

Influência dos Critérios de Dimensionamento no Orçamento de Cortinas Atirantadas

Roberto Pimentel de Sousa Júnior
UnB, Brasília, Brasil, eng.robertopimentel@gmail.com

Eduardo Hermínio Noronha
IESPLAN, Brasília, Brasil, eduardonoronha.engenharia@gmail.com

RESUMO: Obras de estabilização de taludes são intervenções que ocorrem quando o maciço de solo apresenta condições de instabilidade que podem vir a acarretar sua ruptura. As intervenções mais comuns são a alteração da geometria do talude (redução da altura, retaludamento e escalonamento), obras de proteção superficial, bermas, estruturas de contenção (muros de gravidade e concreto armado, gabiões e de solo reforçado) e ancoragens (passiva e ativa). Dentro da ancoragem ativa existe a solução em cortina atirantada, que apesar do seu custo elevado, é uma prática bastante usual em escavações onde o terreno é acidentado e possui fatores geométricos limitantes. Devido ao fato de ser uma obra de concreto armado, o dimensionamento da estrutura deve ser realizado tanto pela abordagem geotécnica, quanto pelos critérios adotados pela norma brasileira de estruturas de concreto armado. Nesse contexto, foi simulada uma obra de cortina atirantada de 15,0 metros de altura e 35,0 centímetros de espessura e com uma ficha de 3,0 metros, além de uma sobrecarga de 5,0 toneladas por metro quadrado, estrutura que por sua vez irá conter um determinado maciço de solo, com os parâmetros de resistência arbitrados para o solo em questão. Utilizou-se uma malha de três tirantes que apresentam resistência à tração de 8,0 toneladas cada, com um espaçamento vertical de 4,0 metros. Após o dimensionamento, e com o alcance de todos os fatores de segurança exigidos, buscou-se reduzir os custos de implantação da obra, a medida adotada foi à variação do ângulo de instalação do tirante da cortina. Pôde ser observado que conforme ocorre à variação do ângulo de instalação do tirante, diversos resultados se alteram, como deslocamentos, esforços axiais e cortantes, momentos fletores e empuxos. Outra situação relevante encontrada é que para os mesmos fatores de segurança, é possível reduzir os esforços atuantes na estrutura e consequentemente, reduzir o consumo de aço da cortina com a adoção de um determinado ângulo de instalação.

PALAVRAS-CHAVE: Contenções, Cortinas, Escavações, Aço, Custos.

1 INTRODUÇÃO

Cortinas atirantadas são estruturas de contenção que, através dos tirantes, transmitem os esforços recebidos para a região do bulbo de ancoragem. São constituídas por tirantes injetados no solo e solicitados a esforços axiais de protensão,

presos na outra extremidade em um muro de concreto armado, devidamente projetado para suportar os esforços gerados pela reação entre o solo e o sistema muro-tirantes. Possuem grande destaque dentre as estruturas de contenção devido à sua eficácia e versatilidade, podendo ser utilizadas em diversas situações

geométricas, porém possuem a desvantagem de apresentarem um custo elevado. Entretanto, conforme cita Marangon (2004), é o método mais indicado quando se procura conter os elevados esforços horizontais advindos de escavações de grandes alturas, com um mínimo de deslocamentos do maciço de solo e das estruturas localizadas nas vizinhanças.

2 DEFINIÇÕES

Tirante é uma peça composta por um ou mais elementos resistentes à tração, montada segundo especificações do projeto. Segundo NBR5629/1996 (Execução de tirantes ancorados no terreno), os tirantes podem ser classificados como:

a) Tirante injetado: Peças especialmente montadas, tendo como componente principal um ou mais elementos resistentes à tração, que são introduzidas no terreno em perfuração própria, nas quais por meio de injeção de calda de cimento (ou outro aglutinante) em parte dos elementos, forma um bulbo de ancoragem que é ligado à estrutura através do elemento resistente à tração e da cabeça do tirante.

b) Tirante provisório: Aquele destinado a ser utilizado por tempo inferior a dois anos.

c) Tirantes permanentes: Aquele destinado a ser utilizado por tempo superior a dois anos.

d) Tirante reinjetável: Aquele que permite injeções adicionais após sua instalação.

e) Tirante não reinjetável: Aquele que não permite injeções adicionais após sua instalação.

A norma ABNT-NBR 5629/1996 estabelece diretrizes e condicionantes para a execução, verificação e avaliação de tirantes ancorados em solos ou em rochas, que suportem cargas de tração tanto provisórias quanto permanentes.

2.1 Componentes de um Tirante

A Figura 1 apresenta os componentes de um tirante com a notação descrita a seguir:

- 1 – Perfuração do terreno
- 2 – Bainha
- 3 – Trecho ancorado
- 4 – Bulbo de ancoragem
- 5 – Chapas de apoio
- 6 – Cunha de grau
- 7 – Bloco de protensão
- 8 – Cortina de contenção

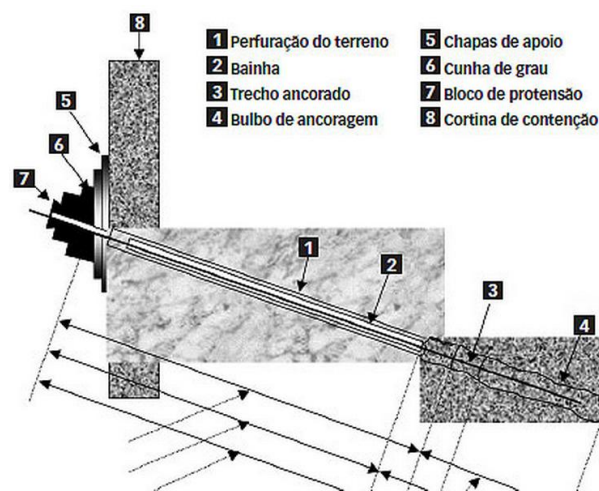


Figura 1. Descrição dos componentes de um tirante (F.S global = 2.332).

A descrição dos componentes é apresentada a seguir.

a) Bainha:

Pode ser coletiva ou individual. São tubos não degradáveis de isolamento, como o nome indica isolam o tirante do contato direto com o solo evitando sua corrosão. No caso de bainha coletiva promove a proteção conjunta de todos os elementos de tração e no caso da individual promovem isolamento a cada elemento de tração individualmente.

b) Cabeça:

Dispositivo que transfere a carga do tirante à estrutura a ser ancorada, constituído de placas de apoio, cunhas, cones, porcas, etc.

c) Comprimento livre (LL):

Distância entre a cabeça do tirante e o ponto inicial de aderência do bulbo de ancoragem, observada na montagem do tirante e conforme previsto em projeto.

d) Comprimento Ancorado ou bulbo (Lb):

Trecho do tirante projetado para transmitir a carga aplicada ao terreno.

3 METODOLOGIA

A simulação foi realizada com o software Cortinas integrante do pacote Cypecad versão 2014..

As configurações iniciais do problema estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados de entrada.

Configurações iniciais	
Concreto	C-20
Aço	CA-50
Classe de agressividade ambiental	III
Majoração esforços em construção	1.6
Majoração esforços em serviço	1.6
Massa específica	17 kN/m ³
Ângulo de atrito	30°
Coesão	50 KPa
Altura total da cortina	15.00 m
Espessura da cortina	35 cm
Carga tirante	8.0 t
Tramo	2.5 m
Ficha adotada	3.0 m
Sobrecarga	50 KPa
Espaçamento vertical dos tirantes	4.0 m

Após a determinação dos valores solicitados, a próxima etapa foi à variação do ângulo dos tirantes, de tal forma que foram simuladas situações com a inclinação de 0, 10, 20, 30 e 40°. Apesar de visualmente todos os tirantes apresentarem a mesmo comprimento, eles foram configurados para possuírem 1.0 metro após a superfície de ruptura, ou seja, apresentam comprimento variável. A Figura 2 representa a simulação realizada com a inclinação de 0° dos tirantes.

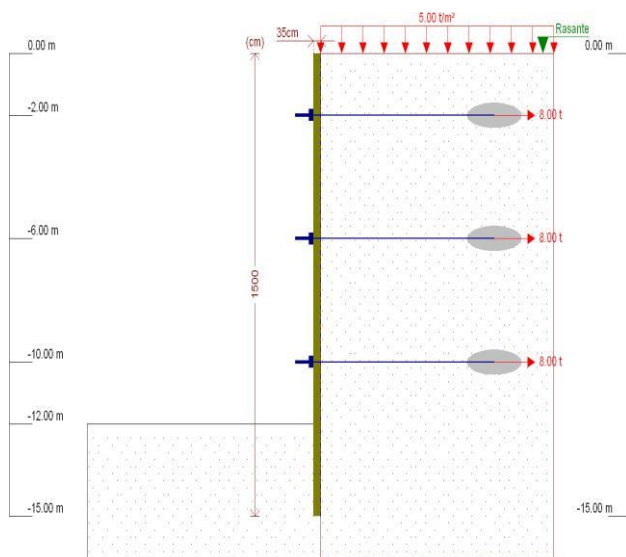


Figura 2. Simulação realizada com inclinação de 0°.

A espessura de 35 cm foi a menor espessura que conseguiu atender aos critérios de dimensionamento tanto geotécnicos, quanto os solicitados pela Norma Brasileira de Estruturas de Concreto Armado. (NBR 6118/2014).

Também são verificações realizadas pelo software, à flexão composta, fissuração, espaçamento entre barras e comprimento de trespasse.

O dimensionamento tanto da geometria do tirante, (área de aço), como do bulbo de ancoragem, procedimentos estes descritos na NBR 5929/1996, não serão objetos de estudo neste trabalho.

Outro fator que não será abordado diz respeito às especificações de execução da cortina e dos tirantes.

Foi realizado o levantamento de quantitativos de materiais, especificamente o consumo de concreto de aço, sempre levando em consideração para ambos os materiais, 10% de perdas.

Em todos os ângulos de instalação dos tirantes foram analisados os deslocamentos, esforços axiais, esforços cortantes, momentos fletores e empuxos, sempre em condições drenadas.

4 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados encontrados. Inicialmente (Figura 2) observa-se a variação dos deslocamentos de acordo com a altura da estrutura para cada ângulo de instalação do tirante.

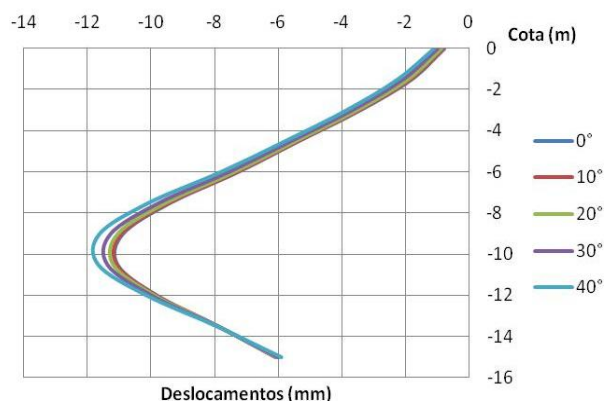


Figura 2. Deslocamentos encontrados (F.S global = 2.332).

A próxima etapa consistiu na determinação dos esforços axiais na estrutura com os diferentes ângulos de aplicação dos tirantes (Figura 3).

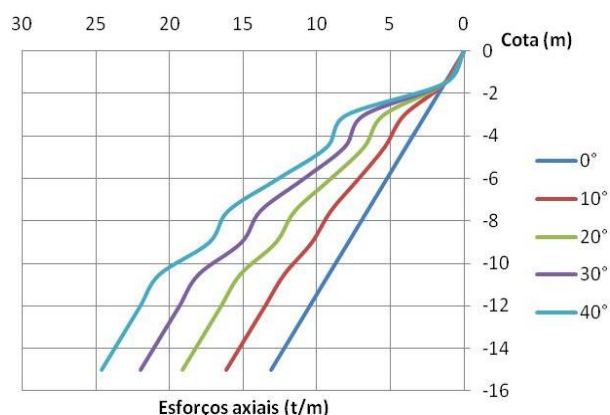


Figura 3. Esforços axiais encontrados (F.S global = 2.332).

Logo em seguida foi determinado como os esforços cortantes atuam na estrutura analisada.

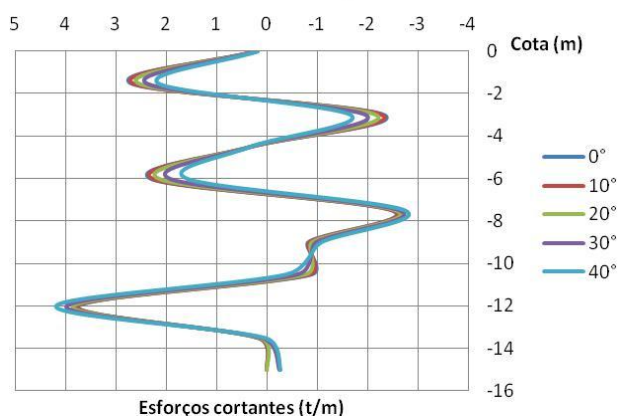


Figura 4. Esforços cortantes encontrados (F.S global = 2.332).

A verificação ao cortante atuante na estrutura deve ser criteriosa pelo fato do círculo de ruptura global poder passar por dentro da cortina, o que acarreta na modificação da estrutura analisada, fazendo com que fique mais robusta.

Na Figura 5 a seguir, estão os resultados encontrados para o comportamento dos momentos fletores na estrutura e como os

esforços variam conforme a variação de aplicação dos tirantes.

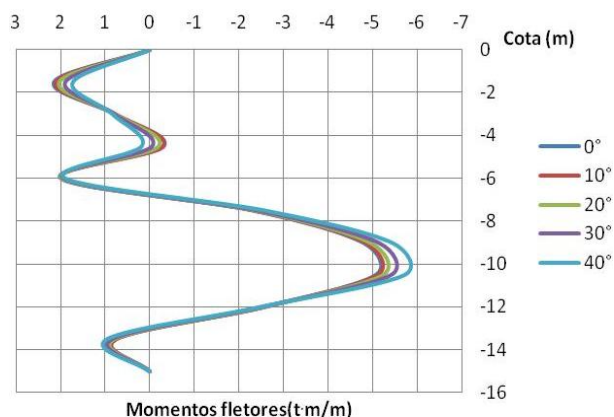


Figura 5. Momentos fletores encontrados (F.S global = 2.332).

Ressalta-se que o Fator de Segurança global foi calculado em todas as etapas de construção da cortina e também na etapa de serviço, e o menor valor encontrado foi na etapa de serviço, um valor igual a 2.332.

Na Figura 6 são apresentados os valores encontrados para o empuxo que atuam na cortina analisada.

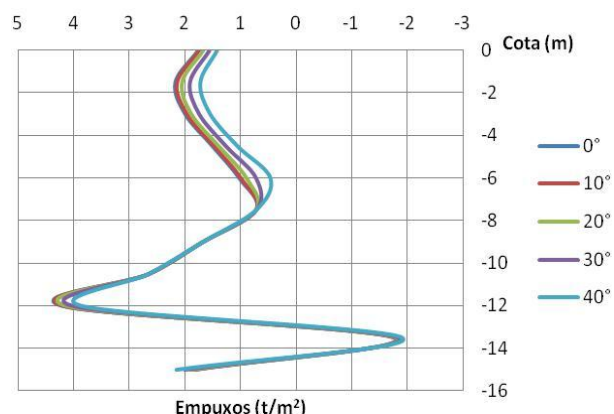


Figura 6. Empuxos encontrados (F.S global = 2.332).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pôde ser observado que a variação do ângulo de instalação do tirante não alterou o Fator de Segurança global da estrutura. Nota-se que o único esforço que sofreu alteração significativa com a variação do ângulo de instalação dos tirantes foram os esforços axiais, em virtude

do aumento do valor da componente horizontal da protensão aplicada. Entretanto esses esforços não alteram de forma direta, o cálculo do Fator de Segurança global. Mas esse aumento para os esforços axiais serão importantes no aumento da robustez da estrutura e consequentemente consumo de aço, como poderá ser observado mais adiante.

O quantitativo de concreto não sofreu nenhuma alteração nas análises realizadas, para todas as considerações o valor do consumo de material foi igual a 13.13 m^3 , conforme dados apresentados na Figura 7.

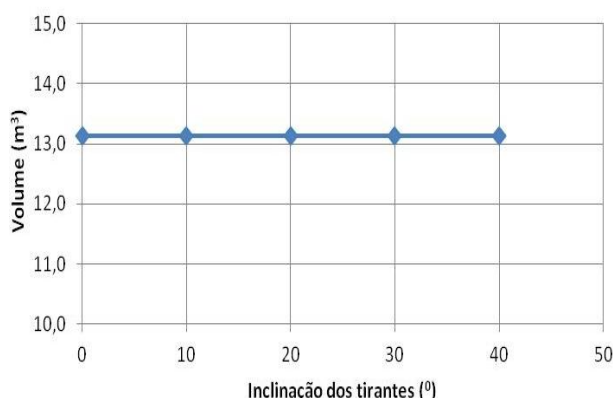


Figura 7. Consumo de concreto C-20 para cada tramo de 2.5 m. 12.5 mm.

Já no levantamento do consumo de aço, observa-se que quando o ângulo de instalação dos tirantes assume valores maiores ou iguais a 20° , o quantitativo deste insumo passa de 556,90 kg para 611,24 kg.

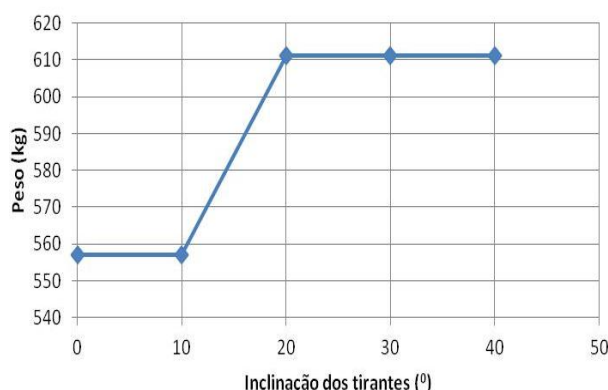


Figura 8. Consumo de aço de barras de CA-50 Ø 10.0 mm.

Observa-se que para valores de instalação dos tirantes maiores ou iguais a 20° , que mesmo sem mudança no Fator de Segurança global da estrutura, o aumento observado para os esforços axiais na Figura 3, fez com que o consumo de aço de Ø10.0 mm fosse ampliado em 9,76%.

Para Ø12.5 mm, novamente observa-se que quando o ângulo de instalação dos tirantes assume valores maiores ou iguais a 20° , o quantitativo deste insumo passa de 99,09 kg para 112,20 kg, ou seja, sofre uma variação de 13,23%, o aumento do consumo de material está contido na Figura 9.

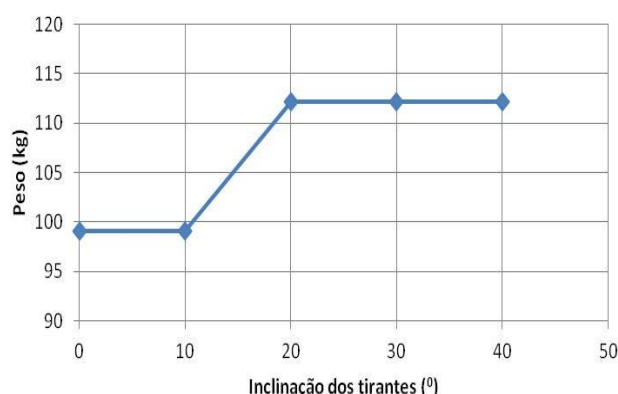


Figura 9. Consumo de aço de barras de Ø

6 CONCLUSÕES

Existem diferentes soluções de engenharia para contenções de taludes. Cada uma das soluções deve apresentar a segurança necessária que obra exige. Portanto, dimensionamento mais cuidadoso, e com estudo da melhor opção para aquela situação faz com que a estrutura apresente um melhor desempenho e economia.

Quando uma estrutura apresenta exigências a uma maior quantidade de critérios, a robustez desta estrutura tende a ser maior. Nesse contexto, cabe ao projetista buscar alternativas de minimizar os custos do empreendimento. Desta forma, a utilização de ângulos de instalação menores que 20° além de atender aos critérios de dimensionamento exigidos, evita-se o gasto desnecessário com aço.

Torna-se importante uma análise semelhante

com solos que apresentem características diferentes e observar as variações nos quantitativos de materiais.

REFERÊNCIAS

- ABNT-NBR 5629/1996 - Execução de tirantes ancorados no terreno. Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT-NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014
- Cypecad/Cortinas. Manual do Usuário. 2014.
- Marangon, M, Notas de Aula, Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. UFJF. - Unidade 03 – Geotecnia de contenções. 2004.
- CORSINI, Rodnei. –“Taludes atirantados”, Revista Infraestrutura Urbana. Edição 29/Agosto/2013.