



Florianópolis – SC

25 a 28 de novembro de 2012

CONTENÇÃO DE TALUDES COM CORTINAS ATIRANTADAS EM OBRAS RODOVIÁRIAS

Carlos Williams Carrion
Eng Gestor / Coordenador de Projetos Geotécnicos
GEOCONSULTT – Geotecnia, Fundações e Projetos Ltda, São Paulo / SP, Brasil
carloscarrion@uol.com.br

RESUMO

Entre as diversas aplicações das cortinas atirantadas em obras de infraestrutura de transportes, apresenta-se neste trabalho uma seqüência executiva de projeto geotécnico de taludes atirantados, como alternativa de solução de problemas de infraestrutura rodoviária que envolvem instabilidade de encostas e de taludes de solos; com limitações de espaço que não permitem a execução de grandes escavações provisórias. As cortinas atirantadas são estruturas de concreto armado que recebem a tração de tirantes para contenção de taludes, solução adotada para contenção das encostas íngremes das marginais da Via Dutra, entre km 145 e km 147,9, na região de São José dos Campos/ SP. Os tirantes da cortina foram dimensionados por equilíbrio de momento de massas do círculo de ruptura e pela capacidade de carga do bulbo (trecho ancorado), sendo os parâmetros geotécnicos adotados por correlação com as sondagens á percussão (com torque) e ensaios triaxiais. Esta alternativa de projeto de contenção vem sendo utilizada com sucesso em Obras rodoviárias e ferroviárias, especialmente nesta rodovia, onde as vias marginais atravessam relevos topográficos bastante acidentados; onde a geometria da marginal exigiu de cortes altos, e os taludes resultantes desses cortes foram contidos por cortina atirantada esbelta. Finalmente, apresentam-se neste artigo recomendações técnicas e dificuldades executivas para o projeto e gerenciamento da construção de cortinas atirantadas, especialmente quando o espaço e tempo disponível é muito reduzido, e precisa-se de cortina esbelta, com espessura menor do que outros tipos de paramento.

TEMA: Estabilização de encostas e taludes

PALAVRAS CHAVES: Cortina atirantada , Concreto armado , Contenção , Paramento, Taludes, Tirantes

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo apresentar o projeto de cortinas atirantadas para contenção de taludes das vias marginais na Rodovia Presidente Dutra, no trecho entre os km 145 e km 147,9, na região de São José dos Campos/ SP, visando a elaboração dos Projetos Geotécnicos necessários ao detalhamento dos Projetos de Terraplenagem, Muros de Contenção e de Pavimentação das marginais.

Foram realizadas para este projeto uma série de sondagens à percussão e ensaios geotécnicos que permitiram o reconhecimento dos problemas ocorrentes, tais como : regiões de ocorrência de solos moles , estudos de áreas de cortes , fundação de O.A.E-Obras de Arte Especiais e determinação das características geotécnicas dos solos presentes na região.

Neste artigo apresenta-se o dimensionamento geotécnico do muro 02 , um dos muros de contenção em cortina atirantada projetados para possibilitar as obras de implantação das marginais da Via Dutra em São José dos Campos.

O muro 2 localiza-se na marginal Norte , entre Estaca 12275+10,00m (Cortina 1) em corte; com altura de 1,70m até Estaca 12304+18,00m (Cortina 6), em corte, com 13,41m de altura; ao longo da marginal Norte da Via Dutra, com comprimento total de 588,0m

Para a implantação deste muro está prevista a escavação e atirantamento deste muro, em etapas, a partir do seu topo. Os tirantes projetados neste subtrecho são elementos estruturais confeccionados a partir de barras de aço diâmetro 30mm , introduzidas no terreno através de perfuração, que são capazes de suportar esforços de tração e auxiliar na estabilização dos taludes de solos do trecho em estudo. Nas bases dos muros serão executadas sapatas corridas.

Todos os procedimentos para a execução desta contenção de cortina atirantada deverão estar de acordo com a metodologia preconizada pela norma ABNT NBR-5629/96. As estruturas de concreto armado deverão obedecer às prescrições da norma NBR-6118/03.

2- ESCOLHA DO TIPO DE CONTENÇÃO

Tratando-se de muros de contenção com alturas acima de 6,0m de altura, o bom senso recomenda a execução de cortinas de concreto armado pré-moldadas ou não, ancorada no terreno através de tirantes protendidos.

A estrutura ancorada no terreno é uma técnica amplamente utilizada no ramo da infraestrutura de rodovias e ferrovias para a contenção de encostas, que varia em função das características geológico-geotécnicas, do prazo de construção e principalmente da metodologia construtiva a ser implementada na Obra.

O tirante, dito elemento resistente à tração, é um elemento linear que transmite os esforços externos de tração para o terreno.

A recente história de muros atirantados construídos no Brasil, tem mostrado que a concretagem realizada em várias etapas acarreta extenso prazo executivo sendo determinante para estes serviços se apresentarem como caminho crítico no cronograma físico-financeiro da obra.

2.1 FATORES CONDICIONANTES DE PROJETO

Em função dos resultados das sondagens à percussão executadas nas imediações do muro 02 (SP-N04, SP-N12), em sub-trechos de corte em solo, foram detectadas ocorrências de materiais que possam comprometer a estabilidade do maciço nos taludes de corte.

Entre os diversos fatores condicionantes que nortearão as soluções construtivas, na fase de execução das obras de construção da cortina atirantada, destacam-se os seguintes:

- Mínima interferência com o tráfego durante as obras, especialmente no sub-trecho de corte em solo, com eventual indicação de desvio de tráfego convenientemente sinalizado;
- Aproveitamento de materiais de construção disponíveis na região, compatibilizando volumes e distância de transporte de jazidas de empréstimo e bota-fora;
- Convívio com as restrições de praça de trabalho, considerando o porte dos equipamentos, a geometria dos taludes, etc;
- Remanejamento de interferências (postes, tubulações e outras);
- Atendimento aos aspectos ambientais (legislação, medidas mitigadoras, compensatórias, dentre outros).

3 INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS SONDAGENS

As sondagens à percussão SP-N04, SP-N12, realizadas na área de implantação do muro de contenção M2, identificaram as seguintes características geológico-geotécnicas :

- Ocorrência de uma camada superficial de aterro, de argila silto-arenosa que costuma apresentar-se com resistência pouco expressiva, principalmente por ser afetada por intempéries superficiais; com espessura variando de 0,7m a 2,0m.
- A seguir detectou-se ocorrência de camada de solo mole, com profundidade variando de 0,7m a 7,0m da cota da boca do furo; camada classificada como argila plástica pouco arenosa fina, muito mole a mole, com presença do lençol freático variando de 6,5 a 9,4m da cota da boca do furo.
- Na profundidade de 10,0m da cota da boca do furo, identificou-se camada de argila arenosa fina, média a rija, com SPT variando de 8 a 15.
- Sondagens à percussão representativas: SP-N04, SP-N12.
- A partir dos ensaios triaxiais realizados e da interpretação dos resultados das sondagens à percussão, foram adotados os parâmetros geotécnicos na **Tabela 1- Parâmetros Geotécnicos de Projeto**, apresentada na página seguinte:

Todos os procedimentos para a execução desta contenção de cortina atirantada, deverão estar de acordo com a metodologia preconizada pela norma ABNT NBR-5629/96. As estruturas de concreto armado deverão obedecer às prescrições da NBR-6118/03.

4 ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE TALUDES

O muro 2 localiza-se na Marginal Norte da Via Dutra entre Estaca 12275+10,00m (Cortina 1) em corte; com altura de 1,70m até Estaca 12304+18,00m (Cortina 6), em corte, com 13,41m de altura

- Comprimento Total: 588,0m
- Altura Máxima = 13,41m, Altura Mínima = 5,06m
- O muro 2 foi dividido em 06 subtrechos, em função da altura que varia de 5,06m até 13,41m.
- Seção de estudo crítica para altura = 12,7m
- Metodologia: estudo de estabilidade feito através de programa computacional pelo método de Bishop Simplificado.
- Hipótese de cálculo: corte vertical sem contenção.
- Na Tabela 1 , apresentam-se os Parâmetros geotécnicos de projeto, adotados com base nos resultados das Sondagens á percussão realizados na área de estudo

Tabela 1 -Parâmetros geotécnicos de projeto

Solo	Descrição	Coesão (kN/m ²)	Ângulo de Atrito (°)	Densidade (kN/m ³)
1	ATERRO – Argila silto-arenosa, plástica (1 < N _{spt} < 4)	20	10	18,3
2	ALUVIÃO – Areia média (6 < N _{spt} < 7)	5	35	19,0
3	ALUVIÃO – Areia média (7 < N _{spt} < 18)	10	35	19,0

- Na Figura 1 abaixo apresentam-se os círculos de ruptura e de estudo para dimensionamento dos tirantes.

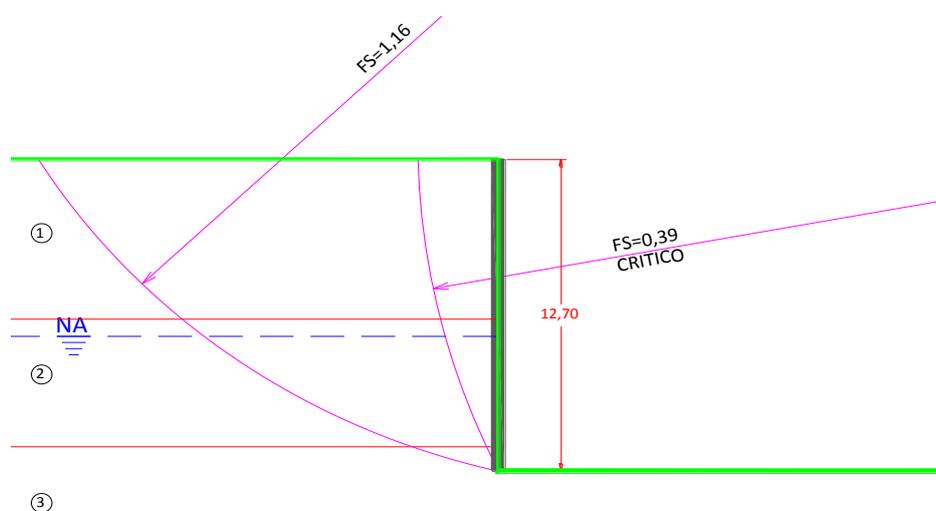


Figura 1- Círculos de ruptura para dimensionamento dos tirantes

5 DIMENSIONAMENTO DOS TIRANTES

- Para o dimensionamento dos tirantes foi utilizado o círculo de ruptura de FS=1,16.
- O trecho livre foi adotado como sendo o comprimento entre o paramento e o limite da zona ativa do círculo em estudo.
- Os tirantes foram dimensionados por equilíbrio de momento de massas do círculo de ruptura e pela capacidade de carga do bulbo (trecho ancorado) pela seguinte expressão:

$$T = \pi \cdot \phi \cdot \alpha \cdot L \cdot q \quad (1)$$

Onde:

T = capacidade de carga do bulbo de ancoragem

ϕ = diâmetro do furo

α = fator de correção do diâmetro final do furo em função do tipo de injeção.

L = comprimento do bulbo de ancoragem

q = aderência entre solo e bulbo.

Ver **Tabela 2 - Resumo de Dimensionamento dos Tirantes**, na pagina seguinte

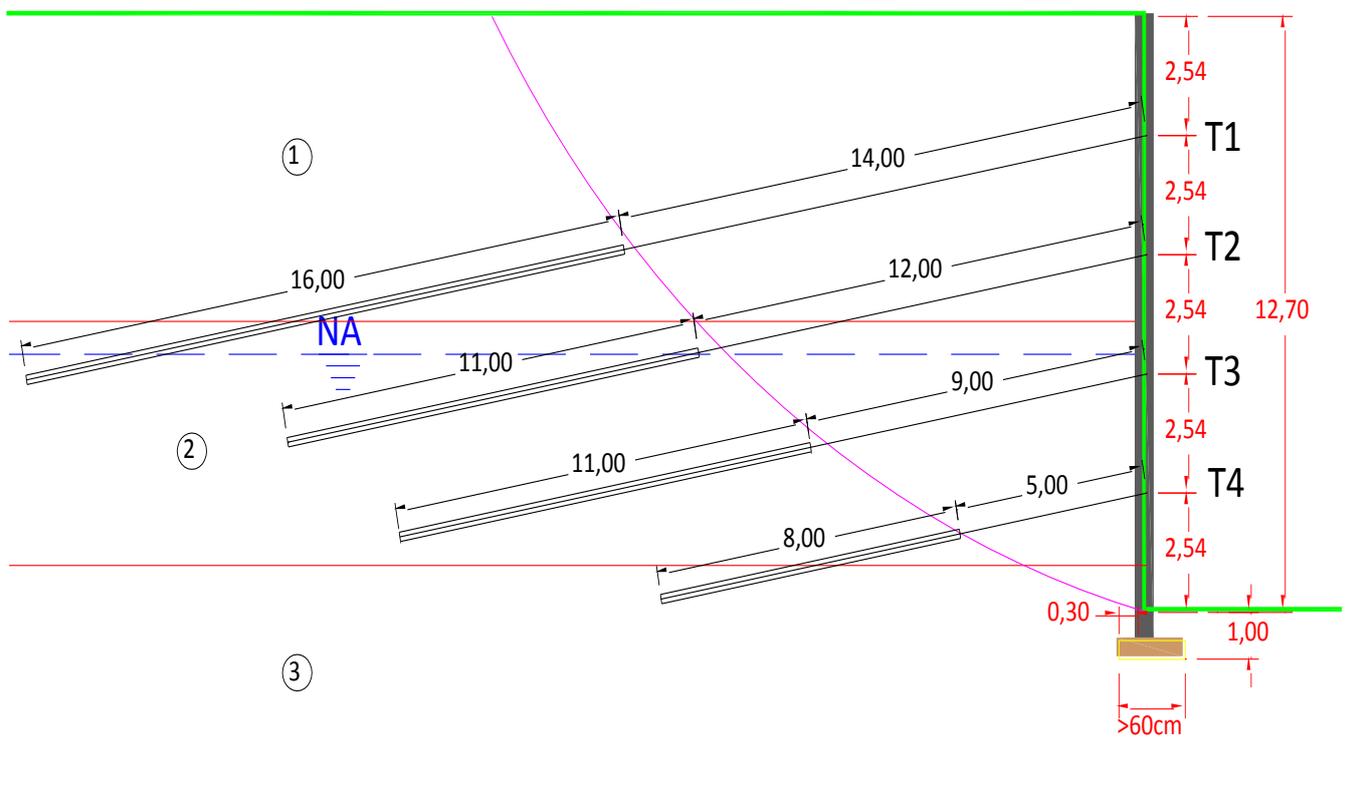


Figura 2 - Profundidade dos Tirantes projetados

Tabela 2 - Resumo de Dimensionamento dos Tirantes do muro de contenção

Empreendimento: Nova Dutra			Local: São Paulo				
Estudo: Muro 2							
Parâmetros Geotécnicos							
Solo	Massa Específica (kN/m ³)	Ângulo de Atrito (°)	Coesão (kN/m ²)	Adesão (kPa)			
1	18,3	10,0	20,0	26,0			
2	19,0	35,0	5,0	47,5			
3	19,0	35,0	10,0	70,0			
Estudo de Estabilidade							
Momento Total Resistente		47.601 kN.m/m		Fator de Segurança FS			
				FS	Bishop	Fellenius	
Momento Total Atuante		37.245 kN.m/m		Atual=	1,16	1,28	
				Dimens.=	1,50	1,65	
Reforço							
Espaçam. Horiz. (m)		2,00	Espaçam. Vert. (m)		2,54	Inclinação	10°
Nº Grampo	Comprimento Perfuração (m)			Barra de Aço ø30mm		Força (kN)	
	Zona Ativa	Ancoragem	Total	Compr. Adotado (m)	Carga de Incorporação	Carga Trabalho	Carga Mínima de Ensaio
1	14,0	16,0	30,0	30,0	188,2	235,2	329,3
2	12,0	11,0	23,0	23,0	183,8	229,8	321,7
3	9,0	11,0	20,0	20,0	183,8	229,8	321,7
4	5,0	8,0	13,0	13,0	197,0	246,3	344,8

6 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS TIRANTES PROJETADOS

- Comprimento do trecho livre: ver Dimensionamento na Tabela 2 acima
- Comprimento do trecho ancorado: ver Dimensionamento na Tabela 2
- Os tirantes foram posicionados de forma que os esforços foram distribuídos simetricamente na cortina. Considerando que a cortina é uma estrutura suficientemente armada , os vãos adotados de 2,40m de parede acima e abaixo dos tirantes são seguros (Ver **Figura 2**).
- Inclinação em relação à horizontal: 10°
- Aço: Barra □ 30mm com pintura anti-corrosiva
- Carga de trabalho:
 - √ Tirante T1: 235 kN
 - √ Tirantes T2 e T3: 230 kN
 - √ Tirante T4: 246 KN
- Carga de Ensaio Tipo A:

- √ Tirante T1: 411,6 kN
- √ Tirantes T2 e T3: 402,2 kN
- √ Tirante T4: 431,0 kN

- Deverão ser executados em pelo menos 10% dos tirantes executados. Estágios de carregamento Conforme NBR-5629.
- Os tirantes T3 e T4 serão ancorados na camada 4 que tem melhor aderência que a camada 3 onde estarão os tirantes T1 e T2. Por isso, os tirantes T3 e T4 conferem maior carga de protensão com menor comprimento do bulbo.
- Carga de Ensaio Tipo B:
 - √ Tirante T1: 330,0 kN
 - √ Tirantes T2 e T3: 321,7 kN
 - √ Tirante T4: 344,8 kN
- √ Deverão ser executados em todos os tirantes , com exceção dos tirantes em que foram feitos ensaios tipo A. Estágios de carregamento Conforme NBR-5629.
- Ensaios de Qualificação e Fluência em 1% dos tirantes executados, conforme NBR-5629/ 96.
- Na cortina atirantada serão implantadas juntas de dilatação de mastiche elástico, a cada 15,0m
- A perfuração será 100% em solo

7 FUNDAÇÃO DA CORTINA ATIRANTADA

7.1- ESCOLHA DO TIPO DE FUNDAÇÃO

A escolha do tipo de fundação do muro de contenção em corte M2 (cortina atirantada), foi realizada em função de diversos fatores técnicos.

Entre os principais fatores que afetaram á definição do tipo de fundação escolhida destacam-se: as características geológico-geotécnicas do material a ser escavado, características do tipo de material de fundação, da presença ou não do lençol freático, da metodologia construtiva a ser empregada, do prazo de construção , da localização da Obra, dos tipos de equipamentos á serem empregados, etc.

A partir da análise das sondagens á percussão e do entorno da obra em questão, notam-se espessas camadas de solos arenosos, podendo-se adotar fundação direta, em função dos fatores enumerados no parágrafo anterior.

Neste muro, a largura da sapata corrida do muro M2 é decorrente do acréscimo de altura dos muros, do aumento do peso próprio da cortina atirantada, da maior carga de trabalho dos tirantes, e especialmente porque além de ser projetada do lado externo do talude, a sapata deverá garantir maior ancoragem no terreno (dentar a sapata do lado interno do talude, com dente máximo de 0,30m); aumentando o volume de concreto armado.

A fundação direta da cortina atirantada será apoiada sobre lastro de concreto magro com 5,0cm de espessura e $F_{ck} = 15,0$ Mpa.

Na cortina de concreto serão utilizados DHP- Drenos Horizontais Contínuos , com 100mm de diâmetro e barbaça com espaçamento de 4,0m na horizontal e 2,5m na vertical.

Para o **Projeto Estrutural da Cortina** e da Sapata Corrida, na altura máxima, adotar-se-á:

- Carga total dos tirantes: 941,10 kN a cada 2,0m
- Componente vertical das cargas dos tirantes: 81,7 kN/m
- Carga devido ao peso da cortina: 95,3 kN/m (estimado)
- Carga de trabalho: 177,0 kN/m
- Tensão Admissível: 300 kN/m²
- Espessura da Cortina : 20 cm
- Devido à excentricidade a sapata poderá apresentar maior largura no cálculo estrutural.

7.2 CALCULO DAS SAPATAS

Muro até 12,7 m de altura – 4 linhas de tirantes – Cortina 6:

- Carga total dos tirantes: 941,0 kN a cada 2,0m
- Componente vertical das cargas dos tirantes: $F_v = 163,4$ kN
- Carga devido ao peso da cortina: $G_{par} = 63,5$ kN/m
- Peso próprio da sapata = 20 cm de altura - tensão na base (desprezando a camada de solo acima) = 5,0 kN/m²
- **Sapata de 1,00 m**
- A largura total da fundação direta da cortina varia de 0,40m na cortina 02 até 1,00 m na Cortina 06

8 DIFICULDADES EXECUTIVAS

Convém alertar sobre os principais riscos operacionais e/ou dificuldades construtivas previstos para a implementação desta cortina atirantada , apoiada em sapata corrida, fato que irá exigir da otimização do controle de qualidade . Entre os **principais riscos** destacam-se:

- Poderão ocorrer **escorregamentos de solos** e/ou falhas de execução durante a escavação, devido á contenção ineficiente dos taludes de escavação, necessários para a implantação dos tirantes e da cortina de concreto armado, aumentando consideravelmente o volume de reaterro necessário por detrás da cortina, em função da consistência muito mole do solo escavado.
- Poderão ocorrer **dificuldades para manter o talude escavado**, perpendicular ao plano de escavação, durante a execução da cortina atirantada, com a presença de **espessa camada de solo de consistência muito mole** a mole (SPT variando de 0 a 4) . Ao escavar em torno de 3,0m de espessura de solo mole , visando a implantação de cada linha de tirantes, recomenda-se implementar medidas técnicas preventivas para manter o solo estável , perpendicular ao plano de escavação, visando a contenção rápida do talude escavado.

- As perfurações necessárias para instalação dos tirantes podem provocar recalques, e as injeções para fixação dos mesmos no talude e a protensão destes podem introduzir esforços horizontais nas fundações adjacentes
- Poderá ocorrer a necessidade de executar **vigas estruturais destinadas ao travamento** dos tirantes. Estas vigas horizontais deverão ser concretadas junto com as cortinas de concreto armado.
- A largura da sapata corrida deverá aumentar, em função do acréscimo de altura dos muros , do aumento do peso próprio da cortina atirantada, da maior carga de trabalho dos tirantes, e especialmente porque além de ter sido projetada no lado externo do talude, a sapata deverá garantir maior ancoragem no terreno (dentar a sapata); aumentando o volume de concreto armado.

A **metodologia executiva da cortina atirantada**, é outro fator a ser levado em consideração, no intuito de minimizar as dificuldades durante os serviços de escavação e durante os serviços de execução dos tirantes, gerando substanciais ganhos de produtividade, redução de prazos de construção e otimização das etapas construtivas com bom padrão de qualidade.

9- CONSIDERAÇÕES FINAIS

O muro em corte foi projetado com fundação de sapata corrida, solução rápida, econômica e segura para a construção de cortinas atirantadas; exigirá de precauções técnicas com ocasião da execução das obras, a seguir nos casos de:

- **Presença de lençol freático com cota acima da cota da base da cortina**, fato que poderá exigir durante a construção, da implementação de processo de rebaixamento do lençol freático na área de implantação do muro.
- **Presença de espessa camada de solo mole**, acima da cota da base da cortina, fato que poderá criar dificuldades e /ou falhas de execução durante os serviços de escavação e escoramento, necessários para implantação dos tirantes. Será necessário a implementação de precauções técnicas preventivas para manter o solo estável, visando a contenção rápida do talude escavado.
- **Elevada altura do muro de contenção**, que provoca aumento substancial da carga de trabalho dos tirantes, gerando largura da sapata corrida (em torno de 1,00 m), em especial porque foi projetada do lado externo do talude.

Uma boa fundação é aquela que tem como apoio um tripé harmonioso, constituído pelo projeto, pela execução e pelo controle de qualidade. A forma como o projeto será executado passa a ser de fundamental importância. Ou seja, cada caso, requer um estudo próprio, que considere todas suas condicionantes geotécnicas e sondagens disponíveis. Um projeto de fundações somente é concluído, no termino da construção da obra, pois a capacidade de carga do solo e suas características de deformabilidade, são sempre afetadas pelo método construtivo adotado.

A execução da fundação direta adotada neste projeto deverá estar integrada com a metodologia executiva da Obra, com os equipamentos a utilizar, com a grandeza das cargas de trabalho e com as características geotécnicas do subsolo local, gerando substanciais ganhos de produtividade e

qualidade, além da vantagem técnica na segurança das escavações e na execução dos tirantes, minimizando a provável necessidades de tirantes de reforço..

- Em obras de contenção, são raros os casos em que o projeto geotécnico foi totalmente definido, em detalhes, antes de sua implantação, sem que ocorram revisões de projeto, durante a fase construtiva. Normalmente, na fase de projeto, uma série de características do maciço são inferidas, devendo ser confirmadas ou não, durante a fase de construção da obra.

Assim, recomenda-se que devido aos custos cada vez maiores das escavações em lugares confinados, deve-se quantificar o volume de concreto armado, volume de escavação, escoramento, serviços de drenagem, etc , para decidir sobre a viabilidade técnico- econômica da alternativa de projeto geotécnico que otimize o controle de qualidade e o cronograma físico-financeiro da obra de contenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMS(1998) - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos - Solos do Interior de São Paulo, São Paulo/SP

ALMEIDA, Marcio de Souza (1996) - Aterros sobre solos moles, Editora UFRJ. Rio de Janeiro,

BOWLES.E.J (1977) -Foundation Analysis and Design , Ed. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo / SP

EHRlich, M.(2009) –Muros e taludes de solo reforçado: Projeto e Execução, Oficina de Textos, Coleção Huesker, São Paulo/ SP

GEORIO (1999) -Manual Técnico de Encostas: Ancoragens e Grampos, Fundação Georio, Rio de Janeiro/RJ

HABIB,P.(1989) -Recommendations for the Design, Calculation, Construction and Monitoring of Ground Anchorages, Rotterdam, Brookfield

LAMBE, T.W.;WHITMAN, R.V.(1969) Soil Testing for Engineers, John Wiley and Sons, USA, 553 p

MELLO, Victor F.B (1980) - Mecânica dos Solos, 2ª edição São Carlos /SP , EESC/ USP

NBR-5629 (1977) Estrutura ancorada no terreno-Ancoragens injetadas, ABNT

NBR-5629 (1996) Execução de tirantes ancorados no terreno, ABNT

RANZINI, S. M.T.(1988)- Empuxo ativo de Rankine. Anais do Simpósio sobre aplicações de microcomputadores em Geotecnia,São Paulo / SP

TERZAGHI, K; PECK, R. B. (1987) Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed, Mc Graw Hill, New York, NY,USA

TSCHEBOTARIOFF,G.P (1978) Fundações, Estruturas de Arrimo e Obras de Terra , McGraw-Hill