

## 8.1 CONCLUSÕES

Tendo em conta os objectivos propostos inicialmente, será importante destacar o facto da estabilização de solos residuais graníticos, através da adição de cal, constituir um processo vantajoso em muitas aplicações de engenharia civil. Face à evolução da resistência mecânica das misturas solo-cal estudadas, verifica-se que a possibilidade de estabilizar um solo deste tipo pode e deve ser encarada com maior frequência, resultando assim em projectos com melhor desempenho em termos de capacidade de carga e durabilidade, e com menores custos ambientais devido à preservação dos recursos naturais não renováveis.

Os principais efeitos da cal sobre os solos foram divididos em dois grupos: **melhoramento** e **estabilização**. Esta classificação faz sentido visto que, no primeiro caso, se incluem os efeitos sobre a trabalhabilidade e sensibilidade do solo à água (plasticidade, granulometria, compactação), obtidos com recurso à inclusão de pequenas percentagens de cal (1 a 3%); enquanto que o segundo termo engloba os efeitos sobre as características mais relevantes a longo prazo (resistência mecânica, durabilidade, permeabilidade), e que só são atingidos com a adição de teores em cal mais elevados (5 a 10%).

No que respeita ao **melhoramento** dos solos estudados, as alterações registadas conduzem à diminuição da plasticidade, ao melhoramento das características de compactação, à alteração da granulometria através da diminuição da percentagem de finos, e ao aumento imediato da resistência mesmo sem a formação de material cimentício em quantidades significativas. Estas alterações, conseguidas com um teor em cal de 2%, foram as seguintes:

- ? No que respeita à plasticidade, registou-se um aumento do limite de plasticidade, o que se traduz num aumento da quantidade de água necessária para que o solo deixe o estado sólido;
- ? Foi verificado que após tratamento a curva granulométrica dos materiais aproximou-se duma curva típica de um material granular, com uma percentagem mínima de material a passar no peneiro nº 200, possibilitando inclusive a mistura com outros aditivos, como o cimento;
- ? A mistura com cal tornou a curva de compactação mais achatada, com uma diminuição da baridade seca máxima e um aumento do teor óptimo de humidade, tornando o teor em água natural do solo inferior ao do referido teor óptimo, permitindo assim uma optimização da compactação através da adição de alguma água;
- ? O aumento de resistência termina pouco tempo depois de efectuada a mistura do solo com a cal. De facto, os valores da resistência não drenada registada após 7 dias de cura são semelhantes aos valores

registados logo aos 3 dias. A quantidade de cal disponível não é suficiente para que se desenvolva o material cimentício responsável pelos principais ganhos de resistência mecânica. Além disso, parte dessa cal é utilizada na permuta iónica, responsável pela já referida flocculação das partículas do solo. Esta conclusão foi obtida após análise dos resultados dos ensaios triaxiais, não consolidados e não drenados. Notar porém que os ganhos de resistência são, mesmo assim, significativos.

Relativamente ao processo de **estabilização**, estudado através da adição de 6 e 10% de cal, as seguintes conclusões puderam ser retiradas:

- ? A resistência à compressão simples das misturas aumentou com o período de cura. Contudo, esse aumento não foi constante no tempo, apresentando valores significativos numa fase inicial, seguindo-se um período de relativa estabilidade, após o qual ocorrem os principais ganhos na resistência, responsáveis máximos pelos valores finais obtidos. A duração de cada uma das três fases indicadas variou com o tipo de solo e com o teor em cal da mistura. A equação adoptada para traduzir a evolução da resistência à compressão simples com o tempo revelou-se indicada em todos os casos;
- ? O teor em cal constituiu também um parâmetro muito importante na resistência final obtida. De facto, a resistência aumentou com o teor em cal (pelo menos até ao valor máximo de 10% ensaiado). O solo S2, com uma matriz arenosa mais densa, atingiu valores de resistência máxima mais elevados do que aqueles atingidos pelo solo S1, com maior fracção argilosa. Verificou-se que não só a resistência inicial do solo S2 é superior à do solo S1, como também apresentou uma taxa de evolução superior, atribuída à estrutura deste solo. Assim, o solo S2 com uma estrutura granular mais compacta necessitou de uma menor quantidade de material cimentício para aumentar as ligações entre as partículas que contribuem para o aumento da resistência.
- ? Relativamente à resposta das misturas sob condições de saturação, verificou-se que a diferença entre a resistência saturada e não saturada se manteve aproximadamente constante no tempo, o que permite concluir que as perdas se ficaram a dever exclusivamente à eliminação do potencial de sucção, devido à saturação da mistura. Isto significou uma diminuição, a longo prazo, da percentagem de perdas relativamente à resistência não saturada.
- ? Será importante destacar ainda as vantagens da utilização de cloreto de sódio na estabilização dos solos 1 e 2. De facto, quando foi utilizado este aditivo, em conjunto com a cal, verificaram-se não só aumentos na resistência à compressão simples muito significativos, como uma diminuição na susceptibilidade à água destas misturas. Constatou-se assim que é mais rentável a inclusão de pequenas quantidades deste aditivo, do que o aumento do teor em cal, visto que a adição de um teor

em cloreto de sódio igual a 0,12% conduziu a resultados pelo menos tão vantajosos como os que foram obtidos com um teor adicional de 4% em cal.

## 8.2 TRABALHOS FUTUROS

Como foi já referido no capítulo anterior, os resultados obtidos ao nível da resistência à compressão simples das misturas de solo, cal e de cloreto de sódio, bem como o seu melhor desempenho sob condições de saturação, justificam não só um estudo mais completo da inclusão deste aditivo, como o estudo da inclusão de outros aditivos de baixo custo.

De facto, se por um lado a resposta destas misturas (S1C6A e S2C6A) foi muito positiva relativamente às misturas de solo-cal simples; por outro, nada indica que a adição deste material em diferentes teores não produza ainda melhores resultados ao nível da resistência mecânica e da sensibilidade à água.

Outra vertente a explorar será o efeito do melhoramento das condições de cura, através do aumento da temperatura e do próprio período de cura. A margem de progressão da resistência de todas as misturas parece ser ainda considerável, havendo inclusive que admitir a hipótese do próprio período de indução, anterior à fase 3 de evolução da resistência mecânica (a mais produtiva em termos de resistência), não ter ainda terminado em algumas das misturas estudadas.

Os teores em cal das misturas constituem ainda outra questão cujo desenvolvimento poderá revelar-se bastante interessante. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, e também com os resultados divulgados na literatura, tudo indica que o teor em cal máximo utilizado (10%) não conduz ainda à resistência máxima das misturas. Ou seja, sabendo-se que a resistência aumenta com o teor em cal, mas apenas até um determinado valor limite, seria interessante conhecer, para os solos estudados, qual a quantidade de cal que conduziria ao valor máximo da resistência à compressão. Admitindo ainda que a relação teor em cal / resistência não é linear, hipótese aliás bastante plausível em face dos resultados já referidos, seria igualmente interessante poder avaliar o teor em cal mais indicado do ponto de vista do binómio desempenho / custos.