

# 1 INTRODUÇÃO

A necessidade da execução de escavações urbanas cada vez mais profundas tem imposto aos engenheiros geotécnicos o grande desafio de equilibrar elevados esforços horizontais com um mínimo de deslocamentos do maciço de solo e das estruturas localizadas nas vizinhanças. Em muitos destes casos, a utilização de cortinas ou paredes atirantadas se constitui na solução técnica mais adequada.

O atirantamento é normalmente feito, à medida que se realiza a escavação, por meio de ancoragens instaladas no maciço de solo, em furos contendo no seu interior um elemento estrutural resistente a esforços de tração (tirante) e um tubo com válvulas para injeção da calda de cimento sob pressão para formação, em uma ou várias fases sucessivas, do bulbo de ancoragem.

O dimensionamento do bulbo de ancoragem é um dos fatores fundamentais que controlam o comportamento de cortinas ancoradas, e o aspecto de projeto que atualmente necessita de mais investigações diz respeito à realização de ensaios em campo, visto a dificuldade de se estimar as características do comportamento mecânico na interface bulbo-solo, dependente tanto das propriedades do solo quanto do bulbo, sendo ambas significativamente afetadas pelo processo de perfuração e de injeção.

As primeiras obras com ancoragem em solo surgiram em diversos países (Alemanha, Itália, França) no final da década de 1950, numa evolução direta da técnica de ancoragem em maciços de rocha. Nesta época, as ancoragens eram constituídas por única barra de aço inserida em furo preenchido com calda de cimento, atingindo normalmente capacidade de carga entre 100 a 200 kN.

No Brasil, segundo Costa Nunes (1978), as primeiras obras de contenção utilizando ancoragem em solo ocorreram em 1957 no Rio de Janeiro, nas rodovias Rio – Teresópolis e Grajaú – Jacarepaguá. Nos anos seguintes, a principal aplicação desta técnica restringiu-se à estabilidade de encostas, com cargas de até 250kN, porém sofrendo sérios questionamentos técnicos sobre a viabilidade de sua utilização em estruturas definitivas, como relata Ostermayer (1974), devido ao

pouco conhecimento que se tinha na época dos efeitos do tempo no comportamento da ancoragem.

Um grande avanço da técnica de ancoragem no Brasil ocorreu no final da década de 1960, após as chuvas de grande intensidade ocorridas na cidade do Rio de Janeiro em 1966 e 1967 e que deram oportunidade de aplicação de ancoragens em diversas obras de contenção de encostas na cidade e em estradas próximas. Outro fato decisivo foi o início da implantação das obras do metrô de São Paulo, na década de 1970, onde foram introduzidas as ancoragens reinjetáveis que representaram uma significativa evolução em relação às ancoragens monobarra e furo apenas preenchido com calda ou argamassa de cimento sob baixa pressão. Segundo Kuhn (1970), pôde-se comprovar que nos solos sedimentares de São Paulo foi possível atingir-se cargas superiores a 400 kN com ancoragens reinjetadas sob alta pressão. A partir desta época, diversas outras aplicações envolvendo ancoragem em solo foram executadas no país, levando à elaboração da NB-565 (atual NBR-5629), aprovada em 1977 e revisada em 1996, contendo definições e especificações técnicas sobre a execução de ancoragens de estruturas em solo para obras temporárias e definitivas.

Nas décadas de 1980 e 1990 a técnica de execução de ancoragens reinjetáveis e protendidas em solo continuou em pleno desenvolvimento no Brasil, estimulada pela necessidade da realização de edifícios residenciais e centros comerciais com vários subsolos nas grandes cidades do país. A execução de paredes diafragmas com linhas de ancoragem suportando cargas de trabalho de até 1000 kN aconteceu em várias destas obras.

Atualmente, ancoragens em solo são executadas intensamente em muitos países, principalmente nas grandes aglomerações urbanas, com cargas que em geral ainda não ultrapassam 1500 kN.

## 1.1.

### **Objetivos da pesquisa e estrutura da dissertação**

Esta dissertação tem como objetivo principal o estudo do comportamento de cortinas ancoradas em solo, incluindo uma revisão dos principais métodos para análises de estabilidade e obtenção da capacidade de carga de cortinas ancoradas em solo. A utilização do método dos elementos finitos, através do programa

comercial Plaxis v.7.2, permitiu a comparação dos valores do fator de segurança calculados com métodos de equilíbrio limite, bem como a realização de estudos paramétricos com o objetivo de verificar a influência no comportamento mecânico da cortina de vários parâmetros de projeto, tais como a espessura da cortina, ângulo de inclinação dos tirantes, embutimento da estrutura, etc.

O trabalho desenvolvido está apresentado de acordo com a seguinte estrutura, sob forma de capítulos:

Capítulo 1 – introdução ao problema pesquisado nesta dissertação e apresentação dos objetivos e da estrutura do trabalho;

Capítulo 2 – apresentação dos aspectos básicos de tirantes, descrevendo suas principais partes, classificação quanto à vida útil, formas de trabalho, constituição e sistema de injeção, protensão da ancoragem, bem como as principais vantagens e desvantagens da utilização de ancoragem em solo.

Capítulo 3 – descrição dos principais métodos para investigação da estabilidade e capacidade de carga de cortinas ancoradas em solo. Discute também as várias definições do fator de segurança propostos na literatura e descreve o procedimento básico para estimativa do fator de segurança através do método dos elementos finitos.

Capítulo 4 – consideração a respeito de algumas dificuldades de modelagem do comportamento de cortinas ancoradas em solo pelo método dos elementos finitos. Faz também uma breve descrição das características principais do software utilizado nesta pesquisa (Plaxis v.7.2) e apresenta os resultados numéricos dos exemplos analisados no trabalho, que incluem estudos de estabilidade e da influência de parâmetros (espessura da cortina, ângulo de inclinação dos tirantes, embutimento da cortina, número de linhas de tirantes, nível d'água) sobre o comportamento mecânico de cortinas ancoradas em solo.

Capítulo 5 – apresentação das principais conclusões obtidas no presente trabalho e de sugestões para futuras pesquisas na área.