

1 Introdução

O mundo atual vive tempos de urbanização acelerada, especialmente no Brasil, onde atualmente 84,4% da população se concentra em cidades (IBGE, 2010), dentre elas duas mega aglomerações urbanas (Grande São Paulo, Grande Rio) e 10 cidades com mais de um milhão de habitantes (Manaus, Belém, São Luís, Recife, Fortaleza, Belo Horizonte, Salvador, Curitiba, Porto Alegre, Goiânia). A indústria da construção civil, em decorrência deste aumento da população e da falta de terrenos livres nas grandes cidades, tende a desenvolver projetos em áreas antes consideradas inviáveis, tanto sob o ponto de vista técnico quanto econômico, devido à existência de solos classificados como difíceis, caracterizados pela presença de solos arenosos fofos ou estratos de argila mole, de baixa capacidade de suporte e alta deformabilidade sob carregamento gerado por construções de grande porte.

Existem várias técnicas de melhoramento de solos, com o objetivo de incrementar a resistência ao cisalhamento, reduzir a compressibilidade e permeabilidade. A técnica conhecida como *compaction grouting* (bulbos de compactação) é especialmente indicada para solos arenosos fofos. Uma mistura adequada de areia, argila, cimento e água, constituindo uma argamassa, é bombeada sob pressão através de uma tubulação, formando um bulbo no interior do maciço que é expandido com base em pressão e volume pré-determinados. A execução de bulbos sucessivos forma uma coluna que atua comprimindo radialmente o solo, compactando-o e assim melhorando suas características geotécnicas.

Outras colunas são executadas, geralmente no padrão de malha quadrada, com espaçamento e diâmetros que podem ser melhor estabelecidos em análises por métodos analíticos ou numéricos.

Durante a década de 1950, esta técnica foi utilizada principalmente para a correção de problemas de recalque em estruturas (Figura 1.1) sendo

posteriormente empregada para mitigação do potencial de liquefação de solos arenosos fofos (Andrus e Chung, 1995).

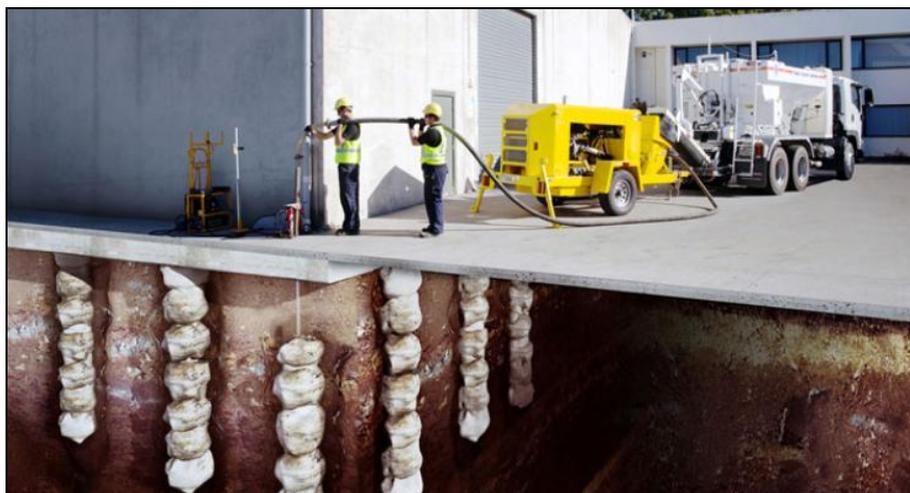


Figura 1.1 – Bulbos de compactação para compensação de recalques em estruturas.

Como técnica de melhoramento de solos arenosos, necessita do conhecimento de uma série de parâmetros, dependentes das características do depósito de solo, para determinação do espaçamento entre colunas, número de etapas e taxas de injeção da argamassa, estabelecimento de uma pressão de injeção limite e do raio final do bulbo de compactação. Alguns destes parâmetros podem ser obtidos mediante uma solução analítica desenvolvida por El-Kelesh *et al.* (2001), com base na teoria de expansão de uma cavidade esférica apresentada por Vesic (1972) e considerando a formação de uma superfície de ruptura cônica acima do ponto de injeção. Entretanto, não é possível quantificar a melhoria do solo e existem poucos estudos na literatura sobre a aplicabilidade da mesma.

Nesta dissertação alguns resultados quantitativos relacionados com a melhoria de um depósito de areia fofa (seca e totalmente saturada) são discutidos e, sempre possível, comparados com a solução de El-Kelesh *et al.* (2001). Os resultados foram obtidos por meio de simulação numérica pelo método dos elementos finitos, utilizando os programas computacionais Plaxis 2D, em uma análise axissimétrica, e Plaxis 3D, em uma análise tridimensional, admitindo o comportamento mecânico do solo representado pelos modelos constitutivos de Mohr-Coulomb e HSM (*Hardening Soil Model*).

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo-se o presente onde se introduz o tema de pesquisa e seu objetivo.

O capítulo 2 apresenta uma revisão das diferentes tecnologias utilizadas para o melhoramento de solos por injeção de bulbos de argamassa, discutindo sua aplicabilidade em diferentes tipos de depósitos, suas principais características, vantagens e dificuldades.

O capítulo 3 é dedicado para uma descrição da técnica de bulbos de compactação (*compaction grouting*), apresentando sua evolução com o tempo assim como sua aplicação em trabalhos de campo.

No capítulo 4 são descritas as metodologias para análise de aplicações da técnica de bulbos de compactação, baseadas em soluções analíticas e numéricas, enquanto que o capítulo 5 apresenta e discute os resultados obtidos no caso de melhoramento de um depósito de areia fofa.

Finalmente, o capítulo 6 é reservado para as conclusões obtidas com a presente pesquisa, bem como para a apresentação de sugestões para dar continuidade a estudos relacionados com a técnica de bulbos de compactação.