

Diretrizes Básicas para Concepção de Muros de Solo Reforçado de Grandes Alturas

José Orlando Avesani Neto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli/USP / Geo Soluções

avesani@usp.br

Regis Eduardo Geroto

Engecorps Engenharia S.A., Barueri, Brasil, regis@engecorps.com.br

RESUMO: Muros de solo reforçado correspondem atualmente à maior parte das contenções executadas na América do Norte, Europa e Japão. No Brasil, essa tecnologia vem sendo utilizada há décadas e seu emprego em obras de contenção geotécnica continua em franco crescimento. Dentre as principais vantagens dos muros em solo reforçado com geossintéticos destacam-se: simplicidade e velocidade construtiva, facilidade de aquisição e controle de propriedades dos materiais (geossintéticos) utilizados, estética final, desempenho geral da obra e baixo custo executivo, quando comparada com outras alternativas de contenção. No caso da construção de estruturas de contenção geotécnica em aterro de grandes alturas, a solução em solo reforçado passa a ser quase que exclusivamente a única alternativa tecnicamente viável. Nestes casos, é fundamental o cumprimento de diversas etapas de projeto, partindo de uma adequada investigação geológico-geotécnica, análises de mitigação de riscos e de desempenho de longo prazo, emprego de metodologia de dimensionamento, elementos de reforço e sistema de face adequados, uso de técnicas executivas compatíveis com a complexidade da obra e plano de monitoramento durante e pós-construção. Neste sentido, o presente artigo explora o atual estado-da-arte desse tipo de obra, apresentando recomendações e diretrizes relativas aos itens citados, de forma a auxiliar no dimensionamento e aspectos relacionados à adoção da solução em muros de solo reforçado de grandes alturas.

PALAVRAS-CHAVE: contenção, muro, solo reforçado, geossintéticos, projeto.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a construção de muros em solo reforçado é largamente empregada em todo o mundo, dada ao seu desempenho geral, simplicidade construtiva, disponibilidade de produtos (geossintéticos) no mercado, estética final da obra e baixo custo.

Quando comparada às soluções com o emprego de inclusões metálicas, a solução em solo reforçado apresenta como principais vantagens a possibilidade de uso de solos mais graduados e o emprego de equipamentos mais comuns à execução de obras de terra, dispensando o uso de equipamentos pesados para a movimentação das peças de concreto.

No presente estudo são apresentadas sugestões relativas à concepção de muros de solo reforçado de grandes alturas, com desníveis superiores a 12 m (Figura 1), sendo realizado um levantamento do atual estado da arte, pontuando recomendações e diretrizes para as análises e dimensionamento deste tipo de obra.

2 ASPECTOS PRETENDIDOS EM PROJETO

Para a concepção e dimensionamento de muros de grandes alturas, os seguintes aspectos pretendidos em projeto merecem atenção especial:

- **Mitigação das incertezas geotécnicas:** obtida através de uma adequada investigação de campo e determinação dos parâmetros de resistência dos solos empregados (fundação, aterro reforçado e aterro contido). A filosofia pretendida deve estar pautada na identificação e avaliação de regiões de fraqueza e pontos críticos, que podem comprometer o desempenho e estabilidade do maciço e solução;

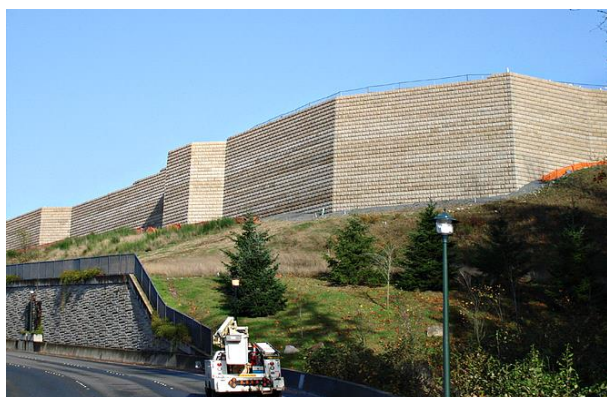


Figura 1. Muro em solo reforçado com face em blocos (Geo Soluções Strata).

- **Desempenho dos reforços (inclusões):** consiste na escolha/seleção adequada das inclusões, devendo ser avaliadas suas características de resistência, qualidade dos seus polímeros de matéria-prima e comportamento no meio em que este será inserido, procurando garantir um desempenho adequado por toda a vida útil da obra (recomendado um mínimo de 100 anos);
- **Desempenho da solução (estrutura):** compreende a avaliação e escolha adequada dos tratamentos e elementos complementares aos reforços (geossintéticos). Nesse queristo podem ser citados: a avaliação do sistema de reforço e/ou tratamento de fundação (caso necessário), características/propriedades exigidas ao solo empregado na construção do aterro, bem como os critérios de controle de compactação e alteamento do aterro, sistema de face adequado com as deformações e estética final esperada, sistema de drenagem interna e dissipação da pressão neutra do maciço, entre outros.
- **Impacto da solução com o entorno:** avaliação do tipo de estrutura e sua adequabilidade com o entorno e meio em que esta será implantada. Neste aspecto procura-se

minimizar impactos antrópicos e ambientais, selecionando uma solução/estrutura que adeque-se com as características da natureza e estética local.

Neste sentido, o acompanhamento e análise criteriosa destes tópicos/aspectos refletirão diretamente no desempenho geral da estrutura ao longo de sua vida útil.

3 CARACTERIZAÇÃO DO TERRENO

3.1 Levantamentos do Relevo

Um adequado levantamento topográfico é fundamental para identificar as características do terreno e subsidiar a implantação de uma obra de contenção.

Com base no levantamento topográfico é possível ajustar a implantação da obra, identificar feições desfavoráveis do terreno, pontos baixos e regiões que demandem a regularização e melhoria de base, bem como a presença de talwegues e linhas d'água que demandem tratamentos de drenagem.

A topografia do terreno também subsidiará o projeto de escavação (caso necessário) a ser realizado para a construção do maciço, além de subsidiar o projeto/locação das investigações geológico-geotécnicas.

3.2 Investigações Geológico-geotécnica

A caracterização do solo local, obtida através de um adequado plano de investigações do terreno, é primordial para qualquer tipo de projeto, e essencial no dimensionamento e concepção de um muro de contenção de grande altura. Com base nestas, são desenvolvidas as análises de estabilidade e capacidade de carga da fundação, visto às elevadas cargas atuantes, sejam oriundas do empuxo atuante, como as aplicadas no solo de fundação. Análises inadequadas ou insuficientes podem resultar em elevado risco associado à estrutura, com potenciais danos financeiros, ambientais e humanos.

Sankey e Soliman (2004) sugerem a realização de furos de sondagem a percussão (SPT) ou de penetração estática do cone (CPT) por toda a extensão de implantação da base do

muro, com espaçamentos máximos de 30 a 45m entre eles.

Dada a maior concentração de tensões atuantes é usual concentrar as investigações na região da face da contenção. No entanto, como os muros de contenção não são estruturas pontuais, como as fundações de uma edificação, torna-se fundamental o reconhecimento de toda a área em que será implantada a estrutura, inclusive entorno, permitindo a construção de perfis geológicos-geotécnicos transversais ao alinhamento do muro, fundamentais para as análises de estabilidade, especialmente a global.

Alguns autores relatam que sondagens a percussão não devem ser a única forma de investigação para obras de contenção. Isso se deve ao fato de que o ensaio SPT dá um valor de resistência média e amostras de solo em trecho com espessura inferior a 50 cm. Desta forma, essa extrapolação da informação obtida pode mascarar nesse trecho não investigado, a presença de lentes e camadas compostas por materiais de menor resistência (pontos de fraqueza) que podem ocasionar uma ruptura ou deslizamento pela ou na interface destas camadas menos resistentes.

Neste sentido, com o intuito de dirimir todas as dúvidas quanto às características do terreno local, em especial nos trechos menos competentes da fundação, recomenda-se a complementação das investigações a percussão por sondagens estáticas (CPT), bem como a realização de investigações diretas, podendo estas ser ainda complementadas por inspeções visuais da área, ou por ensaios geofísicos que possibilitem a melhor caracterização da região.

3.3 Ensaios de Laboratório

Além das investigações de campo, é fundamental o conhecimento das características dos solos e dos materiais envolvidos na obra. Desta forma, é imprescindível a realização de ensaios de laboratório para a caracterização das propriedades do solo local e em especial do solo empregado na construção dos aterros, permitindo a realização de análises mais confiáveis, indicando os critérios para o controle de compactação e a eventual necessidade de resistência de laboratório para

confirmar e balizar as correlações empregadas para os solos (Sankey e Soliman, 2004).

Os materiais empregados na execução do maciço em solo reforçado, como os geossintéticos ou materiais empregados no sistema de face das contenções, também devem ser ensaiados e suas propriedades de resistência e compatibilidade com o meio devem ser confirmadas previamente ao seu emprego/instalação na obra.

4 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO E ANÁLISES

4.1 Análises de Estabilidade Externa

Considerando que um muro em solo reforçado comporta-se como um maciço monolítico, para a avaliação do comportamento deste frente aos esforços externos são realizadas as mesmas verificações da estabilidade externa consideradas nas análises de estruturas de gravidade, como verificação da estabilidade ao deslizamento, ao tombamento, capacidade de carga da fundação e estabilidade global.

Além da verificação quanto à segurança do maciço frente a esses mecanismos instabilizantes, as verificações da estabilidade externa têm como finalidade realizar de um pré-dimensionamento da largura mínima da base, e consequentemente do comprimento mínimo das inclusões empregadas na construção do maciço.

Para o caso de muros de grandes alturas, devido à magnitude dos esforços atuantes, as verificações relacionadas à capacidade de carga da fundação e a análise de estabilidade global do maciço são fundamentais para garantir desempenho adequado e a segurança da obra.

Nestes casos, além das verificações analíticas (capacidade de carga da fundação) e análises por equilíbrio limite (estabilidade global), é fundamental a realização de análises adicionais com o emprego de modelos computacionais, permitindo avaliar de forma mais detalhada e eficiente o comportamento do maciço, análises estas que serão apresentadas de forma mais detalhada adiante.

4.2 Dimensionamento dos Geossintéticos

Atualmente, os métodos mais empregados no dimensionamento de muros de solo reforçado com geossintéticos são os métodos de ancoragem.

Nesta concepção, a zona reforçada é dividida em um trecho ativo, com tendência de mobilização de deslocamentos, e um trecho resistente onde às camadas de reforço são ancoradas. A resistência à tração necessária no reforço é determinada considerando um equilíbrio com o empuxo atuante (Rankine, Coulomb, repouso, etc.) e o comprimento do reforço, desde que atendido ao comprimento mínimo indicado nas análises de estabilidade externa, é dimensionando em função da resistência ao arrancamento deste na zona resistente.

São exemplos de métodos de ancoragem Mitchell e Villet (1987), Jewell (1990), Ehrlich e Mitchell (1994), Allen e Bathurst (2003) e os métodos empregados pela AASTHO (Berg et al. 2009), FHWA (Berg et al. 2009), NCMA (2009) e pela norma britânica (BS 8006).

Por estas metodologias, para muros de grandes alturas, devido ao elevado comprimento de reforço necessário e ao alto confinamento deste no maciço, as análises de ruptura do reforço se mostram mais críticas em relação ao arrancamento.

Por estes métodos de ancoragem, a resistência à tração necessária para o reforço (T) é obtida em função da tensão horizontal atuante na camada do reforço, multiplicada pelo espaçamento vertical entre camadas:

$$T_d = S_v \cdot \sigma_h \quad (1)$$

Como pode ser constatado pela equação, nestas metodologias há uma linearidade entre a resistência a tração do reforço e o espaçamento entre camadas. Caso o espaçamento seja aumentado em 2x, basta elevar também em 2x a resistência do reforço.

No entanto, muitos estudos, como os apresentados por Broms (1997), Adams (1997), Wu (2001), Vulova e Leshchinsky (2003), Elton e Patawaran (2005), Adams et al. (2007), Ziegler et al. (2008), Pham (2009), Wu et al. (2013) e Wu e Ooi (2015), vêm demonstrando

que o espaçamento entre as camadas de reforço desempenha um papel muito mais importante que a resistência do reforço no desempenho geral da estrutura de solo reforçado, principalmente em termos de deslocamentos de face, recalques, carregamento no reforço, tensões na face e segurança.

Neste sentido, é apresentado a seguir alguns conceitos e aspectos relacionados ao espaçamento interno entre as camadas de reforços/inclusões.

4.2.1 Espaçamento Interno dos Geossintéticos

Soong e Koerner (1997), Wu (2001), Wu (2007), Pham (2009), Wu et al. (2013) e Wu et al. (2015) sugerem que, para um adequado espaçamentos entre as camadas do reforço (pequenos valores), a tensão horizontal que efetivamente atua no reforço não é proporcional a altura do muro, mas sim constante ao longo de toda a elevação da estrutura e em função do próprio espaçamento vertical.

Isso ocorre devido à restrição às deformações laterais que o reforço induz quando o espaçamento entre as camadas é menor. Ainda, devido a esta restrição das deformações laterais, segundo os mesmos autores, as tensões que efetivamente chegam à face são de valores significativamente reduzidos se comparado com a teoria de Rankine.

Estes autores desenvolveram e sugeriram o uso de equações para determinação da tração no reforço que independem da altura do muro (função do espaçamento vertical) e fizeram avaliação das equações com instrumentações em estruturas reais e por elementos finitos obtendo um bom ajuste dos resultados.

Alguns estudos têm demonstrado que o solo reforçado com geossintético não se comporta efetivamente pelo mecanismo de ancoragem, sendo que não há, na realidade, uma equivalência entre espaçamento vertical e resistência dos reforços, sendo preferível usar reforços de menor resistência mais próximos do que reforços de maior resistência mais espaçados.

Como exemplo, em ensaios de grande escala de amostras de solo reforçado com geossintéticos, Pham (2009) e Wu et al. (2013)

demonstram que dobrar a resistência do reforço gera uma melhora apenas marginal na resistência do solo reforçado, enquanto reduzir pela metade o espaçamento entre camadas gera uma melhora de mais de 100% na resistência do compósito.

Vulova e Leshchinsky (2003) estudaram o comportamento de muros de solo reforçado com diferentes espaçamentos entre as camadas de reforço. O estudo mostrou que espaçamento entre camadas de reforços de até 40cm faz com que o solo reforçado se comporte como um compósito de um material homogêneo. Para espaçamentos iguais ou inferiores a este, há a manutenção da estabilidade do muro, com o não surgimento de uma superfície de ruptura interna, sendo que o muro se comporta como uma massa única (semelhante ao concreto armado) resistindo às solicitações externas.

Neste caso, quase não há mobilização de tração no reforço, a ancoragem com o sistema de faceamento é mais eficiente e se verificam reduzidos valores de deslocamento (e tensão) na face. Os autores observaram, inclusive, que as potenciais superfícies de ruptura global passam a interceptar a zona reforçada apenas para espaçamentos entre reforços superiores a 40cm.

4.3 Análises de Desempenho

4.3.1 Modelagem por Elementos Finitos (MEF)

Os muros de solo reforçado são estruturas passivas, carecendo de deslocamentos para solicitar e/ou ativar a resistência dos elementos de inclusão. Neste sentido, especialmente no caso de muros de grandes alturas, o desenvolvimento de modelos computacionais é fundamental para o entendimento mais amplo e aproximado de seu comportamento frente às solicitações à que a estrutura será submetida.

Sankey e Soliman (2004) citam que as análises por elementos finitos (MEF) são indispensáveis em muros de grandes alturas. Há a necessidade especial de se avaliar as tensões atuantes, os recalques na fundação e as deformações resultantes no maciço e face.

Na figura 2 é ilustrado um modelo para uma análise por elementos finitos.

As análises computacionais, como as

realizadas com o auxílio de modelos por elementos finitos, permitem avaliar a magnitude das tensões aplicadas na fundação do maciço, permitindo a obtenção de valores para cada etapa de alteamento/construção do muro/aterro em solo compactado.

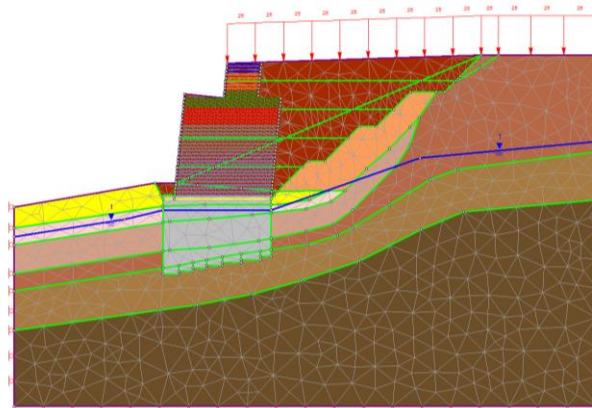


Figura 2. Modelo empregado em uma análise por MEF (Estudo interno Engecorps).

4.3.2 Análise das Tensões Atuantes

Considerando a construção de muros de grandes alturas, em que o alteamento do maciço é realizado em um período construtivo maior, é de grande valia a realização de análises evolutivas do comportamento do maciço, onde são observadas as deformações e permitem estimar o ganho de resistência do terreno de fundação com a construção do aterro e incremento das tensões atuantes na fundação.

Nestas análises, em função do comportamento do maciço, podem ser determinadas as alturas críticas frente ao desempenho de fundação, bem como a necessidade de tratamento de fundação para garantir a segurança da obra.

4.3.3 Análise das Deformações

Assim como nas verificações das tensões atuantes, as análises por elementos finitos permitem avaliar a magnitude das deformações em cada etapa do alteamento do maciço.

Através destas análises é possível determinar se as deformações estimadas pelos modelos estão dentro da faixa de valores pretendidos para a obra, podendo indicar também a

necessidade de tratamentos e/ou soluções para reduzir as deformações e/ou compatibilizar a solução com os valores esperados.

Um aspecto relevante nas análises das deformações do maciço, além da magnitude, está relacionado com a direção das deformações. Enquanto a ocorrência de deformações verticais podem indicar problemas na fundação, a ocorrência de deformações horizontais, ou com resultante praticamente horizontal, podem indicar problemas de estabilidade do maciço, que podem ocasionar danos ao sistema de face ou, em casos críticos, indicar uma instabilidade global do maciço.

Ainda na questão das deformações horizontais, quando é constatado que estas ocorrem no interior, devido às características o material de aterro e carregamentos, e são concentradas no terço médio inferior do muro, recomenda-se aumentar a densidade de reforços nessa região.

A literatura técnica-acadêmica cita uma elevada faixa de valores previstos para recalques e deslocamentos horizontais. Avesani Neto (2014) e Avesani Neto e Hayashida (2013) realizaram um levantamento do estado da arte das deformações esperadas e compararam valores da literatura com um muro com a face instrumentada. De acordo com os trabalhos avaliados, espera-se um deslocamento horizontal da face entre 1 e 8% da altura do muro (dependendo do tipo de faceamento).

Com relação às deformações verticais (recalques), estes devem ser avaliados em função do tipo de contenção, principalmente quanto aos elementos de face. De forma geral, sistemas com face flexível toleram maiores valores de recalque, inclusive diferenciais, enquanto que nos sistemas com face em blocos ou painéis, os recalques podem ocasionar danos aos elementos, devendo limitar a ocorrência de recalques diferenciais em até 1/300.

Um estudo de caso realizado, com um muro monitorado, com cerca de 12m de altura e talude de 5m em seu topo, apresentou deslocamento horizontal entre 1 e 1,5% da sua altura e recalque médio de 1% da altura.

5 CARACTERÍSTICAS DO MURO

5.1 Geometria (muros sobrepostos)

De acordo com o Relatório NHI 10024 da FHWA (Berg et al. 2009), para muros altos, a sugestão é a sua concepção em muros de menores alturas sobrepostos, com uma berma entre eles. Essa sugestão propicia benefícios como:

- Facilidade executiva, visto que cada lance é um novo muro com uma fundação competente;
- Redução de tensões verticais na face, reduzindo as tensões tanto sobre os elementos de face, evitando esmagamento e quebra de elementos de face (quando semirrígidos), como a concentração de tensões na fundação da face (pé da contenção), evitando problemas de estabilidade do maciço;
- Melhora no controle da inclinação da face e de sua verticalidade;
- Redução das tensões horizontais na face;
- Melhora da inclinação total do desnível.

Neste caso, como recomendação preliminar, os autores sugerem a implantação de uma berma intermediária considerando uma altura máxima de face (lance) de 15 m, e um espaçamento mínimo entre os muros (berma) igual a 5% do desnível total. Para os reforços, a recomendação preliminar é que o muro superior possua um comprimento de reforço de no mínimo de 70% da sua altura, e no muro inferior o comprimento do reforço seja de no mínimo 60% do desnível total.

Caso a berma possua uma dimensão inferior à supracitada, ambos os muros deverão ser considerados como uma única estrutura equivalente, devendo ser analisada a estrutura considerando sua altura (desnível) total.

5.2 Sistema de faceamento

Wu (2001) e Wu et al. (2015) indicam que, para menores espaçamentos entre as camadas do reforço, a função primordial do faceamento em uma estrutura de solo reforçado com geossintéticos é apenas evitar a instabilização localizada do solo na face. De fato, quando o espaçamento vertical entre os reforços é escolhido de forma adequada, o sistema de faceamento servirá apenas como fôrma,

permitindo o lançamento e compactação das camadas de solo, e como acabamento estético da estrutura.

Ehrlich e Becker (2009) citam que a escolha do sistema de faceamento deve ser feita pelo projetista, considerando a melhor técnica no que se refere a custo, função mecânica e necessidades estéticas da obra. De forma geral, sistemas com face mais flexíveis devem ser construídos com taludes um pouco mais abatidos, enquanto que sistemas com face mais rígida podem ser construídos com taludes subverticais, destacando que a inclinação a ser adotada deverá ser previamente avaliada, devido ao grau de deformações (verticais e horizontais) esperados/suportados para tal sistema.

Os autores indicam que muros com face envelopada, além de mais econômicos, são os que melhor toleram deslocamentos em função da baixa rigidez da face. Contudo, o sistema envelopado exige uma proteção definitiva contra degradação UV ou danos por vandalismo, além de apresentar a face com contornos mais irregulares (maiores deformações) quando comparado com outros sistemas de faceamento.

Além do sistema de envelopamento (mais flexível) relatado por Ehrlich e Becker (2009), também pode ser empregado um sistema composto por cestas metálicas (geralmente dobradas em "L") preenchidas com rachão. Este sistema, ainda que em nível inferior ao sistema envelopado, também apresenta capacidade de absorver deformações na face, tendo como vantagem em relação ao envelopado o fato de ser um sistema definitivo (dispensando a necessidade de proteção do sistema). Um ponto a ser observado nesse sistema consiste no arranjo/disposição dos cestos na face e avaliação da carga sobre as britas/rachão de forma a evitar seu esmagamento.

O sistema de face com blocos segmentais é comumente empregado na construção de muros de contenção. Dada às características dos blocos segmentais, fabricados em concreto e preenchidos com brita, que podem resultar em cargas de até 450 kg/m² de face, é fundamental avaliar a capacidade de carga do terreno de fundação da face e a resistência necessária dos

blocos posicionados nas camadas inferiores dos muros de grandes alturas. Dada à magnitude desses carregamentos e com o intuito de restringir a ocorrência de recalques, especialmente diferenciais que podem danificar o sistema de face, deve-se avaliar a necessidade de construir uma estrutura (similar a uma sapata corrida subfundada ou não), onde os blocos deverão ser apoiados e as cargas, por meio dessa, descarregadas no terreno competente.

Outra opção de sistema de face para os muros de contenção consiste no emprego de paramento em painéis modulares pré-moldados de concreto, similar à estética dos paramentos em terra armada, porém com menor peso próprio, quando comparado a estes paramentos e aos blocos segmentais. Nesta solução, em função do tipo de painel empregado, pode ser obtida uma estética diferenciada, adequada com o local de implantação da obra. Nesta solução também devem ser restringidos os recalques diferenciais, porém, devido ao menor peso do elemento de face, os problemas relativos ao empilhamento com a sobrecarga na região da face são minimizados.

5.3 Materiais Geossintéticos

Considerando o nível de tensões a que os reforços serão submetidos durante a construção e operação de muros de grandes alturas, as geogrelhas são os geossintéticos mais favoráveis para o emprego nesse tipo de obra. Dentre as geogrelhas mais empregadas na construção de muros em solo reforçado podem ser destacadas as geogrelhas têxteis (PET e PVA) e extrudadas (PP e PEAD).

Para a seleção do tipo de geogrelha a ser empregado, além dos aspectos econômicos, deve ser avaliado a magnitude das tensões a que estas inclusões serão submetidas e o comportamento das geogrelhas frente ao nível de deformações pretendido, a severidade do meio e aos aspectos relacionados aos possíveis danos de instalação.

5.4 Materiais de Aterro

Para a construção do maciço em solo reforçado, além das inclusões, é fundamental que o solo

empregado na construção do aterro compactado atenda a algumas características e critérios de compactação.

De forma geral, as normas e recomendações internacionais recomendam o emprego de solos predominantemente granulares, com teor de finos inferior a 40%. No entanto, os solos tropicais brasileiros, que apresentam elevada coesão, são empregados com grande sucesso em muros de solo reforçado.

Neste sentido, com o intuito de aproveitar os solos tropicais brasileiros e minimizar a possibilidade de deformações, Ehrlich et al (2015) recomenda o emprego de solos com $IP < 20\%$, $CBR > 15\%$ e expansão por saturação menor que 2%. No que tange aos critérios de compactação, com o intuito de reduzir as deformações, recomenda-se a construção de aterros com Grau de Compactação (GC) maior ou igual a 98% do Proctor Intermediário.

5.5 Monitoramento e Instrumentação

Muros de elevados desníveis devem ser considerados estruturas críticas, exigindo instrumentação e monitoramento desde sua etapa de execução até um dado período de sua vida útil.

Apesar de não haver uma lista de instrumentos necessários (e quantidades), de acordo com a literatura (Sankey e Soliman 2004 e Berg et al. 2009) há a recomendação de monitoramento de recalques e deslocamentos da face por pontos topográficos, inclinômetros, piezômetros (principalmente na fundação) e medidores de deslocamento (ou força) nos reforços, como tell-tails ou strain-gages.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho procurou-se apresentar de forma sucinta algumas considerações e recomendações acerca da concepção e dimensionamento de muros em solo reforçado para grandes alturas.

Para o desenvolvimento deste estudo foi realizado um levantamento do estado atual da arte relativo a esse tipo de obra, partindo dos aspectos pretendidos em projeto até

recomendações construtivas, que diferem estas soluções para os muros em solo reforçado com menores alturas.

Cabe destacar que, por ser um universo com um número de obras muito inferior quando comparado aos muros com alturas de até 12m, o monitoramento e instrumentação é fundamental, seja para avaliar o desempenho da obra construída, como para estabelecer parâmetros e subsidiar estudos posteriores relativos ao comportamento destas obras de grande magnitude.

REFERÊNCIAS

- Avesani Neto, J. O. (2014). Instrumentação de Muro Reforçado com Geossintéticos com Face em Geobloco H. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, Editora Rudder.
- Avesani Neto, J. O., Hayashida, E. M. (2013). Levantamento e comparação dos custos de diferentes soluções de estruturas de contenção em aterro. *COBRAE 2013*, Angra dos Reis, Rio de Janeiro.
- Berg, R. R., Christopher, B. R., and Samtani, N. C. (2009). *Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Slopes*, FHWA Publication.
- BS 8006 (2010). *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*. British Standard Institution. London, UK.
- Ehrlich, M., Mitchell, J. K. (1994). Working Stress Design Method for Reinforced Soil Walls, *Journal of Geotechnical Engineering*, v.120, n. 4, p. 625-645
- Ehrlich, M.; Becker, L. (2009). *Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução*. Oficina de Textos.
- Ehrlich, M.; Gomes, R.C.; Sayão, A.S.F.; Azambuja, E. (2015). *Muros e taludes de solo reforçado. Manual Brasileiro de Geossintéticos*. Oficina de Textos.
- Jewell, R. A. (1990). *Application of revised Design Charts for Steep Reinforced Slopes*. Report No 1796/89. AKZO Industrial Systems.
- Mitchell, J. K., Villet, W. C.B. (1987). *Reinforcement of Earth Slopes and Embankments*. NCHRP Report 290.
- Sankey, J., Soliman, A. (2004) Tall Wall Mechanically Stabilized Earth Applications. *Geotechnical Engineering Transportation Projects*. p. 2149-2158
- Vulova, C., Leshchinsky, D. (2003). *Effect of Geosynthetic Reinforcement Spacing on the Performance of Mechanically Stabilized Earth Walls*. FHWA Publication.
- Wu, J. T. H. (2015). *Synthesis of Geosynthetic Reinforced Soil Design Topics*. FHWA Publication.
- Wu, J. T. H., Pham, T. Q., Adams, M. T. (2013). *Composite Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Mass*. FHWA Publication.
- Allen, T.M., and Bathurst, R.J. (2003). *Prediction of Reinforcement Loads in Reinforced Soil Walls*. Washington State Department of Transportation.