



ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE SOLUÇÕES PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Luiz Antônio Naresi Júnior

Gerente Comercial da Progeo Engenharia Ltda., Belo Horizonte (MG) – naresi@progeo.com.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

IFCE (Instituto Federal do Ceará) e UNIFOR (Universidade de Fortaleza), Fortaleza (CE) marcosporto@ifce.edu.br

Thiago Abdala Magalhães

UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), Belo Horizonte (MG) thiagoabdala@hotmail.com

Crysthian Purcino

Bernardes Azevedo

UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), Belo Horizonte (MG) 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 em cada um dos tipos a serem estudados. Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica de tipos de soluções geotécnicas para contenção empregadas quando da implantação de empreendimentos de diversas naturezas. Considerando uma seção de talude comum e cinco tipos de solução: solo grampeado, cortina atirantada, gabião, tela de alta resistência e terra armada, foram elaborados orçamentos com preços de referência no mercado nacional e, a partir dos re-

sultados, uma análise comparativa foi elaborada considerando os preços e os aspectos técnicos: construtivos e geotécnicos adotados. Foi possível, para o caso estudado, obter-se uma ordem, entre os métodos propostos, que hierarquiza as soluções por custo. Porém, ficou claro que o fator econômico não deve ser considerado isoladamente, pois os aspectos técnicos são de fundamental importância na decisão.

PALAVRAS-CHAVE: estruturas de contenção, geotecnia, orçamento.

INTRODUÇÃO

As contenções são estruturas projetadas para resistir a empuxos de terra e água, se for o caso, 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 hidrovária, 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, de viabilidade econômica e de produ-

ção a fim de se obter uma solução segura e com o melhor custo-benefício. Erros de dimensionamento, de projeto 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 atender aos quesitos: segurança estrutural, custo, eficiência por toda a vida útil da obra e impacto ambiental.

Existem muitas técnicas de contenção de terra sendo aplicadas no Brasil e a escolha da técnica a ser utilizada 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, entre outras. Além disso, é importante lembrar que as estruturas de contenção devem se integrar o máximo possível com o meio circundante. Neste artigo, serão analisados alguns dos principais tipos de estruturas de contenção utilizados no Brasil, a saber: cortina atirantada, muro de flexão, solo grampeado, muro de gabião e contenção com tela de alta resistência.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma análise técnica e econômica de diversos tipos de contenção de maciços de terra. Para isso foi inicialmente realizada a 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, apontando-se especificidades executivas para cada

método apresentado. Foram avaliadas vantagens e desvantagens da utilização destes métodos, comparando-os. Partindo, então, das análise elaborou-se discussão final sobre a utilização de cada um dos métodos estudados.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 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 e NEGRO JR., 1998). Assim, as estruturas de contenção são implantadas nos taludes, naturais ou não, a fim de garantir a sua estabilidade, seja oferecendo resistência à movimentação ou à ruptura, ou ainda reforçando o maciço de modo a resistir a solicitações que possam levar a instabilidade. Serão apresentados cinco tipos de estruturas de contenção muito utilizadas no sudeste brasileiro, as quais serão objeto de estudo neste artigo.

1.1.1 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). Segundo Mitchell e Villet (1987), a técnica de solo grampeado ou “soil nailing” se originou, em parte, da técnica utilizada na execução de apoios de túneis e galerias chamada NATM (New Austrian Tunneling Method) aplicada à engenharia de minas. O primeiro experimento com uma estrutura em solo grampeado, em verdadeira grandeza, foi realizada na Alemanha (STOCKER *et al.*, 1979).

Nos Estados Unidos, Shen *et al.* (1981) sugere a existência do solo grampeado desde a década de 1960, porém a primeira aplicação registrada é de 1976, numa escavação para as fundações do Good Samaritan Hospital, em Oregon. No Brasil, a utilização de contenções em solo grampeado tomou impulso apenas a partir da década de 1980. Os primeiros resultados de estudos em solo grampeado no Brasil tiveram início com a realização de um projeto executado pela Fundação Geo-Rio em 1992, no qual pretendia-se conhecer o comportamento mecânico e a nature-



Figura 1 – Contenção em solo grampeado

za dos esforços induzidos nos grampos em um talude natural em solo residual não saturado, tipicamente tropical.

É um processo de contenção, permanente ou provisória, que consiste na aplicação de tela metálica ancorada no solo por meio de chumbadores, em espaçamentos previamente calculados, e revestida com concreto projetado. É um método de reforço “in situ” utilizado para a estabilização de taludes escavados ou naturais.

Os chumbadores, ou grampos, são compostos em geral por barras de aço introduzidos no terreno em furo previamente executado por 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.

A distribuição dos chumbadores, isto é, a configuração da malha de chumbadores na face do talude a ser estabilizado depende, principalmente, da geometria do talude, das propriedades mecânicas do solo e das propriedades mecânicas dos próprios chumbadores. 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 aos esforços solicitantes oriundos da movimentação da massa de

solo. Além disso, devem ser previstos dispositivos de drenagem eficazes de modo a dissipar as poropressões da contenção. Este método vem sendo empregado em taludes com diversas configurações, devido a sua facilidade executiva e eficiência. No entanto, sua aplicação apresenta maior viabilidade na estabilização de taludes de baixa inclinação, ainda que de grandes alturas. A utilização deste método em taludes de altas inclinações ou com profundas cunhas de deslizamentos requer a aplicação de chumbadores de grandes diâmetros e comprimentos, e em espaçamentos pequenos. A Figura 1 mostra a aplicação de solo grampeado em talude natural.

1.1.2 Cortina atirantada

Cortinas são contenções ancoradas ou apoiadas em outras estruturas, caracterizadas pela pequena deslocabilidade (RANZINI e NEGRO JR., 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 ou rocha e protendidos com carga de trabalho apropriada, que transmite o esforço externo de tração para o terreno, através do bulbo.

Este tipo de contenção (Figura 2) pode ser de caráter provisório ou permanente. Sua aplicação é recomendada para cortes em taludes de grandes alturas e empuxos de terra referentes a solos com baixos parâmetros de resistência. Em certas circunstâncias é o único sistema de contenção



Figura 2 – Contenção em cortina atirantada



Figura 3 – Contenção em gabião



Figura 4 – Contenção em tela de alta resistência

possível de ser executado, podendo ser utilizada para conter solos sobre o nível freático. 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, e a protensão destes podem introduzir esforços horizontais nas fundações adjacentes.

1.1.3 Gabião

Os muros de gabhões (do italiano *gabioni* = gaiolões) são muros de gravidade constituídos pela superposição de gaiolas ou cestos de malhas de arame galvanizado cheios com pedras cujos diâmetros mínimos devem ser superiores à abertura da malha das gaiolas (RANZINI e NEGRO JR., 1998).

As principais características dos muros de gabhões são a flexibilidade, que permite que a estrutura se acomode aos recalques diferenciais e à permeabilidade (BARROS, 2005). Na Figura 3 pode-se identificar a aplicação de gabião como estrutura de contenção.

Esta solução é encontrada no mercado brasileiro em diferentes tipos e configurações. Os principais tipos são: colchão reno, saco e caixa. Os gabhões 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.

É uma peça com formato de paralelepípedo, constituída de telas em malha hexagonal de dupla torção que formam a base, as paredes verticais e a tampa. As paredes verticais laterais são presas à tela de base e às demais paredes por processo mecânico de torção ou por um fio em espiral contínua, o que garante perfeita união e articulação entre as telas. (Belgo Bekaert Arames, 2014)

No caso de muros de grande altura, gabhões mais baixos, com altura igual a 0,5 metros, que apresentam maior rigidez e resistência, devem ser posicionados nas camadas inferiores, onde as tensões de compressão são mais significativas. Para muros muito longos, gabhões com comprimento de até 4 metros podem ser utilizados para agilizar a construção.

1.1.4 Tela de alta resistência

A contenção de taludes com utilização de telas metálicas de alta resistência vem sendo largamente empregada em talu-



Figura 5 – Contenção em terra armada

des de grandes alturas ou com grande instabilidade. A Figura 4 apresenta um caso de utilização desta solução de contenção em encosta. Esta técnica constitui uma contenção passiva, na qual as telas metálicas de alta resistência são fixadas por meio de chumbadores no talude. Geralmente, tem tido grande utilização na contenção de deslocamentos e quedas de blocos de rocha, no entanto, também pode ser utilizada na contenção de materiais de diversas naturezas.

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 (Policloreto de Polivinila), 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. São encontradas diversos tipos de telas no mercado, cada uma possuindo características de resistência e utilização próprias, dependendo do fabricante. As telas são comercializadas em rolos, facilitando o transporte e a aplicação.

1.1.5 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 ser nervuradas, são conectadas a painéis de concreto, que constituem a face

do maciço (ABRAMENTO *et al.* 1998).

Essa técnica foi desenvolvida em 1963, pelo engenheiro e arquiteto Henry Vidal, e está sob proteção de patente até o início da década de 1990. O primeiro muro em Terra Armada foi construído na França em 1965, desde então vários muros foram criteriosamente instrumentados e analisados de forma a validar esta metodologia, que hoje está sob domínio público e tem sido progressivamente utilizada no Brasil. 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 flexível, que trabalham à tração e devem apresentar boa resistência à corrosão, sendo geralmente nervurada de modo a aumentar o coeficiente de atrito solo-reforço e melhorar a transferência de esforços; 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. Uma vista frontal da contenção é mostrada na Figura 5.

A solução tem sido utilizada principalmente em obras rodoviárias e ferroviárias, geralmente nos aterros de encontros de pontes e viadutos, onde não se tem espaço para as chamadas saias, ou nos perímetros urbanos, onde os espaços são muito restritos e os prazos de execução das obras bastante curtos. Aterros em indústrias para contenção de encostas ou muros de arrimo são também aplicações comuns deste sistema. Devido a 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.

2 PREMISSAS TÉCNICAS E PREÇOS DAS SOLUÇÕES

2.1 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 metros, de 6 metros e de 9 metros. Será admitido que todas as soluções, aqui tratadas, são de possível execução para a situação de contenção proposta.

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 poropressões atuantes nesse maciço. As dimensões e especificações das soluções adotadas para efeito de orçamento são aquelas mais usuais nos projetos geotécnicos das soluções estudadas. Ressalta-se que todo projeto de contenção deve ser objeto de estudo específico, sendo as características de projeto determinadas para cada solução. Apresenta-se, na Figura 6, a seção do talude proposta para o estudo.

2.2 Orçamentos

Para efeito de comparação, os orçamentos foram realizados com base na relação de custos de serviços dos sistemas SICRO2 do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), mês de novembro de 2014, e SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) 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 dos órgãos acima mencionados foram adotados preços obtidos em empresas de referência na área. Os custos referentes à instalação e manutenção de canteiro foram desprezados desta análise por representarem de itens presentes em todas as contenções. Os custos de mobilização de pessoal e equipamentos também foram desprezados por envolverem especificidades de cada projeto e serem comuns a todas as soluções estudadas. O custo indireto dos serviços, formulado pelo BDI (Bonificação de Despesas Indiretas), 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.

2.2.1 Solo Grampeado

Para a execução de contenção em solo grampeado, a geometria original do ta-

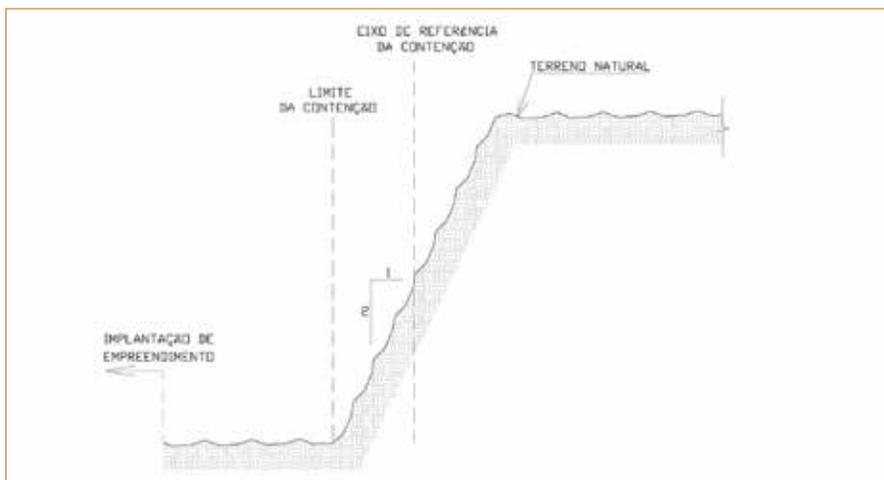


Figura 6 – Talude típico suposto

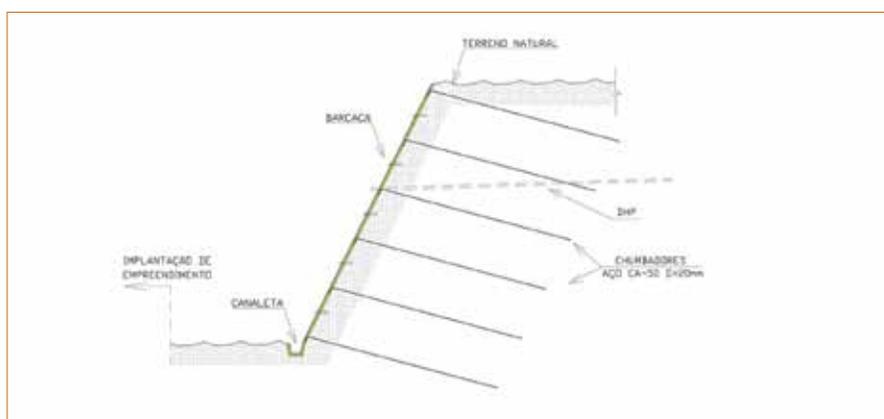


Figura 7 – Seção transversal típica da solução em solo grampeado

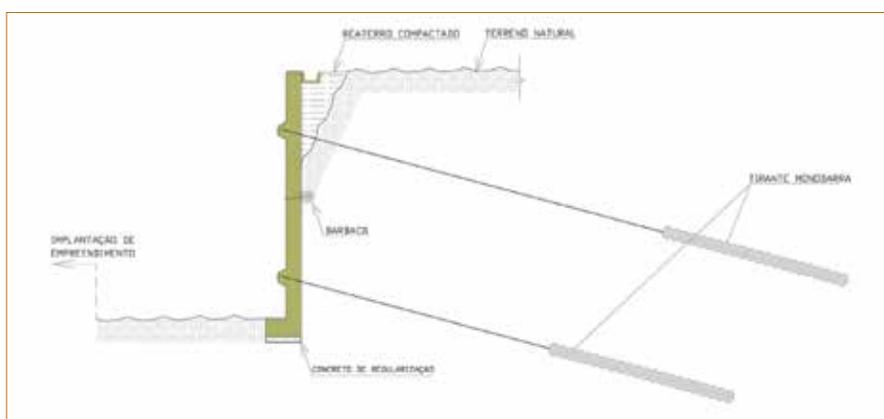


Figura 8 – Seção transversal típica da solução em cortina atirantada

ludade foi mantida reduzindo a movimentação de terra. Os chumbadores foram considerados com comprimento unitário de 8 metros para a contenção com altura de 3 metros e 12 metros para as contenções com 6 e 9 metros. A malha dos chumbadores foi adotada com 2 metros de espaçamento, assim como a malha, al-

ternada a esta, de drenos barbacãs. Para o revestimento em concreto projetado foi adotada a espessura de 0,10 metros. Os drenos sub-horizontais profundos foram colocados a cada 5 metros com comprimento unitário de 15 metros. (Figura 7). Os preços orçados para execução desta solução em taludes com 3 metros,

6 metros e 9 metros de altura foram de 2.016,98 reais, 4.585,46 reais e 6.589,46 reais, respectivamente, por metro de contenção.

2.2.2 Cortina Atirantada

Para a contenção em cortina atirantada foi proposta a solução ilustrada na Figura 8, com a locação da cortina sobre o eixo central do talude original, de modo a reduzir a movimentação de terra e facilitar a execução. Os tirantes foram considerados com comprimento unitário de 10 metros para a contenção com altura de 3 metros e 18 metros para as contenções com 6 e 9 metros, incluindo o trecho ancorado. Os espaçamentos entre tirantes foram adotados iguais a 2 metros. A espessura da cortina foi adotada com 0,25 metros. Os barbacãs foram espaçados a cada 2 metros (Figura 8).

Os preços orçados para a execução desta solução em taludes com 3 metros, 6 metros e 9 metros de altura foram de 3.772,68 reais, 11.341,25 reais e 17.035,85 reais, respectivamente, por metro de contenção.

2.2.3 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 necessário, neste caso, a escavação de parte do talude, de modo a permitir a execução e posicionamento das gaiolas metálicas. 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 muro foi previsto com inclinação de aproximadamente 5° em relação a vertical. (Figura 9).

Os preços orçados para a execução desta solução em taludes com 3 metros, 6 metros e 9 metros de altura foram de 1.028,20 reais, 3.254,06 reais e 7.578,73 reais, respectivamente, por metro de contenção.

2.2.4 Tela de alta resistência

Para a contenção em tela de alta resistência, mantida a geometria inicial do talude, deve-se considerar que, após a regularização manual do talude, as eventuais depressões ou imperfeições sejam preenchidas com concreto projetado. Os chumbadores foram adotados com com-

primário unitário de 8 metros para a contenção com altura de 3 metros e com 12 metros para a contenção com alturas de 6 e 9 metros. Os espaçamentos entre os chumbadores foram considerados igual a 2 metros. Os drenos sub-horizontais profundos, com comprimento unitário de 15 metros, foram espaçados a cada 5 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 10).

Os preços orçados para a execução desta solução em taludes com 3 metros, 6 metros e 9 metros de altura foram de 3.499,88 reais, 8.069,61 reais e 11.742,70 reais, respectivamente, por metro de contenção.

2.2.5 Terra Armada

Para a contenção em terra armada foi proposta a solução apresentada na Figura 11. 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 11).

Os preços orçados para a execução desta solução em taludes com 3 metros, 6 metros e 9 metros de altura foram de 2.347,97 reais, 4.691,14 reais e 8.383,78 reais, respectivamente, por metro de contenção.

3 Resultados e discussão

Os resultados finais dos orçamentos encontram-se apresentados, para as contenções com 3, 6 e 9 metros de altura, respectivamente, nas Figuras 12, 13 e 14. A comparação econômica entre as soluções estudadas está apresentada na Figura 15.

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, reduzindo a movimentação de terra e aumentando a produtividade da execução. Outro aspecto interessante é a utilização de equipamentos leves e de fácil manu-

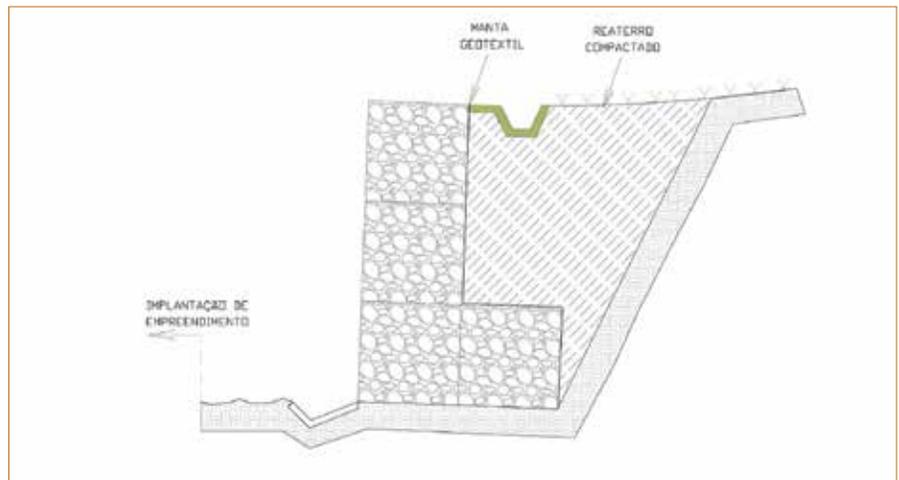


Figura 9 – Seção transversal típica da solução em gabião

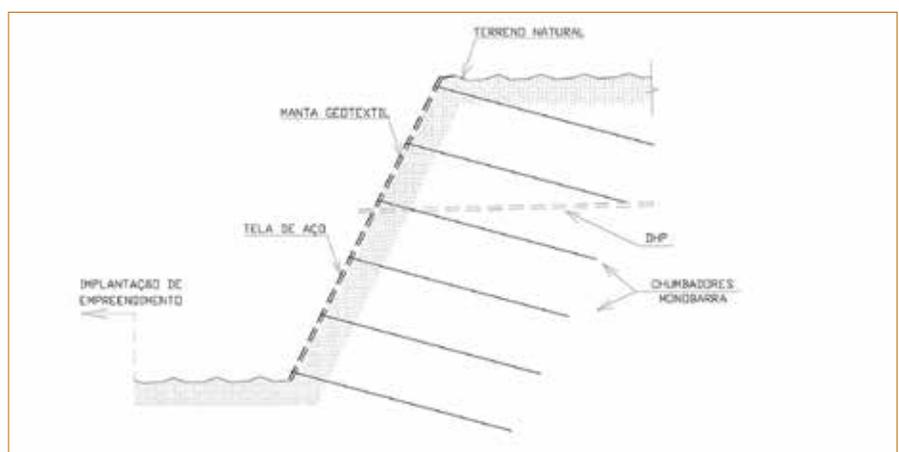


Figura 10 – Seção transversal típica da solução em tela de alta resistência

seio, que facilitam a mobilização e a 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 e grampo, grandes pressões hidrostáticas e em situações de grandes carregamentos. Além disso, nas situações em que os deslocamentos possam causar algum dano às estruturas adjacentes, esta solução deve ser avaliada com cautela, devido a sua deformabilidade. A inclinação na qual a solução é executada confere maior estabilidade ao mesmo tempo em que reduz 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.

Já a contenção em cortina atirantada se

mostrou a de maior custo 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. Sua aplicação é recomendada para cortes em terrenos com grande carga a ser contida

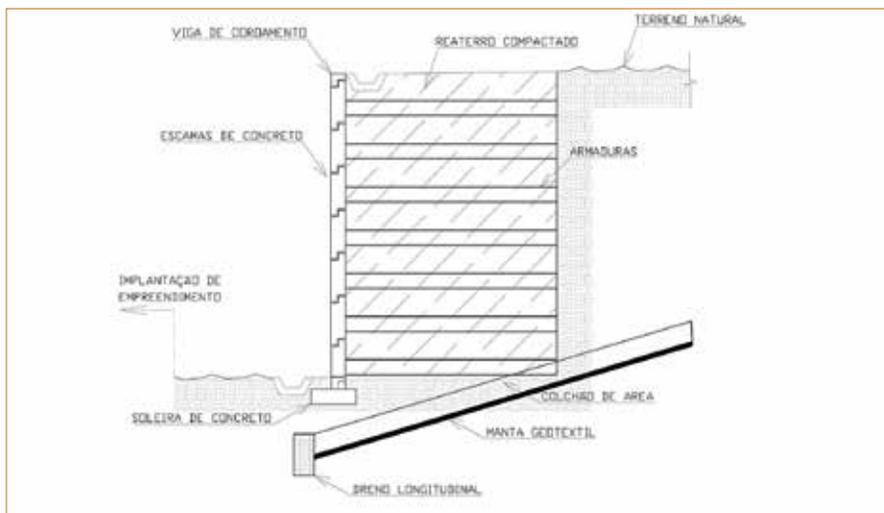


Figura 11 – Seção transversal típica da solução em terra armada

ou para solos que apresentem pouca resistência a estabilidade.

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 executada com presença de água e por não necessitar de mão de obra especializada. O uso de telas de alta resistência como contenção se mostrou, em relação as demais, pouco econômica, 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. Outro aspecto importante

para esta solução é a capacidade de conter materiais de todas as características, incluindo os de terceira categoria, sendo a mais utilizada neste caso. No entanto, ressalta-se que existem no mercado diversas configurações de telas, que podem ter custos menores ou maiores, viabilizando ou não esta solução. As principais vantagens desta técnica são o seu custo benefício para contenções de grandes áreas, dispensa a utilização de drenos superficiais tipo barbacãs, pode ser executada em presença de nível d'água, boa estética por ser praticamente invisível e a rapidez de execução.

A contenção em terra armada apresentou custo por metro relativamente baixo nas diferentes alturas de talude estudadas, apresentando custo mais elevado de acordo com o aumento da altura de contenção, justificado, principalmente, pelo grande aterro do tardo do paramento. É uma solução indicada para contenção de aterros construídos, devido a 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 estruturas podem ser construídas a poucos centímetros das divisas e podem facilmente ser projetadas para seguir alinhamentos curvos dos traçados. A grande área de fundação e a flexibilidade do maciço possibilita suportar recalques diferenciais significativos, permitem adotar, em relação à ruptura do solo de fundação, coeficientes de segu-

rança menores que os das fundações comuns. A articulação das escamas permite que elas se movimentem umas em relação às outras com deformações diferenciais da ordem de até 1:75. 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. Devido a sua metodologia executiva, esta solução se torna competitiva para contenções de aterros, sendo pouco utilizada em outros casos devido à necessidade de grande movimentação de terra. As principais vantagens da aplicação de terra armada resultam da sua facilidade de montagem, mesmo em obras de grande altura, rapidez de execução, eliminação de andaimes, escoramentos e terraplanagens, elevada flexibilidade dos paramentos, não requer mão de obra especializada; requer menor área de preparação; necessita de menos espaços na frente da estrutura para operações de construção.

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, disponibilidade de mão de obra e equipamentos necessá-



Figura 12 – Custos por metro de contenção H= 3 m

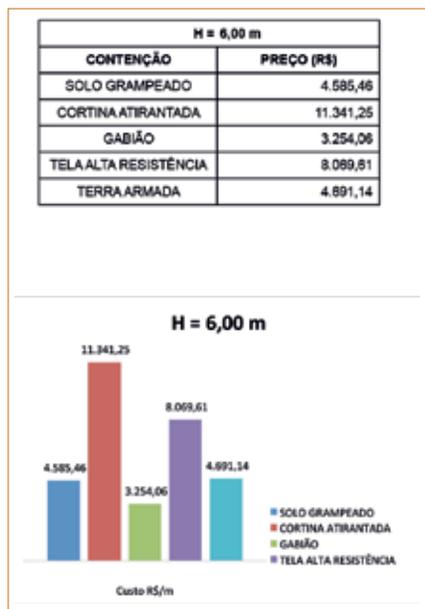


Figura 13 – Custos por metro de contenção H=6 m

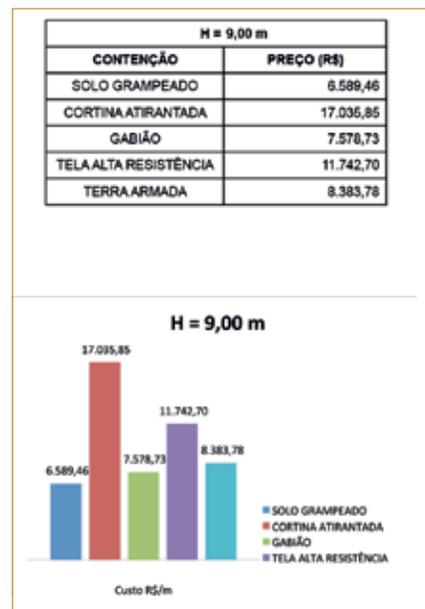


Figura 14 – Custos por metro de contenção H= 9 m

rios. 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.

A partir do estudo de soluções de contenção apresentado foi possível para um modelo adotado e as altura de talude de 3 m, 6 m e 9 m, estabelecer uma ordem, que considera maior vantagem econômica, respectivamente, como segue: gabião, solo grampeado, terra armada, tela de alta resistência e cortina atirantada. A ordem predominante mostrou-se inalterada para as alturas propostas, exceto no caso das soluções em gabião e solo grampeado, sendo que a primeira deixa de comprovar menor custo para a diferença de nível de 9 m, mostrando-se mais econômica para os casos de menores alturas de talude: 3 m e 6 m. Vale ressaltar, também, que o referido método de contenção não é tecnicamente recomendável em situações de elevados esforços. Características geotécnicas específicas de cada situação devem ser observadas, na seleção da solução, principalmente considerando o processo construtivo, nível de esforços e presença de poropressão. Estes fatores podem orientar a escolha, mesmo indicando solução contrária à análise econômica.

AGRADECIMENTOS

A todos que direta ou indiretamente participaram da execução deste traba-

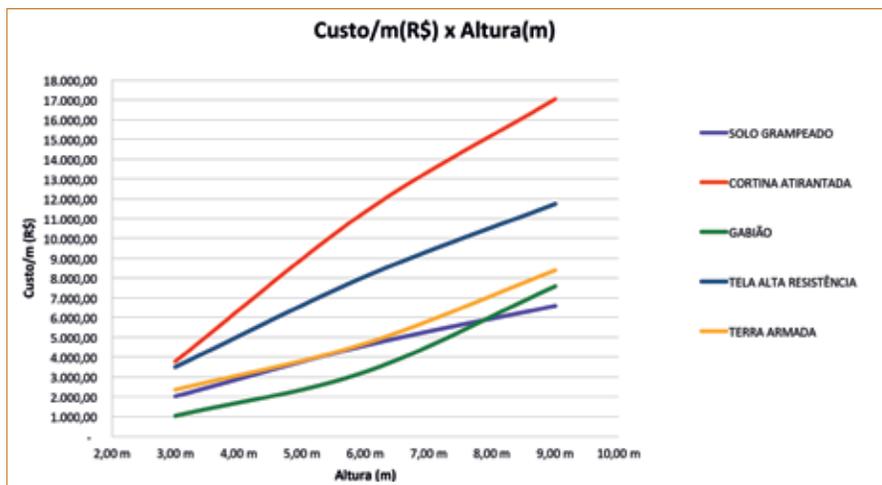


Figura 15 – Contensões: custo por metro linear (R\$) x altura

lho, especialmente à Escola de Engenharia da UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e a empresa Progeo Engenharia Ltda. pela colaboração. ☺

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABRAMENTO, M., KOSHIMA, A., ZIRLIS, A.C., *Reforço do Terreno*, In: HACHICH, W., FALCONI, F. F., SAES, J. L., FROTA, R. G. O., CARVALHO, C. S., NIYAMA, S., *Fundações: Teoria e Prática*. 2.ed. São Paulo: Pini, 1998.
 BARROS, P. L. A., *Obras de Contenção – Manual Técnico*, Maccaferri do Brasil Ltda., São Paulo-SP, 2005.
 Belgo Bekaert Arames, <http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Documents/Folder-Gabiao.pdf>, 2014.
 MITCHELL, J.K., VILLET, W.C.B, *Reinforce-*

ment of Earth Slopes and Embankments, National Cooperative Highway Research Program, Report. n. 20, 1987.
 RANZINI, S. M. T. e NEGRO JR., A, *Obras de Contenção: Tipos, Métodos Construtivos, Dificuldades Executivas*, In: HACHICH, W., FALCONI, F. F., SAES, J. L., FROTA, R. G. O., CARVALHO, C. S., NIYAMA, S., *Fundações: Teoria e Prática*, 2. ed., São Paulo-SP, Editora Pini, ABMS / ABEF, 1998.
 Shen, C. K., Bang, S., Romstad, K. M., L, K., DeNatale, J. S., *Field Measurements of an Earth Support System*, *Journal of Geotechnical Engineering Division*, 107, (GT12), 1981.
 STOCKER, M.F., KORBER, G.W., GASSLER, G., GUDEHUS, G., *Soil Nailing*. In: *Int. Conf. on Soil Reinforcement*, Paris, v.2, 1979.