

Projeto de Muro de Contenção: Critérios à Elaboração e Escolha

Containment Wall Design: Criteria for Elaboration and Choice

Bruno Gomes da Silva

Resumo. Nosso problema de pesquisa inicialmente era saber quais critérios devem ser considerados como essenciais na elaboração e escolha de construção de projetos para muros contentivos. O objetivo deste trabalho foi ressaltar pontos essenciais para a elaboração de projetos de muros de contenção, no qual limitamos nossa pesquisa em muros contentivos com inclusão de malhas de aço x inclusão de blocos de concreto, na busca de descobrir também para qual situação existe melhor custo benefício. A metodologia utilizada para este processo foi de natureza Qualitativa, e de caráter uma Análise Documental. Concluimos que no ponto de vista da economia, o muro de solo reforçado com inclusão de geogrelha pode ser mais viável até aproximadamente 11 metros de altura. A partir desta altura o custo já começa a se igualar ao muro de solo reforçado com inclusão de malhas de aço, e posteriormente tende a ficar mais caro. Entretanto, com altura inferior a 7 metros, o muro de solo reforçado com inclusão de geogrelha pode ser até 30% mais barato em relação ao de inclusão de malhas de aço, e ilustramos pontos criteriosos para a elaboração dos projetos dos mesmos.

Palavras Chaves: Elaboração de Projetos, Muros Contentivos, Malhas de Aço e Geogrelhas.

Abstract. *Our research problem was initially to know what criteria should be considered as essential in the design and choice of construction projects for containment walls. The objective of this work was to highlight essential points for the elaboration of retaining wall projects, in which we limit our research on containment walls with the inclusion of steel meshes x inclusion of concrete blocks, in the search to find also for which situation there is better cost benefit. The methodology used for this process was Qualitative, and of character a Documentary Analysis. We conclude that from the economic point of view, the reinforced soil wall with geogrid inclusion can be more viable up to approximately 11 meters in height. From this point on, the cost is already beginning to equal the reinforced soil wall with the addition of steel meshes, and later on it tends to become more expensive. However, with a height of less than 7 meters, the reinforced soil wall with geogrid inclusion can be up to 30% cheaper than the inclusion of steel meshes, and we illustrate criteria points for the elaboration of these projects.*

Keywords: *Elaboration of Projects, Containment Walls, Steel Meshes and Geogrids.*

Licenciado em Física pelo IFSUL. Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Anhanguera - Uniderp
Especialista em Ciências e Tecnologias na Educação pelo IFSUL.
Mestre no Ensino das Ciências pelo Instituto Politécnico de Bragança (IPB-Portugal).

E-mail: brunoifsul@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Os muros de pedra seca, são os mais antigos e numerosos. Atualmente, devido ao custo elevado e a falta de mão de obra especializada, o emprego desse tipo construtivo não é comum. Já os muros de pedra argamassada, são bem semelhantes aos muros de pedra seca. Possui como diferencial a utilização de argamassa de cimento e areia para sobreposição das pedras, bem como o preenchimento das juntas, proporcionando assim maior rigidez. Entretanto, esse rejuntamento elimina a capacidade drenante, necessitando então a implantação de dispositivos usuais de drenagem, tais como, dreno de areia ou geossintéticos, de acordo com (GERSCOVICH, 2010).

Neste trabalho iremos qualificar quais são os principais critérios que devem ser levados em conta para que possamos construir um projeto de muro de contenção para elevados. Nossa principal dúvida era qual o melhor custo benefício e qual tipo de muro de contenção para uma dada situação.

A partir deste pressuposto fizemos uma busca de quais tipos de muros de contenção são existentes, e quais ainda são viáveis e possuem melhor custo benefício. Os muros de contenção são construídos para evitar desmoronamentos do solo, com a finalidade de manter estável a estrutura. Os principais muros de contenção são os de Pedra Seca, muros de pedra argamassada, muros de solo-cimento ensacado, muros de concreto armado, muros grampeado, muros de terra armada, muros de solo reforçado com geossintéticos entre outros.

A partir de 1960 aqui no Brasil, iniciou-se a introdução de elementos mais resistentes no corpo do aterro, em conjunto com o solo compactado, deu mais rigidez a estrutura com fitas metálicas ou malhas de aço e pelos geossintéticos, de acordo com (FELIX, 1991; SILVA, 2012).

A partir da técnica “terra armada”, começou-se a se desenvolver outras estruturas com a mesma finalidade, porém com introdução de outros tipos de materiais, ligas metálicas e os muros de Solo reforçado com Geossintético, esse tipo de muro consiste na inserção de geotêxtil juntamente as camadas de solo compactadas, objetivando agir como um corpo monolítico coeso, suportando seu próprio peso, bem como, as cargas externas para as quais foram dimensionados. Podem ser de várias técnicas, uma das mais conhecidas é com o sistema de blocos segmentais, ancorados ao geossintético (GONÇALVES, 2016).

De acordo com Leite (2011), como elemento de reforço, as geogrelhas possuem função de confinar e reforçar o solo junto à face externa, sendo um elemento fundamental para evitar o deslocamento excessivo imposto pelas forças de tração exercidas pelos blocos.

Nesse trabalho iremos ilustrar os outros muros de contenção, mas iremos focar nesses dois últimos citados, com a inclusão de malhas de aço, e com a inclusão de geogrelhas. Neste trabalho iremos ilustrar em detalhes processos de construção dos muros de contenção citados anteriormente, como: conceito geral, controle de qualidade, material de aterro, elementos de reforço, drenagem,

material de aterro, elementos de face, acessórios complementares, altura, inclinação e valor de ficha, Vantagens, desvantagens e situações não recomendadas, etapas da montagem de cada metodologia e aplicação da técnica.

2 METODOLOGIA

A metodologia usada no estudo foi, essencialmente, de caráter qualitativo, realizando-se uma Análise de Conteúdo, primeiramente efetuando uma revisão em matérias já publicados sobre o assunto e depois nos projetos das duas obras na BR116 no interior do Rio grande do sul. As duas obras são de construção de elevados, e nosso foco fica restrito apenas aos muros de contenção destas. Uma obra utiliza a metodologia de malhas de Aço e a outra com a metodologia de blocos de concreto como geogrelhas, com a finalidade de descobrir quais os pontos relevantes e imprescindíveis para a construção de cada obra, e posteriormente, averiguar qual metodologia de construção teria mais resultados e melhor custo benefício.

Turato (2005), a pesquisa qualitativa permite obter uma visão integrada em que o pesquisador inicia-se em algum problema existente, e a partir disto com seu referencial teórico pode buscar respostas a este problema, no qual a pesquisa qualitativa se adequa a cada caso.

Segundo (SILVA; PIRES; MANZKE, 2018), o autor explica que uma análise de conteúdo é uma metodologia que:

Permite interpretar o conteúdo de documentos variados, tal como textos, livros, entrevistas, jornais, revistas, relatos autobiográficos, etc. É uma abordagem metodológica em que se trabalha, interpreta e compreende os dados que se quer investigar, fazendo inferências a partir deles. É, portanto, uma metodologia que assenta na interpretação dos dados disponíveis e que parte do pressuposto que, em qualquer documento, se podem identificar palavras, frases, expressões ou, mesmo, associações que o permitem caracterizar. Quem fala? Para dizer o quê? A quem? De que modo? Com que finalidade? Com que resultados? são as questões que, tradicionalmente, permitem identificar/categorizar os objetivos de uma análise de conteúdo (SILVA; PIRES; MANZKE, 2018, p.36).

Surgiu o interesse de estudar e avaliar as opções projetadas, considerando que ambos apresentam as mesmas finalidades, em distância razoavelmente próxima (aproximadamente 30 quilômetros), contudo projetados com características totalmente distintas. Os objetivos do trabalho se fundamentam em estudar e apresentar os aspectos mais importantes para a construção de um projeto que visa utilizar um de dois métodos de contenção de solos confinados, melhorando o conhecimento e a compreensão a respeito de projetos, de comportamento dos muros de contenção. O primeiro com inclusão de malhas de aço, e o segundo com inserção de geogrelha. no acesso ao viaduto da Avenida 25 de Julho, no município de Pelotas/RS. Ambos compõem as obras da duplicação da BR 116 na região sul do Estado do Rio Grande do Sul.

3 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE UM PROJETO DE MURO DE CONTENÇÃO: MALHAS DE AÇO X GEOGRELHAS

Para determinação do tipo de estrutura de contenção mais adequada, devem-se primeiramente levar em conta vários fatores, entre eles: Altura da estrutura; Cargas atuantes; Natureza e características do solo a ser arrimado; Natureza e características do solo de fundação; Espaço disponível para construção; Os Equipamentos e mão de obra disponível; Especificações técnicas especiais; Análise de custos.

Alguns tipos de estruturas, devido a sua complexidade, necessitam-se um bom embasamento teórico e experiências práticas para obtenção de resultados satisfatórios. Estabelecida à escolha do tipo de contenção, deve-se levar em conta alguns outros critérios, como: A Natureza da estrutura (tipos diferentes para propósitos diferentes); Geometria do terreno e condições geotécnicas locais; Posição do nível do lençol freático e condições de drenagem; Empuxos de terra e cargas atuantes;

Crítérios de projeto de estruturas de contenção; Propriedades dos solos locais: peso específico, coesão, ângulo de atrito; Movimentos relativos para o solo – a estrutura; Metodologias construtivas. Como visto anteriormente, existem vários tipos de muro de contenção, mas somente serão abordados mais detalhadamente, em relação aos critérios de projetos, os dois tipos de muros objetivo deste trabalho.

3.1. Muro de solo Reforçado com inclusão de Malhas de Aço

Os primeiros estudos referentes ao comportamento dos sistemas de contenções, em solos reforçados, foram realizados pelo engenheiro Frances Henry Vidal em 1963. Associando o solo a um material resistente a tração, obtinha-se uma melhoria significativa da sua propriedade estrutural inicial. O grande desafio na época foi à escolha dos materiais a serem aplicados para a análise do comportamento interno dos muros. Primeiramente os materiais utilizados foram polímeros reforçados com fibras de vidro, entretanto não se obteve resultado positivo, pois a estrutura sofreu colapso após 10 meses. Já a segunda tentativa foi com a utilização de aço maciço e alumínio em tiras, mas em observação após 10 a 15 anos da execução, os reforços apresentavam um elevado grau de corrosão devido a pouca durabilidade dos materiais, resultando assim um método ineficaz. Então a solução encontrada pelo Frances foi à utilização tiras de aço galvanizado, aumentando assim à durabilidade dos materiais e caracterizando assim o sistema “Terra Armada”. Os muros com inclusão de malhas de aço são constituídos pela associação do solo de aterro com propriedades adequadas, malhas de aço flexíveis inseridas horizontalmente à medida que o aterro vai sendo construído, de acordo com (FÉLIX, 1991).

Elemento de reforço

De acordo com Silva (2012), os elementos de reforços utilizados têm como principais finalidades a mobilização por atrito de tensões tangenciais ao longo da sua superfície e a resistência aos esforços de tração. Pelo fato dos reforços estarem enterrados, dificultando assim o reparo e a substituição, é necessária atenção na decisão do material utilizado, pois esses devem garantir funções em longo prazo, e ainda possuir as seguintes características: Boa resistência à tração com ruptura do tipo não frágil; Bom coeficiente de atrito com o solo; Ser flexível, adaptando-se as ondulações geradas nas superfícies dos aterros compactados; Apresentar baixo índice de deformação às cargas de serviço; Permitir uma fácil implantação.

Geralmente as malhas de aço galvanizadas são compostas por varões soldados, possuindo elementos transversais e longitudinais, cuja seção pode ou não variar. Caso haja variação das seções, o diâmetro dos varões longitudinais devem ser superiores aos varões transversais, contudo não devem possuir seções muito distintas para assim permitir uma boa ligação. Essas malhas devem possuir comprimento igual ou superior a 70% da altura do muro, ou ainda comprimento mínimo de 2,4m, tendo em vista a necessidade deste para acomodar os equipamentos de colocação e compactação do aterro (SILVA, 2012).

Onde:

Hm = altura média fictícia. Média entre H e H1; H1 = altura aterro existente; H = altura do paramento; Lm = comprimento do elemento de reforço.

Os materiais utilizados nas malhas de aço devem atender aos critérios para aço CA50 da NBR 7480 (ABNT, 2007), Aço destinado à construção civil e da NBR 6892 (ABNT, 2013), Determinação das propriedades mecânicas à tração– Método de ensaio. A proteção contra corrosão é baseado na aplicação de zinco em torno da armadura, contribuindo assim para o atraso da corrosão do aço e não permitindo uma deterioração precoce pela exposição aos raios ultravioletas e pela ação da água.

Material de aterro

De acordo com Felix (1991) o funcionamento dos muros de solos reforçados com inclusão de malhas de aço, baseia-se no pressuposto de existência de atrito entre o solo e os reforços, com isso se torna conveniente que o material de aterro possua um elevado ângulo de atrito interno, excluindo assim, no primeiro momento, a utilização de solos com elevadas porcentagens de partículas finas.

Ainda, segundo Silva (2012) os solos utilizados na construção do maciço são geralmente granulares compactados, possuindo característica de material drenante, de boa qualidade, isento de detritos, matéria orgânica ou quaisquer outras substâncias nocivas. Sua escolha deve obedecer aos critérios da norma NBR 9286 (ABNT, 1986).

Elementos de face (escamas/painéis)

De acordo com Maparagem (2011), as escamas constituem o acabamento externo do maciço, além da função estética, apresentam uma função secundária no funcionamento do sistema, pois são responsáveis pelo equilíbrio das tensões próximas ao paramento externo.

Félix (1991) ressalta que as escamas são geralmente pré-moldadas em concreto armado, de formato hexagonal, dimensões correntes da ordem dos 1,50 x 1,50m, e espessura variando entre 0,14m e 0,26m. Destinam-se ao acabamento externo do maciço, tendo como objetivo a retenção do solo do paramento do muro, impedindo a ruptura e a erosão.

Ainda o concreto utilizado na fabricação das escamas deve ter f_{ck} mínimo de 25 MPa, sem emprego de aditivos como incorporadores de ar, aceleradores de pega ou outros que contenham componentes agressivos às peças metálicas de ligação. Essas escamas possuem uma serie de elementos, agregando assim uma complexidade de produção e montagem, como os pontos de suspensão, os olhais entre outros.

Em relação às juntas, de acordo com Silva (2012), são responsáveis por impedir que haja uma união rígida entre os painéis e contado direto entre os mesmo, evitando assim desgaste, são compostas por almofadas de polietileno combinados com geotêxtil, este último possuindo característica de drenagem sem permitir a passagem dos finos. Como resultado cada painel é independente dos demais, esta característica oferece ao paramento característica de deformabilidade vertical.

Acessórios complementares

a) *Soleira de nivelamento*: A construção de uma soleira de concreto tem por objetivo proporcionar um nivelamento do primeiro nível de escamas. Essa é construída sobre o aterro devidamente compactado, sua execução é de concreto simples com $f_{ck} > 13$ MPa, não possuindo função estrutural. Seu formato é em caixa, com dimensões de 0,30m por 0,15m no terreno.

b) *Olhais*: São dispositivos de ligação entre escama e armadura. Fabricados de aço galvanizado são concretados na fabricação das placas (SOBRINHO, 2013). Os olhais de ligação nas placas.

c)Espigões de alinhamento: De acordo com Silva (2012) são pinos de aço maciço, galvanizado, liso, e de dimensões de 300 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro. Sua função é o encaixe e o perfeito alinhamento entre as placas. Os espigões são inseridos nas partes superiores das placas. Já na parte inferior são visíveis as reentrâncias para os encaixes.

d)Passadores ou chave simples de ligação: Os passadores ou chave simples de ligação são elementos também de aço galvanizado e possuem função de travamento das malhas de aço com os metais (SILVA, 2012).

f)Chumbadores: De acordo com Silva (2012), são pontos de suspensão nas escamas, de aço galvanizado, que auxiliam na colocação das mesmas, permitindo seu manuseio e montagem através de meios mecânicos.

e)Castanhas de aperto e escoras em madeira: Já as castanhas de aperto são elementos de madeira e aço galvanizado, sistema de aperto por parafuso e porca. Já as escoras são de madeira roliça, utilizadas no faceamento externo do muro. Ambos dispositivos são utilizados para diminuir o movimento entre as placas e também para mantêm o alinhamento do paramento.

h)Cunhas e espaçadores de madeira: Cunhas são elementos em madeira, ilustrados na e tem como finalidade o travamento entre os olhais e malha de aço. Já os espaçadores são dispositivos que permitem a execução de juntas uniformes e também a inclinação desejada das placas.

i)Juntas entre as escamas: As juntas são compostas por almofadas de polietileno com finalidade de evitar o atrito entre as diferentes placas. Cada painel é apoiado na junta horizontal do painel inferior, através de duas almofadas de apoio em polietileno geralmente de 2,5cm de altura. Posteriormente no lado interno do muro as juntas são cobertas por um filtro de geotêxtil.

Altura, inclinação e valor de ficha

É recomendado que esse tipo de muro não atinja alturas superiores a vinte e quatro metros. Entretanto para Maparagem (2011), esse tipo de construção superam alturas maiores que os muros convencionais e são tecnicamente viáveis para alturas superiores a vinte e cinco metros. Em relação à inclinação, suas placas devem ser assentadas com 1% para a direção interna do muro. Geralmente após a compactação do solo esta será anula.

O valor de ficha, ou seja, a dimensão que o muro deve ficar enterrado/embutido serve para garantir que não haja ruptura do solo de fundação junto ao paramento inferior, para prevenção de um possível deslocamento, bem como, para a proteção da fuga de materiais finos. Por isso, deve-se exigir que o muro tenha um valor mínimo de ficha, conforme determina a NBR 9286 (ABNT, 1986), em condições normais, não apresentando evidência de outros riscos à estabilidade de solo de fundação (MAPARAGEM, 2011). $D_m \text{ min} = 0,40\text{m}$ ou; $D_m = 0,1H$ quando o terreno a jusante do maciço for horizontal e; $D_m = 0,1$ a $0,20H$ quando o terreno a jusante do maciço for inclinado. Ainda, segundo Silva (2012), pode ser realizado diretamente a partir da altura do muro como se observa na Tabela 1. Vale ressaltar que diferente do método, utiliza-se o valor mais crítico.

Tabela 1-Critério do valor de ficha mínima.

Inclinação do terreno em frente ao muro		Dm (m)
(β)		
β = 0°	Muros	H/20
	Encontros	H/10
β = 18°	Muros	H/10
β = 27°	Muros	H/7
β = 34°	Muros	H/5

Fonte: Silva, 2012 (adaptado pelo autor).

Drenagem

Para ser mantida a estabilidade da estrutura quando em presença de água, é sempre necessário um projeto de drenagem, impreterivelmente quando o material de aterro for constituído por finos.

Segundo Maparagem (2011), os dispositivos devem ser previstos com a finalidade de aumentar a eficiência, permitindo que a água escoe sem carregamento de finos, evitando comprometer a estabilidade da obra. Uma das soluções seria o uso de colchões e valas drenantes, com material granular adequado e/ou geotêxtil. Os painéis possuem juntas horizontais permitindo a passagem de água para o exterior. Essas juntas devem ser cobertas no lado inferior do muro por um filtro geotêxtil.

Aplicação da técnica

São amplas as utilizações do sistema de solo reforçado com inclusão de malhas de aço na engenharia civil. Suas principais aplicações são estabilização de taludes, em simultâneo a criação de plataformas de implantação de vias de trânsito e na fabricação de silos. Na Figura 26 estão exemplificados alguns detalhamentos referentes às aplicações (FÉLIX, 1991).

Contenção de terras: São formados pelo paramento (face), reforços e pelo aterro; Muros de encontro de viadutos: Este tipo de muro é formado pelos mesmos constituintes dos muros contenção de solo reforçado e por uma viga de apoio que recebe ações do tabuleiro; Plataforma para trânsito viário: Formado por dois paramentos paralelos ligados entre si pelos reforços. São utilizados nas rampas de acesso a viadutos; Plataforma fortemente carregada: Muro com propriedades de grande resistência, como por exemplo, dimensionado de forma a resistir à ação de grua sem cais de carga-descarga; Estruturas parcialmente submersa: Podem ser utilizadas em locais parcialmente secos ou então à beira-rio ou beira-mar, onde há nível de água estável ou variável; Contenção de explosões: Sua elevada resistência a ações dinâmicas permite sua utilização como elemento protetor dos impactos provocados por explosões. Armazenamento de materiais granulares: Execução de silos enterrados ou semienterrados.

Vantagens, desvantagens e situações não recomendadas

De acordo com Felix (1991) as principais vantagens da execução de muros com inclusão de malhas metálicas em estruturas de engenharia civil resultam do seu processo construtivo e do seu comportamento. Essas podem resumir-se do seguinte modo: Facilidade de montagem, mesmo em obras de grande altura; Procedimentos de construção rápidos e que não necessitam de grande quantidade de equipamentos específicos; Eliminação de formas, andaimes, escoramentos, concretagens situ e terraplanagens manuais; Elevada flexibilidade dos paramentos, o que permite aos maciços adaptarem-se a fundações compressíveis, aceitando bem assentamentos diferenciais inadmissíveis para as soluções rígidas clássicas de concreto armado; Facilidade no tratamento estético do paramento; Requerem uma menor área de preparação; Necessitam de espaços reduzidos aos arredores da estrutura para operações de construção; Custos reduzidos.

Existem também algumas desvantagens no uso deste tipo de muros, tais como: Exigem um espaço largo atrás da estrutura para se obter espessura de muro suficiente para a verificação da estabilidade interna e externa; Aterros granulares selecionados; Critérios de projeto necessários para evitar a corrosão das malhas de reforço e a deterioração de certos elementos da face; Projeto obrigando a uma responsabilidade entre os fornecedores de materiais, o fornecedor de aterro e uma maior participação de especialistas geotécnicos do domínio.

Silva (2012) recomenda que os muros de solos reforçados não devem ser utilizados quando: Existirem ângulos salientes do muro em planta com abertura inferior a 70°; Na zona reforçada forem previstas outras obras além da drenagem; As armaduras forem sujeitas à ação de águas contaminadas, em geral com baixos valores de pH e altos teores de cloretos e sulfatos, ou quando sejam esperadas correntes elétricas parasitas no terreno a uma distância do muro inferior a 60m;

Haja o risco de infraescavações da base do solo reforçado, provocadas pela ação fluvial ou marítima.

Antes da montagem

A montagem deve ser feita ao mesmo tempo em que a terraplenagem do aterro, conforme as faces construtivas.

a)Aprovação do material do aterro: O conhecimento prévio do material de aterro é obtido por estudos geotécnicos e sua importância depende das condições particulares de cada caso.

b)Equipamentos: É necessário um guindaste tipo *munck* ou similar para a colocação das escamas. Ainda, além dos equipamentos de terraplenagem e compactação é recomendado o uso de um trator ou uma moto niveladora para o espalhamento das camadas de aterro. Para compactação é recomendável utilizar equipamento do tipo rolo liso vibratório. Entretanto na faixa de largura de 1,50m atrás do paramento não se utiliza o rolo, recomenda-se placas vibratórias leves, “sapos”.

c)Materiais pré-fabricados: Os materiais pré-fabricados que são as escamas, armaduras, elementos de ligação, olhais e espigões de alinhamento, devem ser minuciosamente controlados na sua fabricação, com ensaios de recebimento, visando garantir a conformidade com as especificações.

d)Soleira de nivelamento: A soleira deve ser executada com um perfeito acabamento, tendo em vista o nivelamento do primeiro nível de escamas, e conseqüentemente evitar problemas futuros de desalinhamento de placas, retrabalho de assentamento e etc.

e)Montagem: Após a conclusão da soleira de nivelamento, inicia-se a instalação dos painéis com o auxílio de um guindaste. Estes devem ser numerados e içados sequencialmente, visto os diferentes formatos e dimensões constantes no projeto. Após a instalação da primeira linha são colocados geotêxtil nas juntas verticais e instalados as primeiras armaduras. Em sequencia iniciar o aterramento até o próximo nível do reforço (ferragem). Em seguida este aterro é compactado e inserido nova linha de malhas, fixas aos olhais salientes no tardo dos painéis, através de chaves simples de ligação (passadores). A próxima etapa consiste em colocação da nova linha de escamas, e o procedimento se repete, e assim sucessivamente. Ainda na execução da montagem, os acessórios de escoramento (castanhas de aperto, escoras em madeira e espaçadores) deverão acompanhar a sequência de colocação dos painéis, garantindo a inclinação indicada em projeto.

3.2. Muro de solo reforçado com inclusão de geogrelhas

No início da década de 1970, os sistemas de solo reforçado com inclusões metálicas estavam difundidos pelo mundo. Nessa mesma época, surgiram as primeiras aplicações de muros reforçados com fibras poliméricas (geossintéticos) (EHRlich & BECKER, 2009).

Segundo Ehrlich & Becker (2009) o geotêxtil foi o primeiro tipo de geossintético utilizado sistematicamente em geotécnica, tendo sido empregado a partir dos anos 1950 nos Estados Unidos como elemento de drenagem e separação ou controle de erosão. Seu uso na Europa iniciou-se nos anos 1960. Já no Brasil, a partir dos anos 1970. Embora desde a década de 1970 existam registros de aplicações empíricas de geotêxtil na estabilização de taludes no Brasil, somente em 1986 é que se obtiveram notícias de um projeto racional de muro de solo reforçado, foi à construção de porte atribuída à obra executada na rodovia que liga Taubaté a Campos do Jordão.

Ainda de acordo com os mesmos autores, atualmente as geogrelhas são os geossintéticos mais empregados para reforço dos solos. Esse tipo de material representa alternativa mais barata e de fácil execução em relação às soluções tradicionais existentes.

Conceito geral

De forma simples, pode considerar-se que uma estrutura de solo reforçado a constituída por três elementos: o solo, o reforço e a face. Sua face é constituída de blocos segmentais pré-moldados de concreto, possuindo funções construtivas, além de impedirem a erosão superficial e ajudar a uniformizar o acabamento da estrutura. Ainda existem outros elementos que compõem esse tipo de estrutura.

De acordo com Ehrlich & Becker (2009) a utilização do método de reforço de solos, melhora o comportamento global do maciço, devido à transferência de esforços para os elementos resistentes.

Elementos de Reforço

Utiliza-se como elemento de reforço a geogrelha, as quais vieram substituir os reforços metálicos. É um produto polimérico, geralmente confeccionado pelo polietileno de alta densidade (PEAD), o poliéster (PET) e o álcool de polivinila (PVA) (EHRlich & BECKER, 2009). Um fator importante para a escolha do tipo de é a agressividade química dos solos ou do meio onde deverá ser implantada.

De acordo com os mesmos, apresentam estrutura plana, muito aberta, em formato de grelha do tipo barras soldadas. São a função predominante de reforço, cujas aberturas permitem a interação tanto por atrito como por ancoragem com os solos. Proporcionam também elevada resistência à tração. São dois os principais tipos de geogrelhas, sendo elas: unidimensional, quando apresentam elevadas resistências à tração em apenas uma direção; bidimensional, quando apresentam elevada resistência à tração em duas direções ortogonais. São fornecidas em rolos de largura e comprimento determinados, fator determinante na elaboração dos projetos. A geogrelha deverá ser instalada ao longo de todo o solo a ser contido a cada uma, duas ou três fiadas de blocos, à medida que o muro for subindo. Ainda, em sua execução se utiliza reforços secundários, geralmente uma dobra de conexão curta, entre as camadas dos reforços principais, visando evitar problemas de instabilidade localizada na face (EHRlich & BECKER, 2009).

Material de aterro

Recomenda-se para a escolha de solo de aterro geralmente a jazida de solo mais próxima à execução do muro, em razão dos custos de transporte. A primeira busca por solos devem ser realizada por meio de observações dos taludes, de corte e escavações, verificando, por pessoa experiente, as propriedades dos materiais e classificando pela análise tátil-visual, caracterizando como inservíveis as argilas orgânicas, argilas moles, solos granulares ricos em mica, turfas etc. Porém, por outro lado se os critérios preliminares forem satisfatórios, devem-se realizar os ensaios de caracterização.

Segundo a NBR 9286 (ABNT, 1986), após a verificação do volume de solo disponível e constatado que há uma quantidade suficiente para a necessidade da obra, o mesmo deve ser enviado em amostras representativas de 20 kg para solo fino ou 40 kg para solo grosseiro, para realização de ensaios listados na Tabela 2. Sendo então vantajoso o emprego de solos lateríticos em países de solos tropicais, pois possuem coesão significativa, sem que haja tendência à plastificação exagerada ou fluência do maciço.

Assim, é recomendado o uso de solos com índice de plasticidade menor que 20%, embora sejam conhecidos casos bem-sucedidos de uso de solos com índices de plasticidade de até 30%. Para efeitos de controle da resistência e também da degradação do material, recomenda-se que o índice de suporte (CBR) seja superior a 15% e a expansão por saturação da umidade ótima seja inferior a 2% (EHRlich & BECKER, 2009).

Tabela 2-Ensaio de caracterização de solos.

Ensaio	Normas	Observações
Limites de Atterberg	NBR 7180/84 Solo - Determinação do limite de plasticidade	Exceto solos sem fração fina
Granulometria	NBR 6459/84 Solo - Determinação do limite de liquidez	
	NBR 7181/84 - Análise granulométrica	
Massa específica dos grãos	NBR 6509/84 Grão de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica	
	NBR 6457/86 Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização	
	DNER-ME 52/94 Solos e agregados miúdos - Determinação da umidade com emprego do "Speedy"	
	DNER-ME 88/94 Determinação da umidade pelo método expedito do álcool	
Proctor Normal	NBR 7182/86 Solo - Ensaio de compactação	Exceto solos sem fração fina

Fonte: NBR 9286 (ABNT, 1986) - adaptado pelo autor.

Elementos de face (blocos pré-moldados)

Em uma estrutura de contenção em solo reforçado, as faces não têm função estrutural principal. Suas básicas funções são de garantir a estabilidade localizada das zonas próximas às mesmas, evitar erosão superficial, proteger os reforços da degradação, bem como a exposição a raios U.V e ainda as questões estéticas.

São formadas por blocos segmentais pré-fabricados de concreto estrutural. Estes blocos, em geral são leves, podendo ser facilmente manuseados por um trabalhador. Ainda, possuem dispositivo de encaixe de tal forma que o alinhamento do muro é facilitado durante a execução, e ao mesmo tempo proporcionam uma eficiente ancoragem dos reforços. Por essas características, os blocos segmentais também são denominados “blocos intertravados” (EHRlich & BECKER, 2009).

Existem vários tipos de blocos, porém nesse trabalho a ênfase está voltada ao bloco Terrae W, referente ao projeto em estudo ser composto por esse. O bloco Terrae W possui três cavidades, seu centro serve como reforço e apresenta uma ondulação na sua face. Nas duas primeiras fiadas assentadas, seus interstícios devem ser preenchidos com argila compactada manualmente, as próximas com brita, possibilitando assim a drenagem. Ainda, possuem um “dente” na parte inferior traseira, este faz o batente no bloco inferior, auxiliando no alinhamento e inclinação do muro. Possibilita um arranjo quase vertical, com até 87% de inclinação, inclinação indicada para muros mais altos. Quando as dimensões do bloco são: 25 e 40 cm de largura, 20 cm de altura e 40 cm de comprimento.

Acessórios complementares

A construção de uma soleira de concreto tem por objetivo, proporcionar um nivelamento do primeiro nível de escamas. Sua execução é de concreto simples com $f_{ck} > 15 \text{ Mpa}$ e não possui função estrutural. Seu formato é em caixa, com dimensões de 0,60m por 0,10m, semelhante à Figura 16.

Altura, inclinação e valor de ficha

Quanto maior a altura do muro, maiores as tensões exigidas nos reforços. As geogrelhas são mais favoráveis para muros com altura superior a 4m e inferiores a 20m. Visto a isso, o valor de ficha, como já descrito, deve ser de no mínimo de 0,80m, varia conforme as definições de projeto.

Drenagem

A drenagem é um dos aspectos construtivos mais relevantes dos muros com inclusão de geogrelhas. Depois de compactado é extremamente indesejável a presença de um nível d'água dentro do solo reforçado. Para evitar que isso ocorra, o reforço deve ser provido de sistemas de drenagem adequados, como por exemplo, o emprego de colchão de material drenante, com espessura de 20 a 50cm, entre a massa de solo reforçado e o solo natural conforme representado na Figura 33. Ainda, outra camada drenante é colocada junto à face, sendo essa o preenchimento dos blocos (EHRLICH & BECKER, 2009).

Segundo os mesmos autores o material drenante pode ser constituído de areia limpa de granulometria adequada ou pedrisco. Para exercer o papel de filtro e impedir a fuga dos finos, pode-se envolver o material drenante em geotêxtil. Ainda, alertam que também devem ser previsto, além da drenagem das águas freáticas, um sistema de drenagem/impermeabilização superficial para se evitar erosão e infiltração das águas de chuva no maciço de solo reforçado, que geralmente consiste de canaletas longitudinais e transversais (escadas), dissipadores de energia, caixas coletoras etc. Ainda para evitar a introdução das águas da chuva através do topo da estrutura, este deve ser coberto por uma camada de material argiloso compactado (EHRLICH & BECKER, 2009)..

Aplicação da técnica

São amplas as aplicações do sistema de solo reforçado com inclusão de geogrelhas. Suas principais aplicações são, em muros de suporte, encontro de pontes e viadutos, barreiras, abrigos militares e muro de segurança, barragens, diques, paredões e muros de ligação.

Controle de qualidade

Segundo Ehlich & Azambuja (2003), três aspectos são importantes no controle de qualidade de muros de contenção em solo reforçado: resistência nominal dos esforços, controle de danos mecânicos e controle de deformações durante a construção. É recomendável que os esforços sejam ensaiados por partida e a cada 1.000m² de reforço. Os ensaios mínimos recomendados para o controle dos reforços são tração faixa larga NBR 12824 (ABNT, 1993) e punção NBR 13359 (ABNT, 1995), e devem proporcionar resultados compatíveis com as resistências nominais, para um nível de confiabilidade de 95%. Já o controle das deformações construtivas do faceamento deve ser controlado a cada camada. As distorções da face (razão entre deslocamento na crista e a altura do muro) devem ser inferiores a 2% para blocos segmentais.

Antes da Montagem

A montagem deve ser feita ao mesmo tempo em que a terraplenagem do aterro, conforme as faces construtivas.

a) Aprovação do material de aterro: O conhecimento prévio do material de aterro é obtido por estudos geotécnicos, e sua importância depende das condições particulares de cada caso.

b) Equipamentos: Além do equipamento de terraplenagem, deve ser previsto um compactador manual, para a faixa situada a menos de um metro do paramento.

c) Materiais pré-fabricados: Os materiais pré-fabricados são os blocos, que no seu recebimento devem ser ensaiados, com a finalidade de garantir a conformidade com as especificações.

d) Soleira de nivelamento: A soleira deve ser executada com um perfeito acabamento, para fim de nivelamento do primeiro nível de escamas. É de tamanha importância a perfeita confecção para evitar problemas futuros de desalinhamento dos blocos, impedindo que ocasione retrabalhos.

e) Montagem: Inicia-se a montagem do muro a partir da abertura de uma vala, com seu fundo compactado, de 60cm de largura e 50cm de profundidade, em seguida é executada a soleira de nivelamento, posteriormente o assentamento manual dos blocos com auxílio de um martelo de borracha e um nível de bolha. Uma vez que a primeira fiada foi assentada, o espaço que fica entre o bloco e a vala, assim como o espaço das cavidades dentro dos blocos, devem ser preenchidos com solo e em seguida manualmente compactados.

A segunda fiada é realizada da mesma maneira que a primeira, uma vez colocado os blocos,

a vala e os espaços das cavidades dentro dos mesmos são novamente preenchidos com solo, e também compactados manualmente. Nesta etapa geralmente chega-se ao nível do terreno (cota zero), então se inicia a compactação do aterro do muro. Instalada mais uma camada de blocos, uma barreira é posicionada a 15cm de distância e o espaço são preenchidos com brita, assim como as cavidades do bloco. A partir da contenção, é executada a primeira camada de compactação com 20 cm de espessura. Cabe ressaltar que a primeira camada se utiliza areia (características drenante) e as próximas de solo argiloso. Depois de aterrado e compactado a camada, a geogrelha é colocada ao longo de todo solo a ser contido. A partir desse ponto, a cada três fiadas o processo se repete, na medida em que o muro ganhando altura. Já o preenchimento de brita no espaço de 15 cm é contínuo.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalhos ilustramos alguns itens essenciais para a elaboração de projetos para muros de contenção. Fizemos também um estudo comparativo para a elaboração de melhor custo benefício, e limitamos nosso estudo apenas a muros de contenção com inclusão de malhas de aço e muros de contenção com inclusão de geogrelhas.

No ponto de vista da economia, o muro de solo reforçado com inclusão de geogrelha pode ser mais viável até aproximadamente 11 metros de altura. A partir desta altura o custo já começa a se igualar muro de solo reforçado com inclusão de malhas metálicas, e posteriormente tende a ficar mais caro. Entretanto, com altura inferior a 7 metros, o muro de solo reforçado com inclusão de geogrelha pode ser até 30% mais barato em relação ao de inclusão de malhas de aço (EHRlich & BECKER, 2009). A Figura 1 ilustra um comparativo entre as alturas e os preços destes.

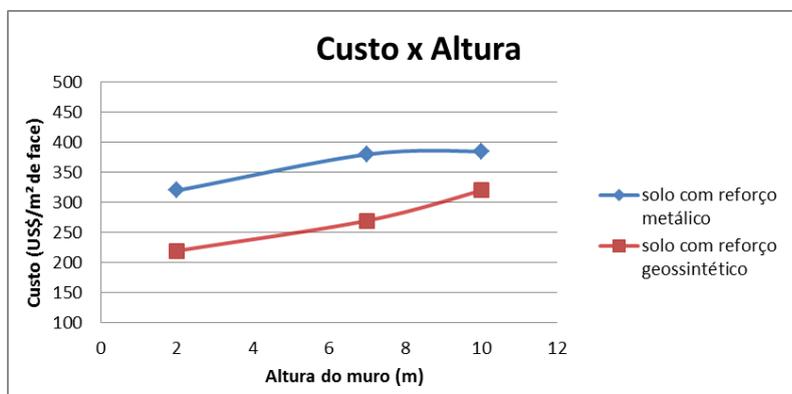


Figura 1 - Custo de construção por área de face em função das alturas dos muros.

Fonte: Ehrlich & Becker, 2009 (adaptado pelo autor).

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 6459/84**: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 6509/84**: Grão de solos que passam na peneira de 4,8mm - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 6892/13**: Materiais metálicos – Ensaio de Tração. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 7180/84**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7181/84**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7182/86**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 7480/07**: Aço destinado à construção civil. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 9286/86**: Terra armada. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 12824/93**: Geotêxteis – Determinação da resistência à tração não-confinada – ensaio de tração de faixa larga. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 13359/95**: Geotêxteis – Determinação da resistência ao puncionamento estático – ensaio com pistão tipo CBR. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 52/94**: Solos e agregados miúdos - determinação da umidade com emprego do "Speedy". Brasília, 1994.

_____. **DNER-ME 88/94**: Solos – determinação da umidade pelo método expedito do álcool. Brasília, 1994.

EHRlich, M. & AZAMBUJA, E. Muros de solo reforçado. In: **Simpósio Brasileiro de Geossintéticos**. 4 ed., Anais p. 81-100, São Paulo, 2003.

GONÇALVES, J. F. **Estudo numérico do comportamento de muros de solo reforçado com geossintético**. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

FÉLIX, C. M. S. **Comportamento dos muros de terra armada**. 157 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas de Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto-PT, 1991.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção - Muros de Arrimo**. 48 p. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Rio de Janeiro, 2010.

MAPARAGEM, A. S. **Avaliação da interação solo-fitas metálicas e poliméricas para solução em terra armada em solos não convencionais**. 163 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SILVA, N. H. **Muros de terra armada – verificação da segurança**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa-PT, 2012.

SILVA, Bruno, Gomes Da; PIRES, Maria, Delmina; MANZKE, Vitor, Hugo. História da Ciência nos Livros Didáticos de Física. **Revista Thema**. V.15, edição 1. Pelotas, 2018.

SOBRINHO, M. J. M. **Modelação Numérica do Comportamento de um Muro de Terra Armada da Autoestrada A4. Comparação com os Resultados de Instrumentação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real-Pt, 2013.

TURATO, E. R. Métodos qualitativos e quantitativos na área da saúde: definições, diferenças e seus objetos de pesquisa. **Revista de saúde pública**. V. 39, p 507. 2005.