

Análise Técnica e Econômica de Estruturas de Contenção de Taludes

Thiago Abdala Magalhães

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte/MG, Brasil.

thiagoabdala@ufmg.br

Crysthian Purcino Bernardes Azevedo

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte/MG, Brasil.

purcino@etg.ufmg.br

RESUMO: Este artigo tem como objetivo desenvolver uma análise técnica e econômica de estruturas de contenção de maciços de terra com a visão das metodologias executivas e do orçamento envolvido a cada um dos métodos a serem estudados, de modo a avaliar as vantagens e desvantagens da utilização destes, compará-los e então, concluir sobre utilização de cada um dos métodos estudados. As contenções são estruturas projetadas para resistir a empuxos de terra e/ou água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços induzidos por estruturas ou equipamentos adjacentes, propiciando uma configuração de estabilidade ao maciço. A escolha correta da solução a ser empregada é essencial para a segurança estrutural e a viabilidade econômica da mesma. Devem prezar sempre pela segurança estrutural, pela otimização dos custos, pela duração por toda a vida útil da obra e pela geração do menor impacto ambiental possível. Para a execução das análises, foram selecionadas algumas das principais soluções geotécnicas de contenção utilizadas em situações de ocorrência ou possibilidade de deslizamentos, assim como em escavações de terra para implantação de empreendimentos e/ou infraestrutura de diversas naturezas. Para cada método em estudo, foi realizada a revisão bibliográfica, o detalhamento da metodologia executiva, apontando as suas especificidades, e o orçamento sintético envolvido. De modo a obter resultados mais condizentes com a realidade e possibilitar a comparação entre os métodos, os orçamentos foram realizados por metro linear de contenção, sendo propostos três modelos simulados com diferentes alturas de taludes. Além disso, estes foram realizados com base em tabelas referenciais de preços de órgãos públicos de divulgação periódica e domínio público. Ressalta-se que todo projeto de contenção deve ser objeto de estudo específico, sendo as características de projeto determinadas para cada solução.

PALAVRAS-CHAVE: Contenções, Geotecnia, Orçamento, Planejamento.

1 INTRODUÇÃO

As contenções são estruturas projetadas para resistir a empuxos de terra e/ou água, cargas estruturais e quaisquer outros esforços induzidos por estruturas ou equipamentos adjacentes, propiciando uma configuração de estabilidade ao maciço. São cada vez mais importantes para a implantação de empreendimentos de diversas naturezas, tais como: obras de infraestrutura rodoviária, ferroviária e hidroviária, obras de arte especiais,

áreas de mineração, industriais, comerciais e residenciais, especialmente em áreas urbanas, onde há uma escassez cada vez maior de áreas para se construir. Além disso, as contenções se aplicam, muitas vezes, a obras emergenciais de prevenção ou recuperação após deslizamentos de terra.

A escolha correta da solução a ser empregada é essencial para a segurança estrutural e a viabilidade econômica da mesma. Para isso, é necessário se estabelecer uma interface entre os conhecimentos geotécnico,

estrutural, orçamentista e de produção a fim de se obter uma solução segura e com o melhor custo-benefício. Erros de dimensionamento, de projeto e/ou execução podem implicar em consequências muito sérias, danificando patrimônios, interrompendo vias e até mesmo perda de vidas humanas. Assim, as estruturas de contenção devem prezar pela segurança estrutural, otimização dos custos, duração por toda a vida útil da obra e pela geração do menor impacto ambiental possível.

As estruturas de contenção se apresentam como soluções técnicas de engenharia de grande importância no processo de urbanização e criação de infraestrutura, despertando grande interesse pela realização deste trabalho de modo a contribuir com a escolha, concepção e execução destas estruturas.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma análise técnica e econômica de diversos tipos de contenção de maciços de terra. Os objetivos específicos são:

- Realizar revisão bibliográfica dos tipos de soluções geotécnicas de contenções na solução dos problemas de deslizamentos e de escavações para implantação de empreendimentos de diversas naturezas;
- Apontar especificidades executivas para cada método apresentado;
- Avaliar vantagens e desvantagens da utilização destes métodos, comparando-os;
- Concluir sobre utilização de cada um dos métodos estudados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estruturas de Contenção

Contenção é todo elemento ou estrutura destinado a contrapor-se a empuxos ou tensões geradas em maciço cuja condição de equilíbrio foi alterada por algum tipo de escavação, corte ou aterro (RANZINI, Stelvio M. T. et NEGRO JR, Arsenio. 1998).

2.1.1 Solo grampeado

Define-se solo grampeado como o resultado da introdução de chumbadores em um maciço de solo em corte, associado à aplicação de um

revestimento na face do talude (ABRAMENTO et al., 1998).

Os chumbadores, ou grampos, são compostos em geral, por barras de aço introduzidos no terreno em furo previamente executado por uma perfuratriz, envolvidos por calda de cimento em todo o seu comprimento e ancorados na superfície, devendo resistir basicamente aos esforços de tração, cisalhamento e momentos fletores. Os grampos não são protendidos e a mobilização dos esforços se dá a partir das movimentações da massa de solo.

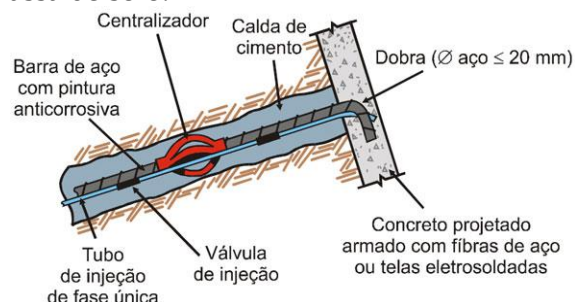


Figura 1. Chumbador em solo grampeado.

A tela metálica deve ser aplicada em todo o talude com trespasse especificado em projeto. O concreto projetado de revestimento também deve ser especificado em projeto e deve ter resistência suficiente para resistir os esforços solicitantes oriundos da movimentação da massa de solo. Além disso, devem ser previstos dispositivos de drenagem eficazes de modo a dissipar as poro-pressões da contenção.



Figura 2. Contenção em solo grampeado.

2.1.2 Cortina atirantada

Cortinas são contenções ancoradas ou apoiadas em outras estruturas, caracterizadas pela pequena deslocabilidade (RANZINI et al, 1998).

As estruturas deste tipo podem ser construídas em concreto armado, concreto projetado, parede diafragma ou perfis metálicos cravados, e ancoradas por meio de tirantes introduzidos em solo/rocha e protendidos com carga de trabalho apropriada, que transmite o esforço externo de tração para o terreno, através do bulbo.

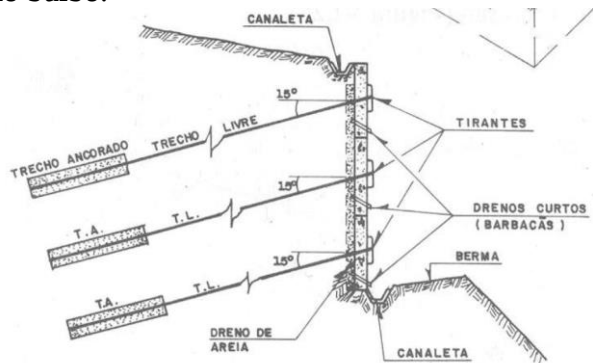


Figura 3. Esquema geral de uma contenção em cortina atirantada.

Em certas circunstâncias é o único sistema de contenção exequível, podendo ser utilizada para conter solos, acima do N.A..

É necessário levar em consideração que esta solução pode interferir com terrenos vizinhos. As perfurações para instalação dos tirantes podem provocar recalques, as injeções para fixação dos mesmos e a protensão destes podem introduzir esforços horizontais nas fundações adjacentes.



Figura 4. Contenção em cortina atirantada.

2.1.3 Gabião

Os muros de gabões são muros de gravidade constituídos pela superposição de gaiolões de malhas de arame galvanizado cheios com pedras cujos diâmetros mínimos devem ser superiores à abertura da malha das gaiolas (RANZINI, Stelvio M. T. et NEGRO JR, Arsenio. 1998).

As principais características dos muros de

gabiões são a flexibilidade, que permite que a estrutura se acomode a recalques diferenciais e a permeabilidade. (Barros, 2005).

Esta solução é encontrada no mercado brasileiro em diferentes tipos e configurações. Os principais tipos são: colchão reno, saco e caixa. Os gabões tipo caixa são os mais indicados para a construção de muro de contenção e são fornecidos em diversas dimensões, de acordo com a disponibilidade de cada fabricante.



Figura 6. Contenção em gabião.

2.1.4 Tela de alta resistência

A contenção de taludes com utilização de telas metálicas de alta resistência vem sendo largamente empregada em taludes de grandes alturas e/ou com grande instabilidade. Esta técnica constitui uma contenção passiva, na qual as telas metálicas de alta resistência são fixadas por meio de chumbadores no talude.

As telas de alta resistência são confeccionadas em malha hexagonal de dupla torção com arame de baixo teor de carbono revestidos com galvanização pesada com elevada resistência à tração e baixos níveis de alongamento e podem ou não serem fornecidas com camada adicional de PVC, aumentando a resistência à corrosão da malha.

As telas metálicas são ancoradas no talude por meio de chumbadores introduzidos no maciço, em diâmetros e comprimentos específicos para cada projeto, e por placas de ancoragem apropriadas. O perímetro de aplicação da malha é delimitado e reforçado com cabos de contorno fixados na ancoragem. Geralmente, as telas metálicas são aplicadas conjuntamente com biomantas de controle de erosão.

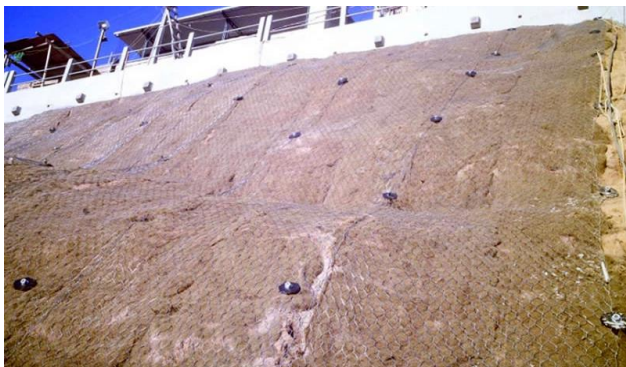


Figura 7. Contenção em tela de alta resistência.

2.1.5 Terra armada

A técnica de contenção chamada de Terra Armada ou Solo Armado consiste na introdução de fitas metálicas no maciço de solo. As fitas, que podem ou não serem nervuradas, são conectadas a painéis de concreto, que constituem a face do maciço (ABRAMENTO et al. 1998).

Basicamente, esta solução envolve três materiais na consolidação do maciço: o solo, que envolve as armaduras e ocupa um espaço chamado “volume armado”; as armaduras em aço galvanizado ou alumínio flexíveis, que trabalham a tração e deve apresentar boa resistência a corrosão; e as placas rígidas pré-moldadas de concreto ou flexíveis metálicas em formato cruciformes, que formam o paramento externo e prendem a armadura por meio de parafusos.

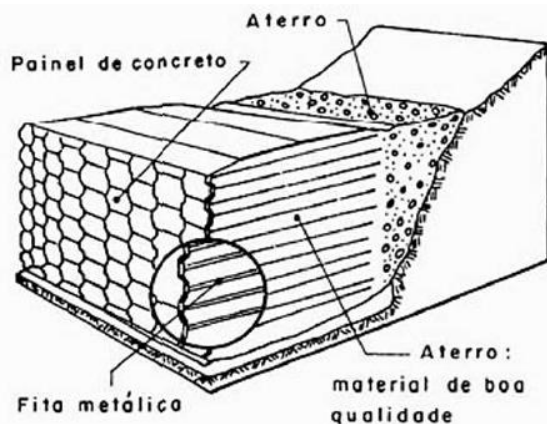


Figura 8. Esquema geral de uma contenção em terra armada.

Devido à sua alta capacidade de suportar carregamentos, as contenções em terra armada são ideais para muros de grande altura, ou que estejam sujeitos a sobrecargas excepcionais.



Figura 9. Contenção em terra armada.

3 ORÇAMENTO

3.1 Modelagem

Para efeito de comparação e detalhamento, serão propostos três modelos simulados, abordando todos os tipos de contenções aqui tratados. Para cada uma delas, será realizado um orçamento global de contenção para uma altura de 3,0 metros, de 6,0 metros e de 9,0 metros.

Será admitido que todas as soluções aqui tratadas são de possível execução para a situação de contenção proposta. O talude típico utilizado neste artigo é apresentado na Figura 10.

Para todas as contenções foram adotadas as soluções de projeto mais usuais na prática, considerando solo em características medianas de resistência e permeabilidade, tais como:

- Peso Específico: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$;
- Ângulo de Atrito Interno: $\phi = 30^\circ$;
- Coesão: $c = 10 \text{ kPa}$

O nível d'água foi admitido inferior ao nível de implantação da contenção, não interferindo na mesma, e, portanto, não foram consideradas poro-pressões atuantes nesse maciço.

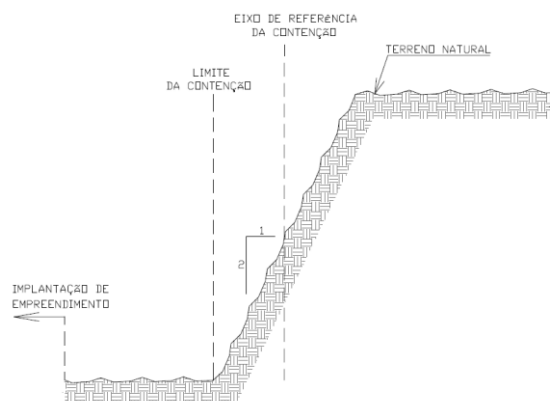


Figura 10. Talude típico suposto.

3.2 Orçamentos

Para efeito de comparação, os orçamentos foram realizados com base nos custos de serviços dos sistemas SICRO2 do DNIT, mês de novembro de 2014, e SINAPI da Caixa Econômica Federal, mês de janeiro de 2015, ambos com preços de referência para o estado de Minas Gerais e preferencialmente nesta ordem. Na falta de preços nos sistemas acima mencionados foram adotados preços obtidos em empresas referenciadas na área.

Os custos referentes à instalação e manutenção de canteiro foram desprezados desta análise por tratar de itens presentes a todas as contenções. O custo indireto dos serviços, formulado pelo BDI, foi também desprezado por incidir sobre o preço direto de todas as soluções aqui comparadas. Então, de modo a comparar e analisar as soluções, os orçamentos serão realizados por metro linear de contenção.

3.2.1 Solo grampeado

Para a execução de contenção em solo grampeado a geometria original do talude foi mantida, minimizando a movimentação de terra.

Os chumbadores foram considerados com comprimento unitário de 8,0 metros para a contenção com altura de 3,0 metros e 12,0 metros para as contenções com 6,0 e 9,0 metros. A malha dos chumbadores foi adotada com 2,0 metros de espaçamento, assim como a malha, alternada a esta, de drenos barbacês.

Para o revestimento em concreto projetado foi adotada a espessura de 0,10 metros. Os drenos sub-horizontais profundos foram colocados a cada 5,0 metros com comprimento unitário de 15,0 metros. (Figura 11):

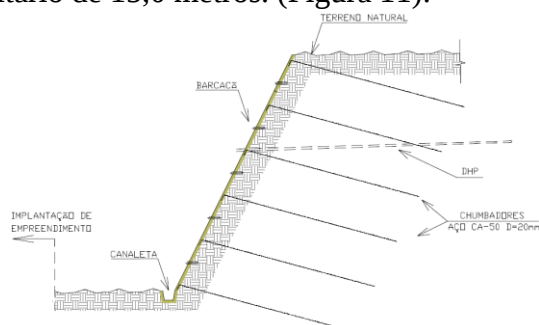


Figura 11. Seção transversal típica da solução em solo grampeado.

3.2.2 Cortina atirantada

Para a contenção em cortina atirantada foi proposta a solução ilustrada na figura abaixo, com a locação da cortina sobre o eixo central do talude original, de modo a minimizar a movimentação de terra e facilitar a execução.

Os tirantes foram considerados com comprimento unitário de 10,0 metros para a contenção com altura de 3,0 metros e 18,0 metros para as contenções com 6,0 e 9,0 metros, incluindo o trecho ancorado. Os espaçamentos entre tirantes foram adotados iguais a 2,0 metros. A espessura da cortina foi adotada com 0,25 metros. Os barbacês foram espaçados a cada 2,0 metros (Figura 12):

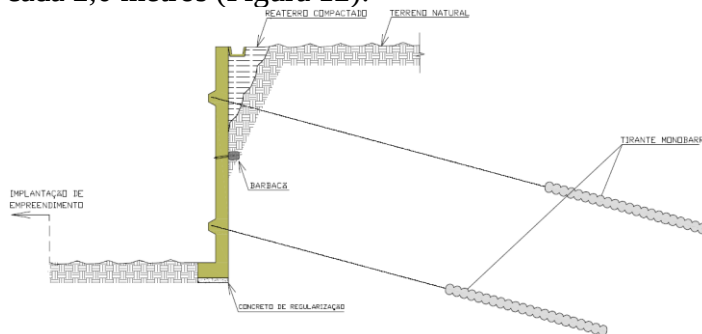


Figura 12. Seção transversal típica da solução em cortina atirantada.

3.2.3 Gabião

Para a contenção em gabião foi formulada uma solução onde a largura total foi maior ou igual à metade da altura. O gabião especificado é do tipo caixa.

Foi necessária, neste caso, a escavação de parte do talude, de modo a permitir a execução e posicionamento das gaiolas metálicas. O muro foi previsto com inclinação de aproximadamente 5° em relação a vertical. (Figura 13):

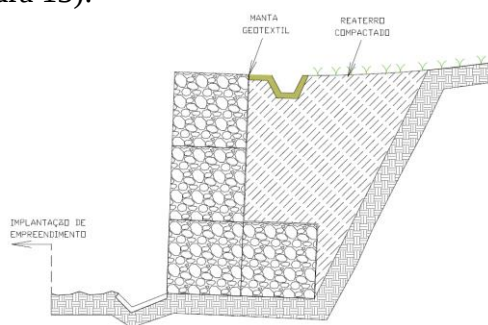


Figura 13. Seção transversal típica da solução em gabião.

3.2.4 Tela de alta resistência

Para a contenção em tela de alta resistência mantida a geometria inicial do talude. Após a regularização manual do talude, as eventuais depressões ou imperfeições devem ser preenchidas com concreto projetado.

Os chumbadores foram considerados com comprimento unitário de 8,0 metros para a contenção com altura de 3,0 metros e com 12,0 metros para a contenção com alturas de 6,0 e 9,0 metros. Os espaçamentos entre os chumbadores foram considerados igual a 2,0 metros. Os drenos sub-horizontais profundos, com comprimento unitário de 15,0 metros, foram espaçados a cada 5,0 metros. A manta geotêxtil para controle da erosão deve ser instalada anteriormente à instalação da tela de alta resistência.

Além disso, foram previstos cabos de aço de contorno, ancorados no talude, para melhor fixação da tela. (Figura 14):

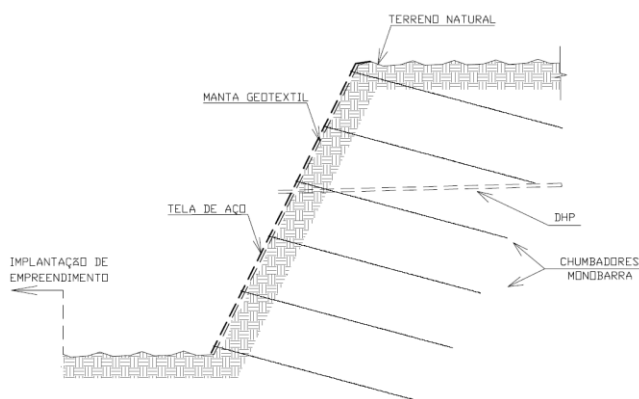


Figura 14. Seção transversal típica da solução em tela de alta resistência.

3.2.5 Terra armada

Para a contenção em terra armada foi proposta a solução apresentada na figura abaixo. Foi necessária, neste caso, a escavação de parte do talude, de modo a permitir a execução do reaterro compactado e armado. Para isso, a escavação foi prevista, avançando além do eixo final do aterro com a mesma geometria inicial do talude, de maneira a conferir segurança à escavação. O aterro armado foi previsto com largura de 70% da altura do paramento (Figura 15):

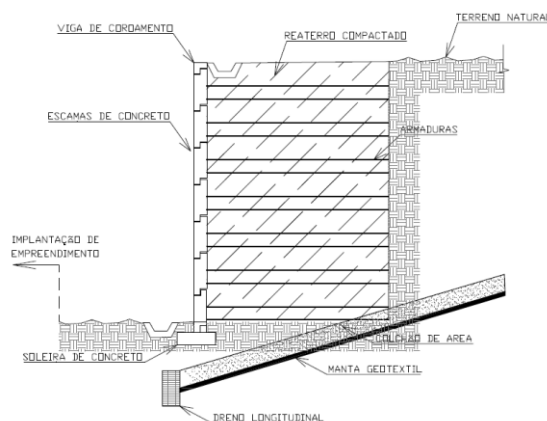


Figura 15. Seção transversal típica da solução em terra armada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados finais dos orçamentos encontram-se apresentados para as contenções com 3,0 , 6,0 e 9,0 metros de altura (Figura 16):

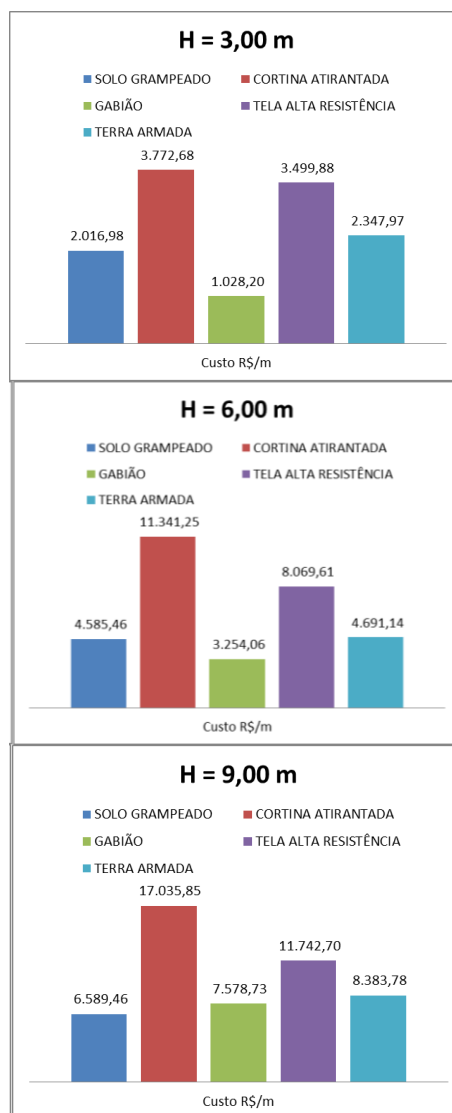


Figura 16. Custos por metro linear.

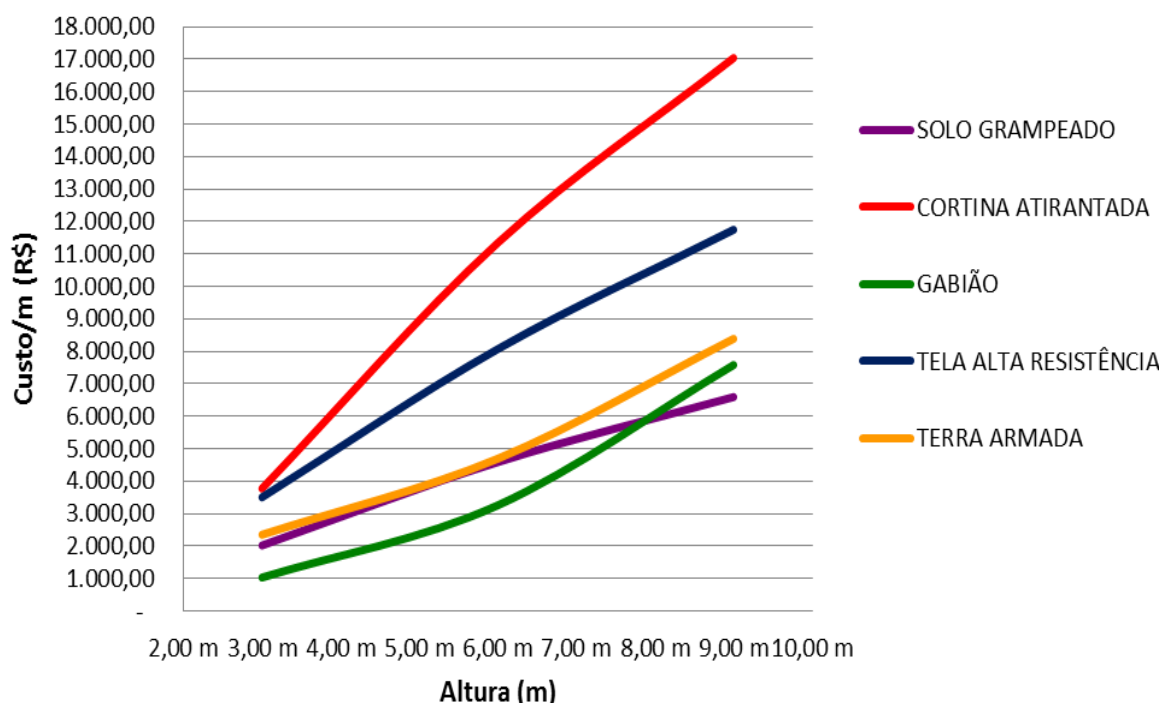


Figura 17. Contensões: Custo por metro linear (R\$) x Altura.

A solução em solo grampeado se mostrou bastante econômica nas diferentes alturas de contenções estudadas, sendo uma das com menor custo linear. Além disso, destaca-se a possibilidade desta solução em se adaptar às condições locais, minimizando a movimentação de terra e maximizando a produtividade da execução. A deformabilidade da contenção propicia resistência a recalques totais ou diferenciais. No entanto, não se apresenta como uma solução técnica adequada em algumas situações, como em caso de solo argilosos, nos quais há pouco atrito solo x grampo grandes pressões hidrostáticas e em situações de grandes carregamentos. A inclinação na qual a solução é executada, confere maior estabilidade ao mesmo tempo em que minimiza os movimentos de terra e as perdas por reflexão do concreto projetado. A utilização desta técnica se restringe a taludes sem presença de nível d'água ou ainda com rebaixamento do lençol anteriormente à execução da contenção.

A contenção em cortina atirantada se mostrou a mais onerosa dentre as técnicas deste estudo nas diferentes alturas propostas. Esta solução se mostra inviável para pequenas alturas, nas quais outras soluções podem atender com eficácia por menores custos. No entanto, para grandes alturas de contenção, onde as cargas de empuxo do maciço são

elevadas, a cortina atirantada se apresenta como uma solução geotécnica eficaz, resistindo a elevados carregamentos com pequena deslocabilidade e com altos fatores de segurança. É uma contenção que necessita de grande movimentação de terra, equipamentos pesados, de mão de obra especializada e de diversos materiais, implicando em uma obra complexa e com custo elevado. Além disso, uma contenção em cortina atirantada com grande altura pode exigir fundações mais complexas, como estacas, o que encarece esta solução.

A utilização do muro de gabião como contenção se mostrou econômica, devido principalmente à simplicidade dos equipamentos e materiais envolvidos. Esta não é, no entanto, uma solução tecnicamente indicada para grandes alturas de contenção por não suportar grandes carregamentos. Destaca-se ainda que a durabilidade de uma contenção em gabião é bastante reduzida se comparada às demais aqui estudadas. Sua utilização se mostra competitiva para pequenas alturas e na utilização de soluções mistas de gabião e outra(s) estrutura(s) de contenção. As principais vantagens desta técnica são a elevada permeabilidade, que alivia empuxos hidrostáticos, a extrema flexibilidade, que permite a adaptação da estrutura às

movimentações do maciço, e se integram facilmente com o meio ambiente. Além disso, a execução deste tipo de contenção é facilitada pelo fato de que o material de enchimento pode ser obtido no local da obra, a construção é predominantemente seca, pode ser executado com presença de água e por não necessitar de mão de obra especializada.

O uso de telas de alta resistência como contenção se mostrou onerosa, principalmente devido ao alto custo dos materiais e a necessidade de utilização de equipamentos e mão de obra especializada. Ainda assim, esta solução apresenta-se eficaz para contenção de grandes áreas, devido a sua praticidade executiva e grande resistência de contenção.

A contenção em terra armada apresentou custo por metro linear reduzido nas diferentes alturas de talude estudadas, se mostrando mais onerosa com o aumento da altura de contenção, justificado principalmente ao grande aterro do tardo do paramento. É uma solução indicada para contenção de aterros construídos, devido sua metodologia executiva. Destaca-se que esta solução tem sido bastante utilizada devido a simplicidade e a rapidez de construção, já que maior parte do processo executivo ocorre por trás do paramento, sem andaimes e sem interrupções do fluxo de tráfego. As principais vantagens desta solução geotécnica são: a elevada resistência interna do maciço, que confere ao conjunto significativa capacidade de resistir às cargas estáticas e dinâmicas, a confiabilidade da estrutura, que pode ser facilmente monitorada, a adaptabilidade, podendo ser utilizada em faixa de domínio estreita; taludes naturais instáveis; condições limite de fundação com expectativa de recalques significativos, e o aspecto estético, podendo atender a diversas exigências arquitetônicas.

5 CONCLUSÃO

A escolha correta da solução a ser empregada é essencial para a segurança estrutural e a viabilidade econômica da mesma. As estruturas de contenção devem prezar pela segurança estrutural, otimização dos custos, duração por toda a vida útil da obra e pela geração do menor impacto ambiental possível.

Dentre as inúmeras técnicas de contenções existentes hoje, o engenheiro geotécnico deve ser capaz de diagnosticar os problemas existentes em cada situação, avaliar os riscos envolvidos e apontar a melhor solução geotécnica para aquele caso. A escolha da estrutura de contenção envolve muitas variáveis, tais como o local da obra, o tipo de solo, estabilidade local e global do maciço, custo econômico, impactos ambientais, prazos executivos, altura da estrutura, cargas atuantes, localização do lençol freático, área disponível para a implantação e disponibilidade de mão-de-obra e equipamentos necessários. Avaliando todas estas variáveis, o engenheiro deve optar por aquela solução que resulte em melhor custo econômico, assegurando a total segurança e durabilidade da estrutura de contenção.

REFERÊNCIAS

- ABMS/ABEF, (1997). *Fundações: Teoria e Prática*. Pini, São Paulo, SP, 2 ed., 751p. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8964: *Arames de aço de baixo teor de carbono, revestidos, para gabiões e demais produtos fabricados com malha de dupla torção*. Rio de Janeiro, 2013
- CORSINI, Rodnei. *Sistema de contenção utiliza paramento de placas pré-moldadas fixado a tiras metálicas enterradas no maciço compactado*. Revista Infraestrutura Urbana – Projetos, custos e construção. Edição 23. Novembro/2012. Disponível em: <<http://www.infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/23/artigo276269-1.aspx>>. Acesso em: 25/03/2015.
- FEIJÓ, Rogério Luiz. *Monitoração de uma Escavação Experimental Grampeada em Solo Residual Gnáissico Não Saturado* [Rio de Janeiro] 2007 XIX, 157 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2007) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- GEOBRUGG. *Tecco: Sistema de Estabilização de Taludes*. Manual do sistema. Edição: 07/AR/DF. 14 de Junho 2004.
- MASSAD, Façal. *Obras de terra: curso básico de geotecnia*. 2ª edição. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.
- PREFEITURA DO RECIFE. Diretrizes Executivas de Serviços para Aterros Reforçados. *Diretrizes executivas de serviços de geotecnia*. Secretaria de serviços públicos. Documento nº VOL.3/ ES-C05. Ano 2004.
- TERRA ARMADA SUSTAINABLE TECHNOLOGY. *Portfólio de produtos*. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.terraarmada.com.br/produtos.php?x=249752>> Acesso em: 31/03/2015.