

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A utilização de obras ancoradas em solo ou rocha é atualmente bastante empregada no Brasil, seja na execução de estruturas de contenção quanto na estabilização de taludes e encostas em solo ou rocha.

No processo de transferência de carga solo-bulbo a resistência frontal do bulbo para efeitos de projeto é geralmente desprezada e a capacidade de carga da ancoragem é considerada função apenas da sua resistência lateral, cuja mobilização depende do deslocamento relativo ocorrido entre o bulbo e o solo. Alguns autores admitem que com a continuidade do deslocamento do bulbo a tensão cisalhante conserva seu valor máximo, enquanto que outros consideram que devido aos relativamente altos valores do deslocamento do bulbo a tensão cisalhante decresce gradualmente para um valor residual. A experiência brasileira parece comprovar que em ancoragens reinjetáveis sob alta pressão a tensão cisalhante ao longo do bulbo permanece praticamente constante após atingir seu valor máximo, independentemente do tipo de solo, enquanto que em ancoragens não reinjetáveis, injetadas sob baixa pressão, tem sido observado um significativo comportamento de pico para deslocamentos relativamente altos do bulbo (da ordem de 100 mm).

A finalidade de protensão é tracionar a ancoragem, colocando-a sob carga antes da aplicação dos esforços provenientes do maciço de solo, com o objetivo de diminuir os deslocamentos da estrutura de contenção. Em todas as ancoragens é realizado o ensaio de recebimento, no qual são feitas leituras do deslocamento da cabeça da ancoragem para os vários níveis de carga aplicados. Além da verificação do comportamento carga x deslocamento da ancoragem, o ensaio de recebimento permite separar as parcelas de deslocamento elástico, considerado proveniente do alongamento do trecho livre do tirante, e de deslocamento plástico ou permanente, atribuído ao deslocamento do bulbo, considerado rígido, no interior do maciço de solo. Novais Souza (2001) mostra a importância de se considerar o bulbo como elemento deformável, enfatizando que a não

consideração do alongamento do bulbo dificulta muito a representação do comportamento da ancoragem, principalmente em relação à definição do limite mínimo do trecho livre efetivo. O procedimento recomendado pela norma NBR-5629 que admite o bulbo rígido pode ser contra a segurança, segundo aquele autor, pois o trecho livre efetivo mínimo pode ser bastante menor quando o alongamento do bulbo é considerado.

A melhor estimativa da capacidade de carga de ancoragens em solo é aquela determinada pela realização de ensaios prévios de ancoragem, construída com a mesma tecnologia e mão de obra no local da obra. Os métodos disponíveis para determinação da capacidade de carga de ancoragens em solo de maneira geral consideram que a resistência da ancoragem deve-se exclusivamente à resistência ao cisalhamento desenvolvida na interface solo-bulbo, sem consideração dos efeitos do processo construtivo.

Dentre os métodos examinados neste trabalho para estimativa da capacidade de carga encontram-se: a) método da norma brasileira NBR-5629, que não leva em consideração os efeitos da pressão de injeção; b) método de Ostermayer (1974), baseado em ábacos que correlacionam o comprimento do trecho ancorado com a capacidade de carga, sem especificação do procedimento de injeção ou dos valores da pressão de injeção; c) método de Bustamante e Doix (1985), que procura incorporar as influências da técnica de injeção, pressão de injeção e volume de calda de cimento injetada mas que contrariam evidências experimentais ao indicar que os efeitos de reinjeção são mais pronunciados para argilas/siltos do que para areias/cascalhos; d) método de Costa Nunes (1987), semelhante ao de Bustamante e Doix (1985), porém com a importante diferença que a influência da pressão de injeção pode ser analisada quantitativamente; e) método de Mecsi (1997), que apresenta a importante vantagem de possibilitar a estimativa da capacidade de carga da ancoragem e dos deslocamentos correspondentes.

Com relação à análise global da estabilidade de cortinas ancoradas em solo foram pesquisados os seguintes métodos: a) método de Kranz (1953); b) método de Kranz generalizado (Ranke & Ostermayer, 1968); c) método de Costa Nunes e Velloso (1963); d) método de Broms (1968); e) método dos elementos finitos, através da simulação do colapso.

De maneira geral, a literatura registra três definições para fator de segurança no contexto do projeto de estruturas de contenção: a) fator de segurança calculado como a razão entre forças tangenciais resistentes e forças tangenciais atuantes ao longo da superfície potencial de ruptura, como no método de Costa Nunes e Velloso (1963); b) a fator de segurança calculado como o quociente entre o empuxo passivo totalmente mobilizado e o real “empuxo passivo de trabalho”, como no método de Broms (1968); c) fator de segurança calculado como o quociente entre o empuxo passivo resultante (diferença entre os empuxos passivo e ativo) totalmente mobilizado e o empuxo passivo resultante de trabalho. Devido a limitações na definição destes fatores de segurança global, métodos têm sido propostos nos quais cada fonte de incerteza é considerada independentemente, na chamada abordagem dos fatores parciais.

O método dos elementos finitos é atualmente a ferramenta numérica mais versátil para análise de problemas de interação solo-estrutura. Permite modelar de forma realista o comportamento mecânico da superestrutura, fundações e solo, preservando a geometria da estrutura, superfície do terreno e estratos de solo, etc. Apesar desta grande capacidade, algumas precauções na modelagem bidimensional de cortinas ancoradas em solo devem ser levadas em conta, dentre elas: a) modelagem da cortina, com incorporação de elementos de interface; b) modelagem da ancoragem, com emprego de elementos de mola, no trecho livre, e elementos planos e de interface, no trecho ancorado. Observar que enquanto o comportamento da cortina pode ser aproximado pela análise no estado plano de deformação, o comportamento das ancoragens, por gerarem estados 3D de tensões, resulta bem menos realista.

Nesta dissertação, além de se procurar validar o processo de modelagem de cortinas ancoradas em solo através do ‘software’ comercial Plaxis v.7.2, procurou-se melhor compreender o comportamento mecânico destas estruturas através das seguintes aplicações numéricas:

a) análise paramétrica de uma cortina de concreto ancorada em solo, avaliando-se a influência dos seguintes parâmetros em seu comportamento mecânico: etapas de escavação, espessura da cortina, ângulo de inclinação dos tirantes, embutimento da cortina, número de tirantes, nível d’água, rigidez do bulbo.

b) análise de cortina de concreto ancorada em solo residual do Rio de Janeiro, incluindo a distribuição dos deslocamentos horizontais com as etapas de escavação, distribuição das tensões na cortina e no trecho ancorado, variação dos deslocamentos relativos ao longo do bulbo, em relação ao solo circunvizinho, e análises de estabilidade pelo método de Costa Nunes e Velloso (1963), método de Kranz generalizado (Ranke & Ostermayer, 1968) e método dos elementos finitos.

Apesar do pequeno número de casos estudados, entende-se que os resultados numéricos obtidos foram importantes para a compreensão deste complexo problema de interação solo-estrutura.

Como sugestões para futuros trabalhos de pesquisa na área de cortinas ancoradas em solo apresentam-se os seguintes tópicos:

- a) investigação mais detalhada dos métodos de equilíbrio limite para estabilidade de cortinas ancoradas em relação aos resultados numéricos obtidos pelo método dos elementos finitos, onde a superfície de ruptura não é pré-definida como nos métodos de Costa Nunes e Velloso (1963), método de Kranz generalizado (Ranke & Ostermayer, 1968), dentre outros;
- b) investigação mais detalhada dos métodos para previsão da capacidade de carga de cortinas ancoradas em relação aos resultados numéricos previstos pelo método dos elementos finitos. Via de regra, observa-se uma grande dispersão nos valores de capacidade de carga quando calculados pelos métodos da norma brasileira NBR-5629, de Ostermayer (1974), de Bustamante e Doix (1985), de Costa Nunes (1987) e de Mecsi (1997);
- c) comparação dos resultados previstos para o comportamento da cortina, análise de estabilidade e capacidade de carga com valores experimentais medidos em campo. Infelizmente, o número de cortinas ancoradas com instrumentação é ainda muito pequeno no Brasil, mas as vantagens deste procedimento seriam enormes para uma melhor compreensão dos fenômenos intervenientes neste tão complexo problema.