



PROJETO DE CORTINA ATIRANTADA EM OBRAS RODOVIÁRIAS – CASO DE INSTABILIDADE DE ENCOSTA ÍNGREME

Carlos Williams Carrion, Ms
ENCIBRA – Estudos e Projetos de
Engenharia, São Paulo / SP
carlos carrion@uol.com.br

Jorge Guillen
ENCIBRA – Estudos e Projetos de
Engenharia, São Paulo / SP
jorge.guillen@encibra.com.br

RESUMO: Entre as diversas aplicações das cortinas atirantadas em obras de infraestrutura de transportes, apresenta-se neste trabalho um caso de projeto geotécnico de taludes atirantados, como alternativa na solução de problemas de infraestrutura rodoviária que envolve 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 145,0 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 com base nas sondagens à percussão (com torque) e em ensaios triaxiais realizados. Esta alternativa de

projeto de contenção foi utilizada com sucesso na Via Dutra – BR 116/SP, onde as vias marginais atravessam relevos topográficos bastante acidentados, a geometria da marginal exigiu cortes altos, e os taludes resultantes desses cortes foram contidos por cortinas atirantadas esbeltas. Com base nos resultados do projeto, apresentam-se recomendações técnicas e dificuldades executivas previstas para o gerenciamento da construção das cortinas atirantadas. Em função das dificuldades do gerenciamento, verifica-se que quando o espaço e o tempo disponível são muito reduzidos, e precisa-se de cortina esbelta, a cortina atirantada é técnica e economicamente a alternativa de projeto mais indicada, com espessura menor do que outros tipos de paramento.

PALAVRAS-CHAVE: Cortina atirantada, Contenção, 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 145,0 e km 147,9, na região de São José dos Campos (SP) (Figura 1), visando a elaboração dos projetos geotécnicos necessários ao detalhamento dos projetos de muros de contenção 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 2, um dos muros de contenção em cortina atirantada projetado para possibilitar as obras de implantação da marginal norte da Via Dutra em São José dos Campos. O muro 2, localiza-se na marginal norte da Via Dutra, em trecho em corte, iniciando na cortina 1 (Figura 2), estaca 12275+10,0 m, com altura de 1,70 m, continuando na cortina 3 (Figura 03) e finalizando na cortina 6 (Figura 04), na estaca 12304+18,0 m, com 13,41 m de altura, tendo o muro comprimento total de 588,0 m.

Para a implantação da contenção 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 ϕ 30 mm, tipo Dywidag, 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 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 5.629 (1996). As estruturas de concreto armado deverão obedecer às prescrições da norma NBR 6.118/14.

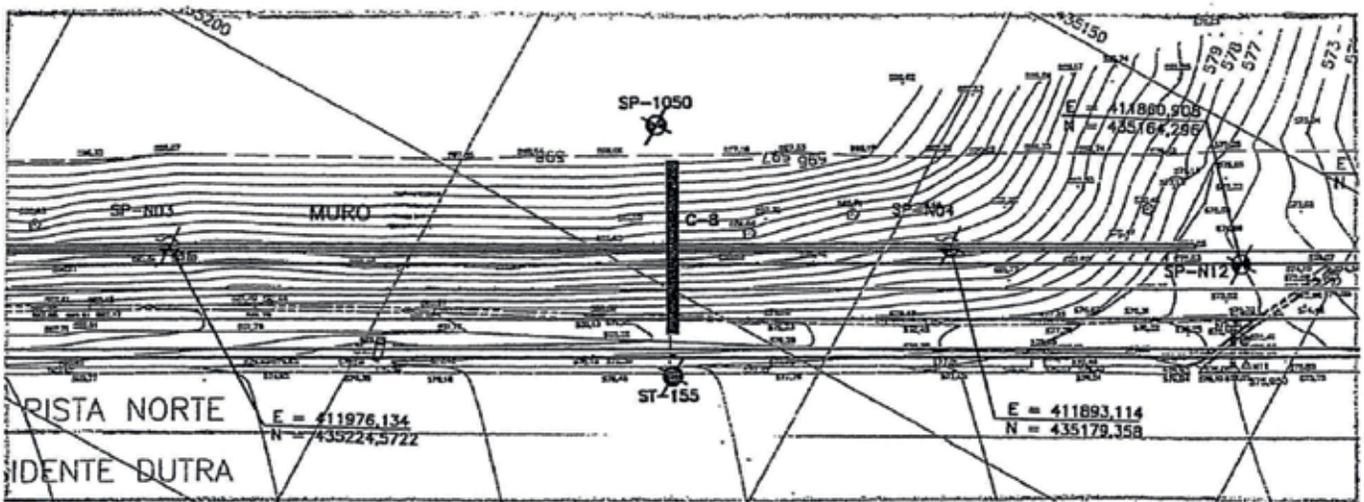


Figura 1 – Km 146 da marginal norte da Rodovia Presidente Dutra – BR 116/SP, subtrecho onde será implantada a cortina atirantada

2 ESCOLHA DO TIPO DE CONTENÇÃO

Neste caso, tratando-se de muros de contenção com alturas acima de 6 m de altura na maior parte do trecho, em função da elevada magnitude do empuxo ativo, conforme Leme (1998), recomenda-se 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, elemento resistente à tração, é linear e transmite os esforços externos de tração para o terreno.

Nossa 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 de simples reconhecimento SP-N04 e SP-N12, executadas nas imediações do muro 02, em subtrechos de corte em solo, foram detectadas ocorrências de materiais que podem comprometer a estabilidade do maciço nos

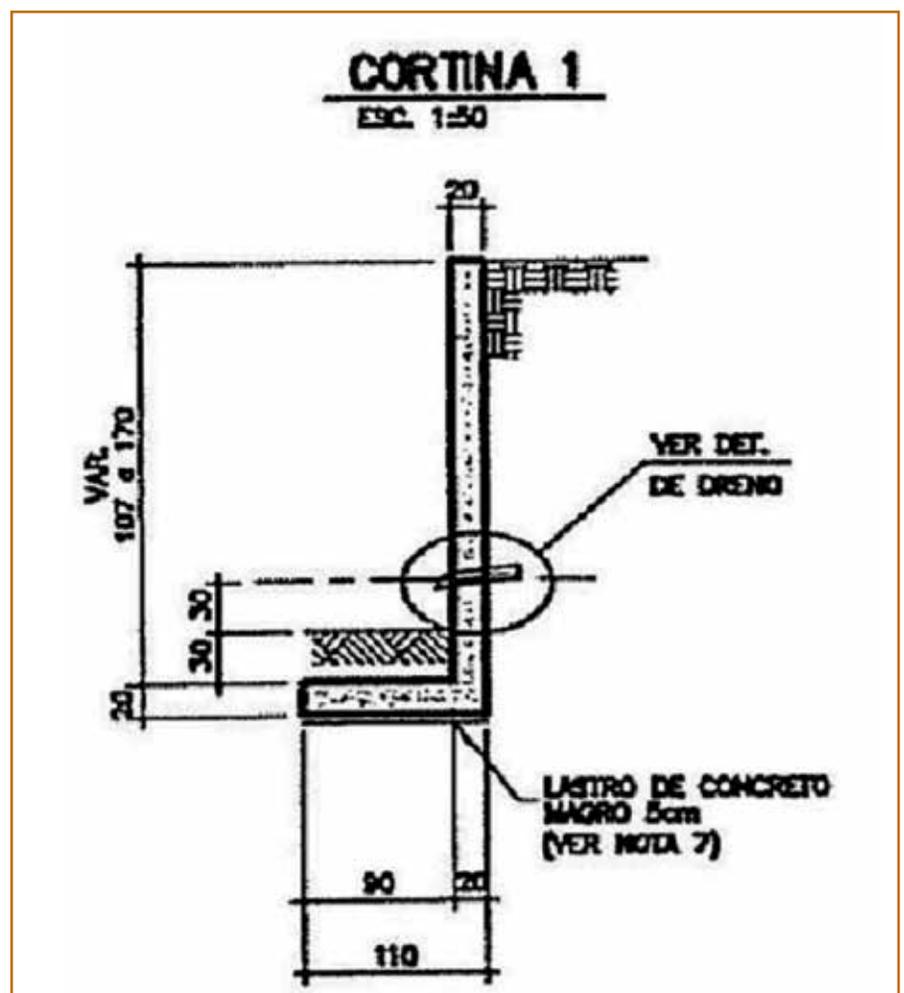


Figura 2 – Seção da Cortina 1: altura de 1,70 m

taludes de corte. Entre os diversos fatores condicionantes que nortearão as soluções construtivas, na fase de execução das cortinas atirantadas, destacam-se os seguintes:

- Mínima interferência com o tráfego

durante as obras, especialmente no subtrecho de corte em solo, com eventual indicação de desvio de tráfego convenientemente sinalizado;

- Aproveitamento de materiais de construção disponíveis na região, com-

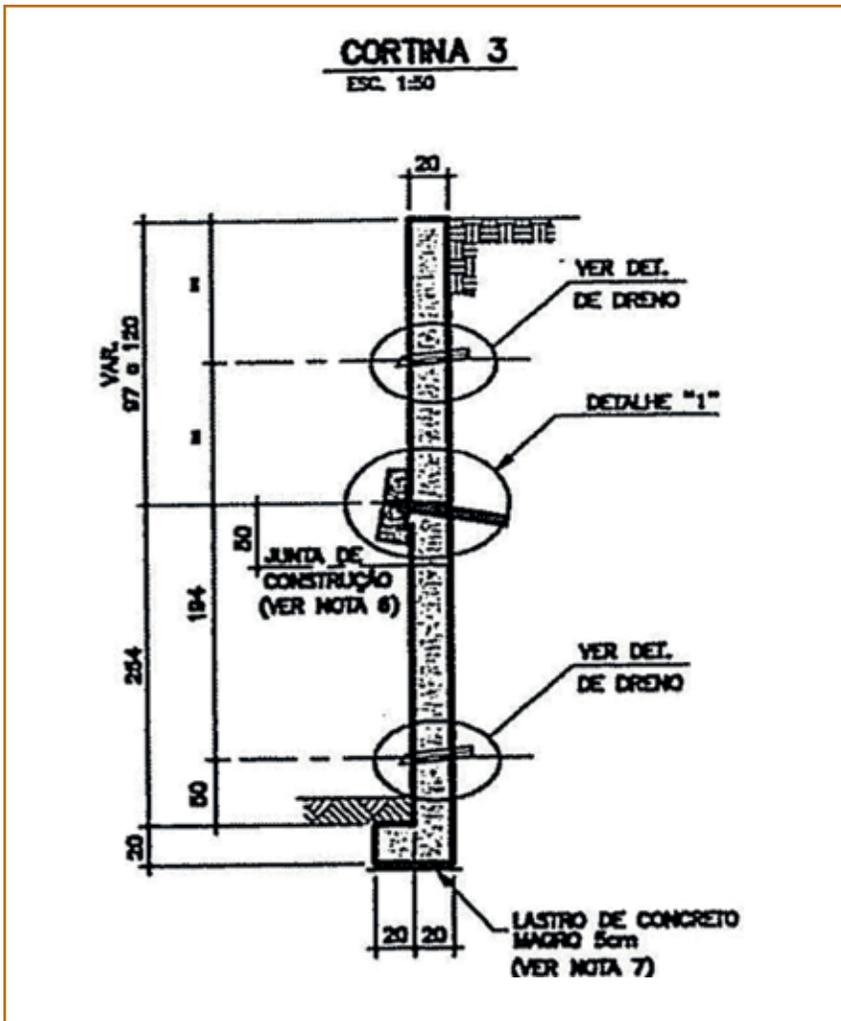


Figura 3 – Seção da Cortina 3: altura de 3,94 m

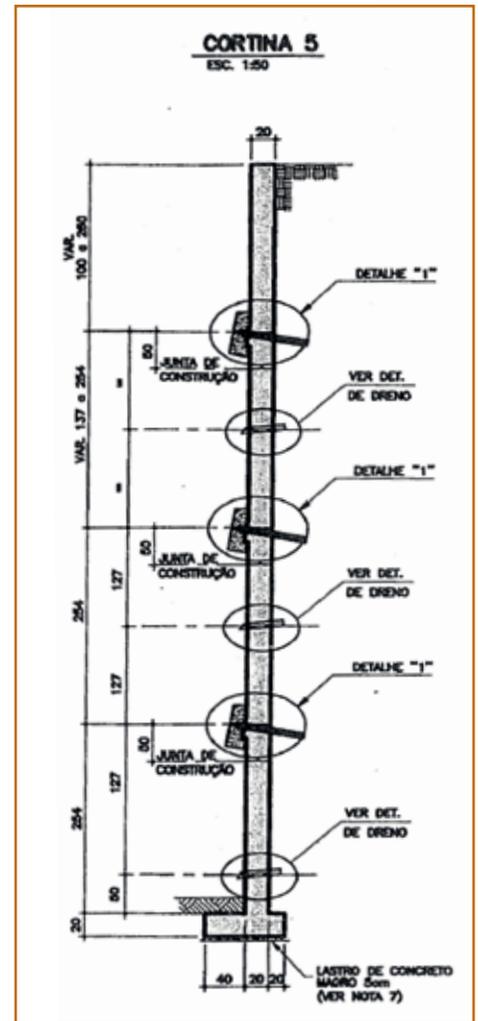


Figura 4 – Seção da Cortina 6: altura de 13,41 m

patibilizando 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);
- Tendo em vista que a via marginal norte atravessa relevos topográficos bastante acidentados; onde a geometria da marginal exigiu de cortes altos, em consequência, nos taludes resultantes desses cortes foram projetadas cortinas atirantadas esbeltas com alturas crescentes, ou seja: início do muro na cortina 1 com 1,70 m; continuando com a cortina 2 com 4,47 m; cortina 3 com 3,94 m; cortina 4 com 7,98 m; cortina 5 com 10,62 m e finalizando com a cortina 6 com 13,41 m.
- Atendimento aos aspectos ambien-

tais (legislação, medidas mitigadoras, compensatórias, dentre outros).

3 INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DAS SONDAGENS

As sondagens de simples reconhecimento SP-N04, SP-N12, realizadas na área de implantação do muro 2 de contenção, identificaram as seguintes características geológico-geotécnicas:

- Ocorrência de uma camada superficial de aterro de argila silto-arenosa que apresentou-se com resistência pouco expressiva, principalmente por ser afetada por intempéries superficiais, com espessura variando de 0,7 m a 2 m.

- A seguir detectou-se ocorrência de camada de solo mole, com profundidade variando de 0,7 m a 7 m 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 9,4 m da cota da boca do furo. Na profundidade de 10 m da cota da boca do furo, identificou-se uma camada de argila arenosa média a rija, com SPT (Standard Penetration Test) variando de 7 a 18.

– A partir dos ensaios triaxiais realizados, de nosso banco de dados, consulta bibliográfica e da interpretação dos resultados das sondagens à percussão, foram obtidos os parâmetros geotécnicos da Tabela 1 – Parâmetros Geotécnicos de Projeto.

4 ESTUDOS DE ESTABILIDADE DE TALUDES

O muro 2, localiza-se na marginal norte da Via Dutra, em trecho em corte, iniciando na cortina 1 (Figura 2), estaca 12275+10,0 m, com altura de 1,70 m e finalizando na cortina 6 (Figura 3), na estaca 12304+18,0 m, com 13,41 m de altura, muro com comprimento total de 588,0 m.

- Comprimento total: 588,0 m, sendo composto de seis cortinas atirantadas; Altura máxima = 13,41 m;
- O muro 2 foi dividido em seis subtrechos, em função da altura que varia de 1,70 m na cortina 1 e 13,41 m na cortina 6;
- Seção crítica para altura = 12,70 m; subtrecho da cortina 6, com empuxo ativo elevado, conforme Ranzini (1988);
- Metodologia: estudo de estabilidade feito através do software IPT-Estab1/PC-Versão 2.0, pelo método de Bishop Simplificado;
- Hipótese de cálculo: corte vertical sem contenção;
- Na Tabela 1, apresentam-se os parâmetros geotécnicos de projeto, em que os parâmetros geotécnicos da camada 2 foram obtidos com base nos resultados de três ensaios triaxiais, tipo R (CU). Foram coletadas amostras indeformadas, extraídas a 2,5, 3,5 e 4,5 m da cota da boca do furo executado para extração de amostras.
- Nos três corpos de prova, com dimensões de 3,5 cm de diâmetro por 7 cm de altura, extraídos das amostras indeformadas, foram aplicadas pressões confinantes de 25, 50 e 100 kPa.
- Com parte das amostras coletadas no furo de 6" de diâmetro, foram realizados ensaios de caracterização (umidade, peso específico natural e limites de Atterberg).
- Os parâmetros de resistência das camadas 1 e 3 foram obtidos a partir de nosso banco de dados e consulta bibliográfica, ABMS (1998).
- Na Figura 5 a seguir, apresentam-se os círculos de ruptura e de estudo 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

Tabela 1 – Parâmetros geotécnicos de projeto

SOLO	DESCRIÇÃO	Coesão (kN/m ²)	Ângulo de Atrito (°)
1	ATERRO – ARGILA SILTO-ARENOSA, PLÁSTICA (1 < NSPT < 4)	20	10
2	ARGILA POUCA ARENOSA FINA, MOLE (3 < NSPT < 7)	5	35
3	ALUVIÃO – ARGILA ARENOSA MÉDIA (7 < NSPT < 18)	10	35

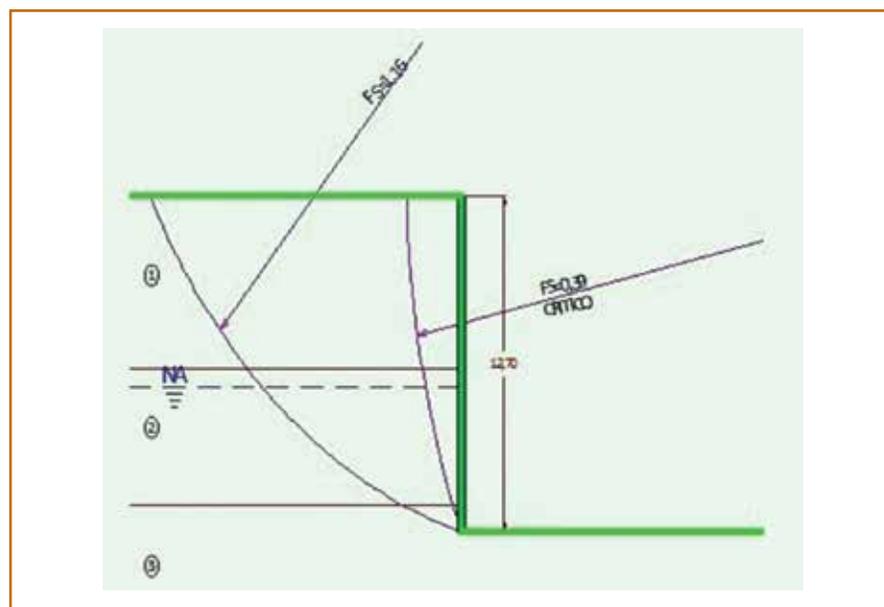


Figura 5 – Círculos de ruptura para dimensionamento dos tirantes

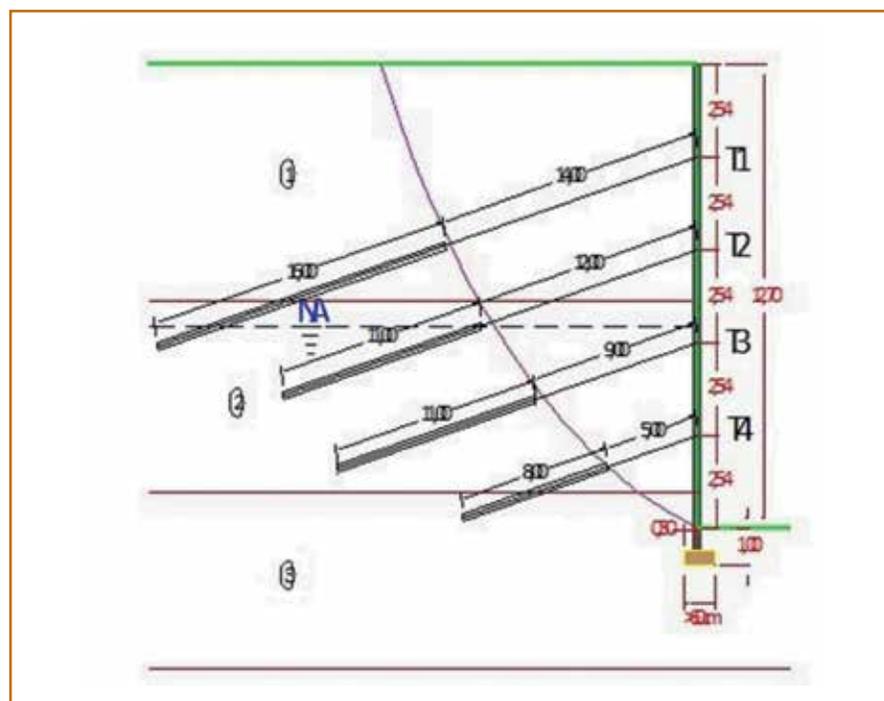


Figura 6 – Profundidade dos tirantes projetados

Tabela 2 – Resumo de dimensionamento dos tirantes do muro de contenção

Marginal da Via Dutra			Local : Km 145 a Km 147,9 - BR 116/SP				
Projeto Geotécnico : Muro de contenção 02							
Parâmetros Geotécnicos							
Camada de 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 Resultante : 37.245 KN.m/m				ATUAL	1,16	1,28	
				Dimensionado	1,50	1,65	
Tirantes projetados							
Espaçamento Horizontal : 2,00m			Espaçamento Vertical : 2,54m			Inclinação : 10°	
Numero de Tirantes	Comprimento de perfuração (M)			Barra de aço diâmetro 30mm		Força (kN)	
	Zona ativa	Ancoragem	Total	Comprimento Adotado (m)	Carga de Incorporação (kN)	Carga de Trabalho	Carga mínima 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

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:

$$T = p \cdot f \cdot a \cdot L \cdot q \quad (1)$$

Onde:

T = capacidade de carga do bulbo de ancoragem

f = diâmetro do furo

a = 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)

5.1 Características técnicas dos tirantes projetados

• Comprimento do trecho livre: ver dimensionamento na Tabela 2

• 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 2,40 m de parede acima e abaixo dos tirantes são seguros (Figura 6).

• Inclinação em relação à horizontal: 10°

• Aço: barra ϕ 30 mm, tipo Dywidag, tensão de ruptura de 105,0 kg/mm², com pintura anticorrosiva

• Carga de trabalho:

√ Tirante T1: 235,0 kN

√ Tirantes T2 e T3: 230,0 kN

√ Tirante T4: 246,0 kN

• Carga de Ensaio Tipo A:

√ Tirante T1: 411,6 kN

√ Tirantes T2 e T3: 402,2 kN

√ Tirante T4: 431,0 kN

Conforme NBR 5.629 (1996), deverão ser executados estágios de carregamento em pelo menos 10% dos tirantes executados.

• 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 serão feitos ensaios tipo A. (Estádios de carregamento conforme NBR 5.629 – 1996).

- Ensaios de qualificação e fluência em 1% dos tirantes executados, conforme NBR 5.629 (1996).
- Nas cortinas atirantadas, serão implantadas juntas de dilatação de mastique elástico, a cada 15 m.
- A perfuração será 100% em solo.

6 FUNDAÇÃO DA CORTINA ATIRANTADA

A escolha do tipo de fundação do muro 2 de contenção em corte (cortina atirantada), foi realizada em função de diversos fatores técnicos.

Entre os principais fatores que afetaram a 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 e dos tipos de equipamentos a serem empregados.

A partir da análise das sondagens a percussão e do entorno da obra em questão, notam-se espessas camadas de solos arenosos, podendo-se adotar fundação direta em função dos fatores acima enumerados.

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 0,30 m); aumentando o volume de concreto armado.

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

Na cortina de concreto serão utilizados DHP (Drenos Horizontais Profundos), com 100 mm de diâmetro e barbacã com espaçamento de 4 m na horizontal e 2,5 m na vertical.

Para o projeto estrutural das cortinas e da sapata corrida, na altura máxima, deverá adotar-se:

- Carga total dos tirantes: 941,10 kN a cada 2 m
- 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

7 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 a contenção ineficiente dos taludes de escavação, necessários para a implantação dos tirantes e da cortina de concreto armado. Fato que poderá aumentar consideravelmente o volume de reaterro necessário por detrás da cortina, em função da consistência 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 1 a 4) . Ao escavar em torno de 3 m 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 ser necessário executar vigas estruturais destinadas ao travamento dos tirantes. Estas vigas horizontais deverão ser concretadas junto com as cortinas de concreto armado.
- A metodologia executiva da cortina atirantada é outro fator a ser levado

em consideração, no intuito de reduzir as dificuldades durante os serviços de escavação, tendo em vista que o muro de contenção atravessa relevos topográficos bastante acidentados, onde a geometria da marginal exigiu de cortes altos. Os taludes resultantes desses cortes foram contidos com cortinas atirantadas esbeltas com alturas crescentes, a seguir:

- Início do muro na Cortina 1 com 20 ml de comprimento e 1,70 m de altura, onde foi projetado muro a flexão de concreto armado sem tirantes;
- Continuando com a cortina 2 com 122 ml de comprimento e 4,47 m de altura e uma linha de tirantes;
- Continuando com a cortina 3 com 100 ml de comprimento e 3,94 m de altura, iniciando com uma linha de tirantes e acabando com duas linhas de tirantes;
- Continuando com a cortina 4 com 126 ml de comprimento e 7,98 m de altura, iniciando com duas linha de tirantes e acabando com três linhas de tirantes;
- Continuando com a cortina 5 com 130 ml de comprimento e 10,62 m de altura, com três linhas de tirantes;
- Finalizando com a cortina 6 com 90 ml de comprimento e 13,41 m de altura, iniciando com três linhas de tirantes e acabando com quatro linhas de tirantes.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A armadura dos tirantes selecionada, é uma monobarra de aço ϕ 30 mm, tipo Dywidag, tensão de ruptura de 105,0 kg/mm², que atenderá com boa margem de segurança a carga dimensionada. Por outro lado, todo o comprimento do trecho ancorado dos tirantes – profundidade variando de 8 m (T4) a 16 m (T1) –, encontra-se na camada 3, solo mais resistente do subtrecho em estudo, conforme indicado pelas sondagens e na figura 6.

O muro em corte foi projetado com fundação de sapata corrida, solução rápida, econômica e segura para a construção de cortinas atirantadas, que 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 a 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. Conforme Almeida (2010), 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 m, em especial porque foi projetada do lado externo do talude.

Conforme Bowles (1977), 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 implantado 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 término 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.

É recomendável que durante a execução da cortina atirantada ocorram substanciais ganhos de produtividade, redução de prazos de construção e otimização das etapas construtivas com bom padrão de qualidade. Além da vantagem técnica na segurança das escavações e na execução dos tirantes, reduzindo a provável necessidade 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.

Recomenda-se ainda, 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

ABMS (1998) – Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – *Solos do Interior de São Paulo*, São Paulo/SP

Almeida, Márcio de Souza (2010) – *Aterros sobre solos moles*, Oficina de Textos. São Paulo/SP

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

Leme, R.S (1998) – *Métodos Atuais de Estabilização de Taludes*, EESC/ USP, São Carlos/SP

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

NBR 5.629 (1996) – *Execução de tirantes ancorados no terreno*, ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

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