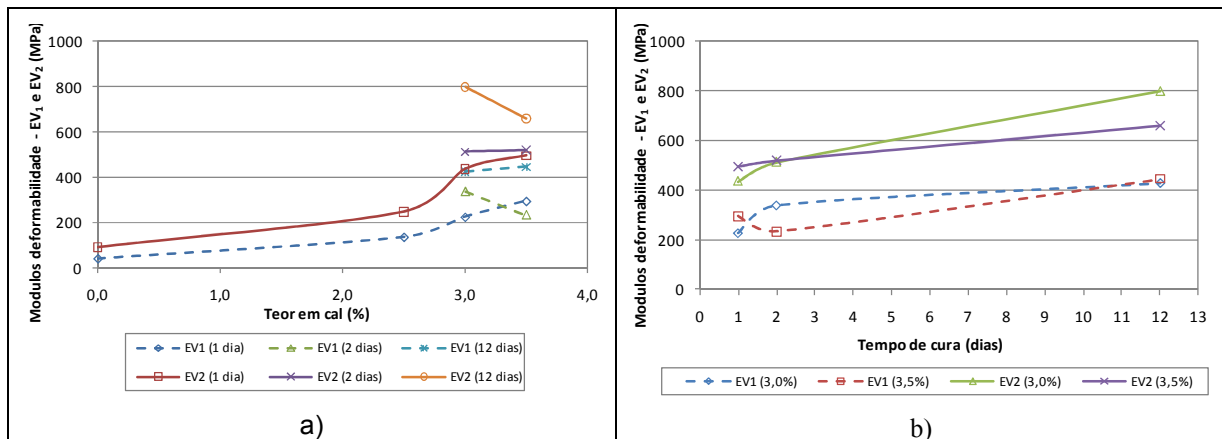
O módulo de deformabilidade é o parâmetro mais frequentemente utilizado para representar as características de rigidez de uma camada compactada, sendo por isso utilizado no controlo de plataformas. Com o objectivo de confirmar as tendências observadas em laboratório, na execução “in-situ”, foram realizados ensaios de carga em placa em aterro experimental 24, 48 horas e 12 dias após a execução, para 3 percentagens diferentes de cal. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma [14], considerando escalões de carga máxima de 500 kPa e 450 kPa, na primeira carga e na recarga, respectivamente.

Na sequência do estudo laboratorial efectuado, visando sobretudo caracterizar a variação da rigidez da mistura em função da percentagem de cal e do tempo de cura, foi executado um aterro experimental onde foram realizados vários ensaios de carga em placa. Os resultados desses ensaios são apresentados no Quadro 8 e na Figura 5.

Quadro 8. Resultados dos ensaios de carga em placa

Tempo de Cura	Parâmetro (PLT)	Percentagem de cal			
		0.0%	2.5%	3.0%	3.5%
24h	EV1	38.8	134.5	224.1	294.7
	EV2	90.9	247.7	434.2	494.7
	K	2.3	1.8	1.9	1.7
48h	EV1	---	---	335.5	232.4
	EV2	---	---	511.7	518.4
	K	---	---	1.5	2.2
12 dias	EV1	---	---	425.4	444.9
	EV2	---	---	797.5	659.5
	K	---	---	1.9	1.5





**Fig. 6. Evolução dos módulos de deformabilidade,  $EV_1$  e  $EV_2$  - a) com teor em cal; b) com o tempo de cura**

A experiência evidencia claramente o aumento da rigidez com as duas variáveis em questão. Na Figura 6 encontra-se representada a evolução dos resultados com a percentagem de cal, representados igualmente em 3 pares de séries de tempos de cura: 24 h (0, 2,5, 3,0 e 3,5% de cal) 48 h e 12 dias (apenas 3,0 e 3,5% de cal, por impossibilidades de logística). As curvas referentes a 24h evidenciam um crescimento mais pronunciado de 2,5 para 3,0% tendendo para 3,5%, apresentando-se paralelas entre si. Os restantes valores (48h e 12 dias) parecem confirmar a tendência para estabilização, considerando-se anómalos os valores de  $EV_1$  às 48 horas para 3,5%, o que ficará a dever-se a alguma variação dos teores locais em cal. Com efeito, a variação de 0,5% em laboratório é perfeitamente controlável, mas esse valor "in-situ", é difícil de garantir com precisão. Globalmente verifica-se que os valores de  $EV_1$  foram sempre superiores a 125 MPa e de  $EV_2$  a 250 MPa. Para percentagens iguais ou superiores a 3,0% esses limites sobem para 225 e 435 MPa, respectivamente, atingindo aos 12 dias valores superiores a 400 e 600MPa. Na Figura 5b), apresenta-se ainda uma perspectiva diferente da evolução relativamente ao tempo de cura (ensaios realizados apenas para 3,0 e 3,5% de cal), que evidencia um crescimento contínuo de ambos os módulos  $EV_1$  e  $EV_2$ .

## 4 CONCLUSÕES

O estudo realizado evidenciou o potencial de adição de cal no melhoramento do comportamento mecânico dos solos. Embora o solo de base seja um solo com pouca actividade argilosa, e portanto fora do âmbito mais corrente de utilização da cal, o melhoramento das suas características foi acentuado.

Neste contexto, o estudo laboratorial prévio revelou que a adição de 3% cal com cura em câmara húmida se traduzia em incrementos significativos do equivalente de areia (de 13% inicial para 51% 72 horas após moldagem), CBR (de 31% para 61%), da resistência à compressão simples (257 MPa para 1163 MPa) e do módulo tangente inicial (de 28 MPa para 75 MPa).

As curvas tensão-deformação mostram um aumento do módulo e diminuição da deformação axial na rotura, em função do tempo de cura e do conteúdo em cal. Por outro lado, evidenciam também um aumento da resistência e da rigidez em relação à situação de referência, tanto em provetes curados em câmara húmida como imersos a 1/3 de altura.

Os ensaios de carga em placa realizados ao longo do tempo (24 horas a 12 dias) em aterro experimental sobre misturas com 2,5 a 3,5% de cal, confirmaram as tendências observadas no estudo laboratorial, verificando-se um aumento de aproximadamente 40MPa para 400MPa ( $EV_1$ ) e de aproximadamente 90MPa para 660MPa ( $EV_2$ ) ao fim de 12 dias.

## 5 REFERÊNCIAS

1. ASTM D2487-85 (1989). "Classification of soils for engineering purposes". *1989 Standards Annual Book*. Vol. 04.08, pp.288-297. ASTM, Philadelphia.

2. LNEC, E 240. Solos - Classificação para Fins Rodoviários. *Especificação LNEC*, Lisboa (1970).
3. CRR “Code de bonne pratique pour le traitement des sols à la chaux et/ou au ciment”. Centre de recherches routières, Bruxelles (2004).
4. NP143. “Determinação dos limites de consistência”. *Norma Portuguesa*, (1969).
5. LNEC, E 199. “Ensaio de equivalente de areia”. *Especificação do LNEC*, Lisboa (1967).
6. LNEC, E 197. “Ensaio de compactação”. *Especificação do LNEC*, Lisboa (1971).
7. EN 13286-47 “Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 47: Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling”. *CEN*, Brussels (2004).
8. EN 13286-41 “Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test method for the determination of compressive strength, of hydraulically bound mixtures”. *CEN*, Brussels (2004).
9. SETRA-LCPC “Traitement des sols à la chaux et/ou liants hydrauliques – Guide Technique”, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées e Service d’Études Techniques des Routes et Autoroutes, Paris, (2000).
10. Castro Neves, E., Viana da Fonseca, A., Cruz, N., Marques, M. & Joly, C “Physical and mechanical characterization of Portuguese Sedimentary and Residual Soils Stabilized With Quicklime“. *International Symposium TREMTI*, Guatemala. (2009).
11. LCPC “Traitamiento de suelos con cal y/o conglomerantes hidráulicos – Aplicación a la construcción de terraplenes y capas de forma – Guide Technique”, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées e Service d’Études Techniques des Routes et Autoroutes, Paris, (2005).
12. Santos, J. “Estudos de Formulação de solo-cimento e solo-cal e respectivas Aplicações”. Tese de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente ISEP, Porto (2008).
13. Castro Neves, E.. “Estudo laboratorial de solos tratados com cal. Modelos de Comportamento”. Tese de Mestrado em Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 182pgs. FEUP, Porto (2009).
14. DIN 18134. “Determining the deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test (2001)”.