

1.1 GERAL

O melhoramento de solos constitui provavelmente a técnica mais antiga e, do ponto de vista técnico, a mais intrigante de todas as que são utilizadas na Engenharia Civil. Há mais de 3000 anos o melhoramento de solos era já utilizado na construção dos templos da antiga Babilónia. Neste período, os chineses usavam madeira, bambu ou palha para reforço do solo. O idiomatema chinês para o termo “Engenharia Civil” não significa mais do que “solo e madeira”.

As técnicas de melhoramento de solos são de crucial importância para a resolução de cada vez mais complicados problemas relacionados com os solos de fundação. No que diz respeito às técnicas de melhoramento de solos, os seguintes grupos podem ser distinguidos (Van Impe, 1989):

1. Técnicas de melhoramento temporárias: limitadas ao período de construção;
2. Melhoramento permanente: as técnicas são aplicadas para melhorar o solo natural sem a adição de quaisquer materiais;
3. Melhoramento permanente com adição de materiais ao solo natural.

A estabilização de solos através da adição de aditivos como a cal e o cimento constitui um processo de tratamento incluído neste terceiro grupo. De facto, a estabilização de solos com base nas reacções químicas entre as partículas de solo, a água e os materiais adicionados constitui uma alteração permanente do solo natural, na medida em que este tipo de tratamento origina um novo material, com características diferentes e necessariamente mais aproximadas daquelas que se pretendem para a obra em causa.

A necessidade de estabilizar um solo deve-se normalmente a um dos seguintes factores: 1. fraca capacidade de carga ou elevada permeabilidade em solos de fundação que, devido à sua localização, são difíceis de tratar por outros métodos que não as injecções; 2. solos naturais pouco adequáveis à execução de fundações superficiais, especialmente estradas e aeroportos.

A estabilização de solos com cal produz melhorias significativas na textura e estrutura do solo, reduzindo a plasticidade e originando aumentos na resistência mecânica. Um considerável aumento da resistência a longo prazo é não só possível como provável. Por outro lado, o aumento de resistência desenvolvido na mistura solo-cal está directamente associado à redução substancial do seu potencial de deformação.

Um grande número de investigadores dedicou já consideráveis recursos no intuito de otimizar os procedimentos de ensaio e aumentar os conhecimentos sobre o fenómeno da estabilização de solos com cal, permitindo assim que a sua utilização seja encarada com grande segurança.

Contudo, fazendo uma análise do mercado corrente da estabilização com cal, verifica-se que somente um pequeno número de empreiteiros e consultores estão envolvidos na maioria dos empreendimentos. Estas empresas aprenderam a usar a cal como aditivo estabilizante e colhem daí benefícios. Porém, um grande número de empresas não identificou ainda as vantagens da utilização da cal na estabilização de solos, colocando-se assim em desvantagem perante a concorrência. A inércia proveniente do conservadorismo dos intervenientes no processo de construção necessita de ser vencida, de modo a que todo o potencial deste material possa ser aplicado nesta indústria.

Ao longo dos últimos anos a estabilização com cal tem sido utilizada apenas como último recurso, onde outros métodos falharam. A estabilização com cal não só fornece soluções para condições de aplicação particularmente difíceis, como permite que os solos *in situ* sejam usados numa grande variedade de situações. Estas considerações têm de ser examinadas e ponderadas em fase de projecto e de orçamentação, de modo a que as opções possam ser tomadas com base no mérito técnico e nas vantagens económicas.

As oportunidades para o recurso à estabilização com cal na indústria da construção nunca foram tão grandes. Existem pressões crescentes no sentido de minimizar o uso de recursos naturais, já de si escassos, tendo sido introduzidas penalizações ao movimento e arrastamento excessivo de materiais. Os solos tratados *in situ*, com cal, podem reduzir substancialmente o impacto de tais problemas.

A crescente competitividade tem feito com que as empresas procurem arduamente situações económicas vantajosas e sistemas que possam ser usados em condições de tempo variáveis. A salvaguarda dos espaços verdes implica uma diminuição dos possíveis locais de empréstimo e conseqüentemente uma maior necessidade de aproveitar o solo local. Para todos estes casos o tratamento com cal apresenta grandes benefícios. Actualmente, e um pouco por todo o mundo, tem-se trabalhado com o objectivo de produzir normas europeias para regularizar o tratamento de solos com cal.

À medida que aumenta a sensibilidade para o uso de materiais baratos existentes no local de cada construção, esta técnica será preferível ao esvaziamento dispendioso e ao empobrecimento das reservas naturais que, além do mais, necessitam ser transportadas ao longo de distâncias maiores.

1.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

A história da estabilização de solos na construção de pavimentos rodoviários remonta já ao tempo das civilizações Mesopotâmica e Romana. Os Gregos e Romanos foram os primeiros a utilizar cal como estabilizante (Kezdi, 1979, in Hamzah, 1983). A necessidade de superfícies rígidas torna-se ainda mais evidente com a invenção dos veículos com rodas, e à medida que o tempo foi passando tornou-se cada vez mais óbvia a

incapacidade das vias de comunicação então existentes em suportar este tipo de cargas. Com o passar do tempo a investigação que foi sendo feita nesta área levou a que hoje em dia as vias rodoviárias sejam executadas em betão ou betuminosos sobre bases e sub-bases devidamente estabilizadas.

As técnicas contemporâneas de estabilização de solos foram iniciadas nos Estados Unidos no já longínquo ano de 1906. Os resultados favoráveis obtidos com misturas de areia e argila motivaram a execução de projectos com misturas que incluíam cimento, betume e alguns químicos. Foi também nesta altura iniciado o desenvolvimento de máquinas apropriadas para proceder à estabilização dos solos.

O continente Europeu manteve-se afastado desta nova tendência na construção rodoviária até meados da década de 30, altura em que a indústria automóvel floresceu também neste sector do globo e a necessidade de incluir a mecânica dos solos na execução de projectos rodoviários tornou-se evidente.

Mais tarde, todos os países envolvidos na Segunda Grande Guerra utilizaram cimento como aditivo para a estabilização dos solos dos aeroportos e vias de acesso. A investigação prosseguiu após a guerra e hoje as bases de vários quilómetros de auto-estrada são previamente estabilizadas.

Foi também na década de 40, nos Estados Unidos, que as técnicas de ensaios laboratoriais em solos, em desenvolvimento na altura, foram aplicadas para avaliação das misturas solo/cal. O tratamento de argilas com cal começou no início da década de 50, no "Texas Highway Department", e aumentou rapidamente em popularidade, tornando-se uma técnica bem sucedida na Europa no decurso da década seguinte.

1.3 ORGANIZAÇÃO E OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação pretende ser um contributo para a compreensão dos fenómenos envolvidos na estabilização de solos residuais graníticos através da cal. O leque alargado de variáveis que, directa ou indirectamente, influem na resposta do solo natural à mistura com a cal não permitiu que nesta dissertação fossem estudados todos os parâmetros capazes de significativamente alterar o comportamento da mistura. Sendo assim, optou-se por analisar aqueles que constituem, de acordo com a bibliografia consultada, os mais relevantes para a caracterização de uma mistura solo-cal.

Este objectivo geral assenta em dois grandes objectivos: caracterizar a evolução da resistência mecânica de misturas de solo residual granítico com cal hidratada, fazendo variar o máximo de parâmetros possível; e determinar o nível de melhoramento na trabalhabilidade do solo (classificação, plasticidade, compactação), quando lhe são adicionadas pequenas quantidades de cal hidratada.

Todos os parâmetros estudados para a mistura solo/cal são comparados com os respectivos parâmetros do solo natural e a partir daí é avaliada a real influência da adição de cal no solo.

Após a introdução ao trabalho desenvolvido (Capítulo 1), é abordado no Capítulo 2 o conceito de estabilização de solos. Descrevem-se também as várias metodologias normalmente utilizadas, sendo estas classificadas de acordo com o tipo de alteração que provocam no solo natural.

No Capítulo 3 caracterizam-se os materiais envolvidos no processo de estabilização, nomeadamente os solos argilosos e a cal. A atenção com que são tratados os solos argilosos deve-se ao facto de serem praticamente os únicos susceptíveis de serem melhorados através da cal.

No Capítulo 4 é aprofundado o método da estabilização com recurso à adição de cal. Descrevem-se os mecanismos envolvidos no processo e as propriedades finais da mistura.

No Capítulo 5 são caracterizados os materiais utilizados e os ensaios realizados no âmbito desta dissertação, quer no que diz respeito aos aparelhos de ensaio quer no que respeita à própria preparação dos provetes ensaiados.

Os resultados dos ensaios referidos no capítulo anterior são apresentados e analisados nos Capítulos 6 e 7. O Capítulo 6 é dedicado aos ensaios relacionados com o melhoramento do solo após mistura com a cal; enquanto o Capítulo 7 engloba os ensaios relacionados com a evolução das características de estabilização da mistura.

As conclusões são apresentadas no Capítulo 8, onde são também feitas várias considerações a respeito de eventuais melhoramentos a introduzir num próximo estudo, no sentido de otimizar o processo de estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal.