

**FACULDADE DOCTUM
TAIANE DE SOUZA CASSARO
VICTOR LEITE VIEIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICO DE CONTENÇÃO DE
TALUDE:**

Analise de três alternativas para estabilização de um talude na cidade de Juiz de
Fora/MG

Juiz de Fora
2019

**TAIANE DE SOUZA CASSARO
VICTOR LEITE VIEIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DE CONTENÇÃO DE
TALUDE:**

Analise de três alternativas para estabilização de um talude na cidade de Juiz de
Fora/MG

Monografia de Conclusão de Curso,
apresentada ao curso de Engenharia
Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora,
como requisito parcial à obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Msc. Eduardo de
Oliveira Macedo

Juiz de Fora
2019

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF

Cassaro, Taiane.

Leite, Victor.

Estudo de viabilidade técnica-econômica de
contenção de talude: Análise de três alternativas para
estabilização de um talude na cidade de Juiz de Fora/MG.

Taiane de Souza Cassaro, Victor Leite Vieira– 2019.

76 folhas.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) –
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Estabilidade de Talude. 2. Contenção. 3. Terra Armada. 4. Solo Grampeado. 5. Muro de Arrimo

**TAIANE DE SOUZA CASSARO
VICTOR LEITE VIEIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICO DE CONTENÇÃO DE
TALUDE:**

Analise de três alternativas para estabilização de um talude na cidade de Juiz de
Fora/MG

Monografia de Conclusão de Curso,
submetida à Faculdade Doctum de Juiz de
Fora, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil e
aprovada pela seguinte banca
examinadora.

Prof. MSc Eduardo de Oliveira Macedo
Orientador (a) e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. MSc Kleber de Almeida Gonçalves
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. MSc Leandro Mota Perez
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: ___/___/___.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente manifestamos nossa gratidão à Deus, que nos deu força e energia para que esse sonho, de concluir a faculdade, se tornasse realidade. Agradecemos as nossas respectivas famílias, mas em especial as nossas mães, Katia de Souza e Bianca Girardi, que tiveram paciência nos momentos de tensão, e que oferecem todo apoio e carinho nessa etapa decisiva da vida acadêmica. Agradecemos também aos nossos amigos, que contribuíram com conselhos e palavras de incentivos. Somos gratos aos nossos colegas de sala, que tornaram nossas aulas mais felizes e descontraídas. Agradecemos aos nossos mestres, que compartilharam seus conhecimentos conosco, servindo como exemplo de profissionais que almejamos nos tornar. E por fim, não podemos deixar de agradecer ao nosso orientador, que nunca negou uma ajuda durante os encontros e elaboração do TCC.

RESUMO

CASSARO, TAIANE. LEITE, VICTOR. **Estudo de viabilidade técnica-econômica de contenção de talude: Análise de três alternativas para estabilização de um talude na cidade de Juiz de Fora/MG**. 76f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2019.

Estruturas de contenção e estabilização de taludes são práticas bastante executadas no ramo da Engenharia Civil, pois elas possuem o intuito de fornecer sustentação ao maciço terroso para que não ocorra nenhum deslizamento, resultando em perdas econômicas, materiais e humanas. O custo para se executar uma obra de contenção e estabilização é algo bastante oneroso, deste modo o presente trabalho realizou um estudo sobre três técnicas, a fim de se analisar a viabilidade técnico-econômica de aplicação a um talude pertencente ao empreendimento que está localizado no bairro Grama, na cidade de Juiz de Fora/MG. Sendo a Terra Armada que concilia elementos lineares metálicos como reforço e placas pré-moldadas como paramento, o Muro de Arrimo por Flexão que são estruturas construídas em concreto armado puro que utilizam o solo do aterro como objeto de equilíbrio para resistirem a empuxos de terra por flexão e o Solo Grampeado que utiliza elementos de reforço passivo para aumentar a resistência do solo ao cisalhamento. Para tanto, foi necessário descrever a área a conter, no que diz respeito à topografia e à geologia-geotecnia, apresentando os parâmetros geotécnicos do solo para o estudo da estabilidade do talude sem o reforço, onde foi constatado a necessidade de execução de uma contenção. Iniciou-se, portanto, uma pesquisa bibliográfica para fundamentar o objeto de estudo. Na sequência, apresentou-se o estudo de caso a partir do projeto topográfico disponibilizado pela empresa Uai Soil. Por fim elaborou-se uma planilha orçamentária, resultando na análise técnica, econômica e também das estruturas de estabilização e contenção de talude mencionadas na referência literária. A partir dos resultados, verificou-se que o solo grampeado apresentou o melhor custo entre as alternativas analisadas além da melhor viabilidade executiva.

Palavras chave: Estabilidade de Talude. Contenção. Terra armada. Solo grampeado. Muro de Arrimo por Flexão.

ABSTRACT

Structures of containment and stabilization of slopes are practices executed in the field of Civil Engineering, as they have the purpose of providing support to the earthy massif so that no slip occurs, resulting in economic, material and human losses. The cost to carry out a containment and stabilization work is quite expensive, so the present work carried out a study on three techniques, in order to analyze the best technical-economic feasibility of applying to a slope belonging to the enterprise that is located in the Grama neighborhood, in the city of Juiz de Fora / MG. Being the Armada that conciliate linear metallic elements like reinforcement and precast plates like facing, the Wall of Arrimo by Flexion that are structures constructed in pure armed concrete that use the soil of the embankment like object of balance to resist to buffers of earth by flexural strength and the Stapled Soil that uses passive reinforcement elements to increase the shear strength. In order to do so, it was necessary to describe the area to be contained, with regard to topography and geology-geotechnics, presenting the soil geotechnical parameters for the study of slope stability without reinforcement, where it was verified the need to perform a containment. Therefore, a bibliographical research was started to base the object of study. In the sequence, the case study was presented from the topographic project made available by Uai Soil. Finally, a budget worksheet was drawn up, resulting in the technical and economic analysis, as well as the stabilization and containment structures mentioned in the literary reference. From the results, it was verified that the stapled soil presented the best cost among the analyzed alternatives besides the best executive feasibility.

Keywords: Slope Stability. Containment. Armed land. Just stapled. Wall of Arrimo by Flexion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parte da Muralha da China, construção antiga onde se utilizou técnicas de estabilização mecânica de solo para sua construção.	17
Figura 2 – Areia e agulhas de pinheiro como inspiração da tecnologia de Terra Armada.....	17
Figura 3 – Representação de elementos compostos por solo e solo reforçado em análise comparativa de aplicação de tensão axial.	19
Figura 4 – Construção de um muro de greide em Terra Armada.....	20
Figura 5 – Execução da Terra Armada	22
Figura 6 – Imagem ilustrando o passo final do processo de execução da estrutura de Terra Armada.....	22
Figura 7 – Resultado da execução da Terra Armada.....	23
Figura 8 – Estrutura de Terra Armada, adornada conforme especificações decorativas e arquitetônicas de projeto.....	25
Figura 9 – Cabeceiras de um viaduto ferroviário construídas em Vierzon, na França, utilizando Terra Armada.....	26
Figura 10 – Ombros de uma barragem construídos utilizando Terra Armada.....	27
Figura 11 – Muros escalonados para instalações de britagem de uma mineradora de diamantes, em Saumurino, Angola.	27
Figura 12 – Muro de arrimo por flexão com contrafortes.....	28
Figura 13 – Instalação de muro de flexão com elementos pré-moldados para contenção de um aterro. Fotografia da fase anterior ao aterramento.	29
Figura 14 - Diagrama de forças explanatória sobre muros de flexão;.....	30
Figura 15 - Caracterização dos possíveis efeitos de falha no sistema de contenção.	31
Figura 16 – Montagem da forma / disposição das armaduras.....	32
Figura 17 – Seção transversal de um muro de flexão	33
Figura 18 - Muro de flexão com a utilização de contrafortes externos de enrijecimento.....	34
Figura 19 – Utilização de solo grampeado em infraestrutura rodoviária (esquerda) e ferroviária (direita)	35
Figura 20 – Execução de túnel através do método <i>NATM</i> , precursor da tecnologia do solo grampeado.....	35
Figura 21 – Representação gráfica de esforços em um talude estabilizado por solo grampeado.....	37
Figura 22 – Captura de tela de interface de <i>software</i> de dimensionamento de estrutura de solo grampeado - <i>Visual Slope V6</i>	38
Figura 23 – Etapa de escavação de terreno para execução de solo grampeado.....	38
Figura 24 – Instalação dos chumbadores no talude a ser estabilizado	40
Figura 25 - Detalhe de um possível sistema de drenagem de um muro estabilizado por solo grampeado	40
Figura 26 – Aplicação de concreto projetado na face do talude.....	41
Figura 27 – Exemplos de equipamentos utilizados em muros grampeados. (a) mostra a execução de uma parede revestida com concreto projetado, (b) mostra que a perfuratriz de instalação de chumbadores pode adaptar-se a lugares estreitos e de dificultado acesso.....	42
Figura 28 – Etapa executiva do Solo Grampeado.....	43
Figura 29 - Limpeza dos DHP presentes no muro	44
Figura 30 - Corte de terreno e contenção de talude com solo grampeado	45

Figura 31 – Localidade geral do empreendimento	46
Figura 32 – Vista superior do empreendimento / local da contenção a ser estudada	46
Figura 33 – Seção onde está localizado os taludes artificiais	47
Figura 34 – Curvas de nível	48
Figura 35 – Seção transversal (seção 1).....	49
Figura 36 – Geometria atual do terreno	49
Figura 37 – Área de corte para ampliação	50
Figura 38 – Nova geometria	50
Figura 39 – Local de retirada da amostra.....	51
Figura 40 – Modelagem da Superfície de estudo no Software SLIDE	54
Figura 41 – Captura da interface do Software SLIDE – Análise de estabilidade.....	55
Figura 42 – Esquema da aplicação de cada técnica no caso estudado.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teste de Dilatância.....	52
Tabela 2 – Parâmetros Geotécnicos Conservativos de Solos Brasileiro.....	53
Tabela 3 – Resultado do Orçamento Total.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	13
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	13
2 METODOLOGIA	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 TERRA ARMADA	16
3.1.1 <i>Perfil Histórico</i>	16
3.1.2 <i>Princípios Teóricos</i>	18
3.1.3 <i>Metodologia Construtiva</i>	20
3.1.4 <i>Vantagens</i>	23
3.1.5 <i>Aplicações</i>	25
3.2 MURO DE ARRIMO POR FLEXÃO	28
3.2.1 <i>Generalidades</i>	28
3.2.2 <i>Princípio Teórico</i>	29
3.2.3 <i>Metodologia Construtiva</i>	31
3.2.4 <i>Aplicações</i>	33
3.3 SOLO GRAMPEADO	34
3.3.1 <i>Generalidades</i>	35
3.3.2 <i>Princípio Teórico</i>	36
3.3.3 <i>Metodologia Construtiva</i>	37
3.3.4 <i>Vantagens</i>	41
3.3.5 <i>Aplicações</i>	44
4 ESTUDO DE CASO	46
4.1 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	46
4.2 TOPOGRAFIA LOCAL	48
4.3 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	51
4.4 PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	53
5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO TALUDE	54
6 APRESENTAÇÃO ORÇAMENTARIA.....	56
6.1 LEVANTAMENTO QUANTITATIVO	56
6.2 PLANILHA DE CUSTO	57
6.2.1 <i>Terra Armada</i>	57
6.2.2 <i>Muro de Arrimo por Flexão</i>	59
6.2.3 <i>Solo Grampeado</i>	61
7 RESULTADO E ANÁLISE	63
8 CONCLUSÃO	67

ANEXOS	69
<i>Anexo I – Quantidade dos insumos da Terra Armada</i>	<i>69</i>
<i>Anexo II – Quantidade dos insumos do Muro de Arrimo por Flexão</i>	<i>70</i>
<i>Anexo III – Quantidade dos insumos do Solo grampeado</i>	<i>72</i>
REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Estabilização de talude é uma prática bastante comum efetuada no ramo da Engenharia Civil, devido ao solo estar presente em praticamente toda obra. O estudo de um talude, mediante a qualquer obra a ser realizada no local, é um aspecto fundamental pois é através dele que se será permitido a execução de variados projetos em segurança.

É sabido que a ocorrência de deslizamento do maciço terroso, devido à sua instabilidade, causa perdas econômicas, ambientais e humanas, por isso há diversas estruturas de contenção e/ou reforço do solo que agem como solução para tal problema. A execução destes elementos se torna algo de suma importância, principalmente em áreas de maior risco de deslizamento ou desabamento.

Os escorregamentos e desabamentos ocorrem sempre que a inclinação do talude, natural ou artificial, vença ao proposto pela resistência ao cisalhamento dos maciços e em condições onde há uma presença volumosa de água. Segundo a Associação Brasileira de Geologia (ABGE, 1988) a execução de cortes no solo com inclinação de 90°, pode condicionar o movimento de massa, causando tragédias.

A estruturas de contenção e reforço do solo possuem o intuito de fornecer sustentação ao maciço para que não ocorra nenhuma situação desastrosa. Sua função se resume em fornecer suporte, evitando os movimentos de terra causados pelo peso próprio ou carregamento externos, possibilitando assim o uso do espaço superior ou que está a sua frente.

A escolha do método de estabilização envolve diversos fatores, como disponibilidade e custo dos materiais, dificuldades construtivas, metodologia executivas de cada técnica, mão de obra especializada, condições do solo e em alguns casos o aspecto estético. Estes fatores englobam as especificações necessárias para um comparativo técnico e econômico.

É notório que o custo para uma obra de estabilização e contenção de talude é algo bastante oneroso, ao qual gera custos ao orçamento final de execução de um projeto. Com o intuito de adotar o tipo de solução para a estabilização de um talude, em um empreendimento, situado na cidade de Juiz de Fora, este trabalho propõe a realizar uma análise de viabilidade técnica-econômica, dispensando os critérios de

dimensionamento de execução, das três alternativas de contenção e estabilização: Terra Armada, Muro de Arrimo por Flexão e Solo Grampeado.

Este trabalho conta como metodologia a revisão bibliográfica das três técnicas de contenção abordadas, apresentação do estudo de caso referente ao talude que se faz necessário neste objeto a partir de informações disponibilizada pela empresa Uai Soil, elaboração de planilha orçamentária e de uma análise técnica, econômica e também executiva das técnicas mencionadas a partir de conhecimentos absorvidos da revisão bibliográfica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar três técnicas de contenção para a estabilização de um talude, sendo estas: terra armada, muro de arrimo por flexão e solo grampeado. A fim de se considerar a viabilidade técnico-econômica do mesmo, este, situado em um loteamento do bairro Grama, na cidade de Juiz de Fora/MG.

1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar a área de estudo;
- Descrever a área a conter quanto à topografia e à geologia-geotecnia;
- Apresentar os parâmetros geotécnicos;
- Apresentar estudos sobre estabilidade de talude sem contenção;
- Elaborar planilha orçamentária para cada solução abordada, utilizando o os sistemas de referência de preços SINAP e Sicro (DNIT).
- Analisar e definir a melhor solução técnico-econômica.

2 METODOLOGIA

Este estudo tem um caráter essencialmente quali-quantitativo, com ênfase na verificação de três hipóteses de contenção, a partir de coleta de dados e parâmetros reais do solo referente ao estudo de caso. Também foi necessário o cruzamento dos levantamentos com toda investigação temática já feita para a sua identificação.

Iniciou-se, portanto, uma pesquisa bibliográfica com finalidade de fundamentar o estudo. Para isso, foram utilizados livros e artigos de autores pertinentes ao assunto, periódicos, publicações de empresas especializadas no ramo, assim como, monografias, dissertações, teses semelhantes ao objeto de estudo e normas regulamentadoras.

Para a obtenção das fontes citadas acima, foram realizadas pesquisas no Google Scholar/Acadêmico, utilizando o método de busca por palavras chaves como: “Terra Armada”, “Muro de Arrimo” e “Solo Grampeado”. Da mesma forma, palavras com a mesma designação foram utilizadas para busca de conteúdo estrangeiro, sendo estas: “*Reinforced Earth*”, “*Terre Amée*”, “*Retention Walls*” e “*Soil Nailing*”.

Na sequência, foi realizado a apresentação do estudo de caso contendo descrição da área de estudo, apresentando a declividade oriunda do levantamento topográfica e características do talude. Toda essa etapa foi embasada através de arquivos de topografia em formato *.dwg* fornecidos pela empresa de engenharia Uai Soil.

No mesmo segmento, foi apresentado a classificação do solo e os seus parâmetros geotécnicos a partir de dados coletados do livro de geotecnia e da realização de algumas etapas do método tátil visual para classificação do respectivo solo de estudo.

Para a obtenção do fator de segurança (FS), utilizou-se o software Rocscience Slide para a sua análise do talude imediatamente antes da contenção. A partir deste, foi comparado o resultado obtido com o fator de segurança mínimo (FS_{min}), sendo ele regido pela Norma Regulamentadora Brasileira (NBR) 11.682 – Estabilidade de Taludes.

Seguindo a próxima etapa, a quantificação dos materiais, foi realizado através pré-dimensionamento da estrutura de cada solução, sendo elas: I) Muro de Flexão; II) Terra Armada e III) Solo Grampeado. Havendo como apoio a revisão bibliográfica e o uso dos *softwares Muros em Balanço da Multiplus e Rocscience Slide da L3Software*.

Após toda a contextualização da problemática, foram elaboradas planilhas orçamentárias, através do Microsoft Excel, contendo todos os insumos e serviços necessários para a obtenção de um resultado financeiro. Foi utilizado o sistema do SEOBRA para extração de valores referentes das planilhas de preço do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAP) e o Sistema de Custos Referenciado de Obras (SICRO), onde o valor unitário de cada sub etapa de serviço contempla mão-de-obra e materiais.

Por fim, os resultados orçamentários totais de execução para cada alternativa de contenção e estabilização, foram usados em conjunto com os critérios de execução de cada técnica afim de se definir qual estrutura se aplica melhor ao conceito de viabilidade técnico-econômica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para contextualização e melhor orientação do leitor, este capítulo destina-se a descrever os métodos de contenção de taludes comparados no presente trabalho.

3.1 Terra Armada

Sob a designação técnica de Terra Estabilizada Mecanicamente (do inglês *Mechanically Stabilized Earth* ou MSE), a Terra Armada (do francês *Terre Armée*) é o nome da tecnologia que alia elementos (geralmente de aço galvanizado ou elementos poliméricos) de reforço estrutural dispostos horizontalmente a um aterro granular e placas de concreto pré-moldado como revestimento (REINFORCED EARTH, 2019). Esta tecnologia atrelou-se de tal forma ao nome de sua empresa idealizadora que acabou por levar, também, sua alcunha.

3.1.1 Perfil Histórico

Ehrlich e Becker (2009) certificam que o ato de “armar a terra” se trata de uma técnica que vem sendo utilizada desde as mais antigas civilizações, sendo encontradas evidências destas em construções do Império Inca, Mesopotâmia e China. Reitera, ainda, que não representa uma técnica organicamente humana, já que animais como o castor e o joão-de-barro também fazem uso de elementos vegetais como galhos e palha com fim de incrementar a estabilidade de suas estruturas de solo.

A Figura 1 exibe um trecho da Muralha da China como um exemplo de construção onde adotou-se a técnica análoga ao MSE, com a utilização de solo não orgânico, palha e galhos de árvore, criando uma estrutura sólida e de grande estabilidade.

Figura 1 – Parte da Muralha da China, construção antiga onde se utilizou técnicas de estabilização mecânica de solo para sua construção.



Fonte: Página WebEstudante. Disponível em <<https://www.webestudante.com.br/muralha-da-china/>>. Acesso em 28 jan. 2019.

A tecnologia consagrou-se a partir de experimentos realizados pelo engenheiro e arquiteto francês Henri Vidal, onde pode perceber a alteração na estabilidade de um pequeno monte de areia quando fora armado por agulhas de pinheiro (REINFORCED EARTH, 2019), conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Areia e agulhas de pinheiro como inspiração da tecnologia de Terra Armada



Fonte: Página da Reinforced Earth. Disponível em <<https://reinforcedearth.com/who-we-are/our-history/>>. Acesso em 28 jan. 2019.

Após anos de pesquisa, Henri Vidal patenteou, em 1963, o dito método de estabilização mecânica de solos como *Terre Armée* e concebeu a empresa de mesmo nome que presta, até os dias atuais, este tipo de serviço (REINFORCED EARTH, 2019).

Com a difusão desta tecnologia pelo mundo, surgiu o experimento de incluir a utilização de elementos compostos de fibras poliméricas, conhecidos como geossintéticos (EHRlich; BECKER, 2009).

Ehrlich e Becker (2009) estabelecem que aplicações empíricas da utilização de geossintéticos como forma de estabilização de maciços de terra já existem no Brasil desde a década de 1970, mas sua normatização veio a ocorrer apenas no ano de 1986 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) com a elaboração da NBR 9.286:1986 (ABNT, 1986), vigorando até outubro de 2014. Como forma de substituição, a ABNT lançou, dois anos após seu cancelamento, a NBR 19.286:2016 (ABNT_2, 2016), sendo atualmente a principal diretriz para a execução este tipo de serviço no país (MURO ARMADO, 2017).

3.1.2 Princípios Teóricos

Vidal (1969) afirma que a fricção entre partículas de solo e os elementos de reforço é a base da teoria da Terra Armada. Armaduras de alta aderência, por vezes corrugadas, introduzidas em um determinado corpo de solo produzem um maciço integrado que resiste a esforços internos de tração e se comporta como um corpo coesivo e monolítico, sendo capaz de suportar elevados carregamentos (MAPARAGEM, 2011).

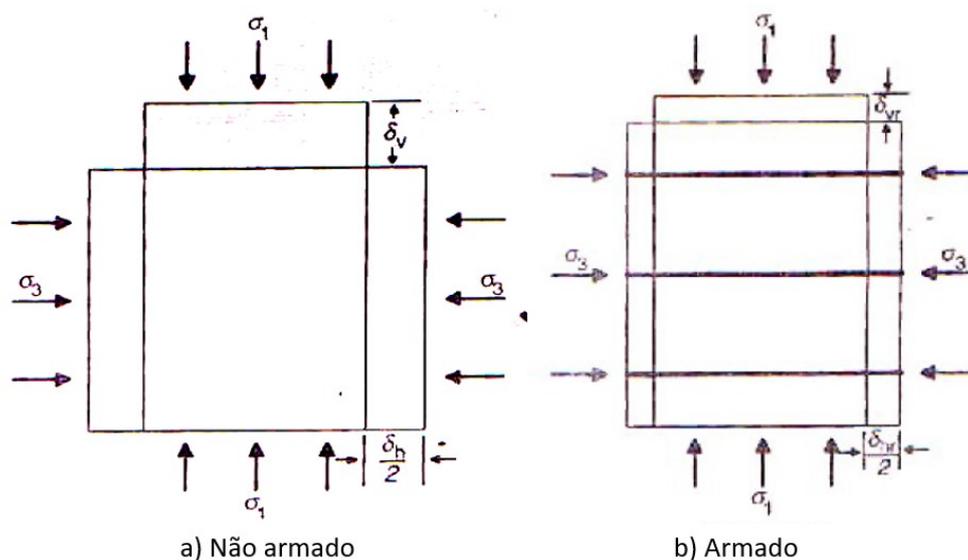
Segundo Farooq (2008), solos possuem baixa resistência interna à tração, mas boa resistência às forças de compressão e cisalhamento. O objetivo de incluir elementos de reforço no solo é absorver os esforços internos de tração e cisalhamento na sua estrutura com o fim de evitar a falha por ruptura ou deformação excessiva. Ehrlich e Becker (2009) definem as inclusões ainda como uma espécie de “costura”, que solidariza a região de solo potencialmente instável com uma região instável.

Farooq (2008) explica isto por exemplificar que, quando um carregamento axial é imposto a um maciço de Terra Armada, é gerada uma tensão de compressão

no sentido da sua aplicação, e uma tensão de tração lateral como compensação. Se o elemento de reforço adicionado tiver uma rigidez axial mais alta do que a do solo, movimentos laterais só serão ocasionados se o solo puder realizar um movimento relativo ao elemento. Este movimento irá produzir um esforço cortante resistente na interface entre o solo do aterro e o elemento de reforço, que será redistribuído de volta ao solo na forma de tensão de confinamento. Desta forma, as tensões internas presentes em um maciço de Terra Armada são mais baixas do que as geradas em solos não reforçados para o mesmo carregamento.

A Figura 3 ilustra um comparativo entre situações de aplicação de tensão axial em um solo comum e solo armado, ou Terra Armada.

Figura 3 – Representação de elementos compostos por solo e solo reforçado em análise comparativa de aplicação de tensão axial.



Fonte: Adaptado de Farooq, 2008.

Ainda sobre a Figura 3, na situação onde não há reforço (a), o solo, quando solicitado a uma tensão axial de σ_1 , responde com uma deformação longitudinal de δ_v e uma transversal de δ_h . Quando há introdução de elementos transversais de reforço (b), há uma alteração significativa nestas deformações, apresentando deformações longitudinais e transversais (δ_{vr} e δ_{hr}) significativamente menores do que as iniciais para a aplicação da mesma tensão σ_1 .

Segundo Vidal (1969), já que elementos de reforço estrutural podem ser dispostos em todas as direções, é razoável considerar que um corpo de Terra Armada pode apresentar coesão em qualquer direção desejada. Desta forma, pode-

se afirmar que é possível a construção de corpos de Terra Armada nas mais diversas geometrias e formatos, como ilustrado na Figura 4, onde se retrata o processo construtivo de um muro de greide em obra rodoviária.

Figura 4 – Construção de um muro de greide em Terra Armada.



Fonte: Página da empresa EngeGround. Disponível em <<http://engeground.com.br/terra-armada/>>. Acesso em 28 jan. 2019.

A título de projeto, Farooq (2008) define que estruturas de terra armada necessitam atender à dois tipos de estabilidade: externa e interna.

A estabilidade externa considera a estrutura como um todo e verifica sua estabilidade quanto ao deslizamento, colapso e quando aplicadas cargas permanentes, variáveis, e outros carregamentos de segunda ordem que agem na estrutura.

A estabilidade interna trata de analisar o que ocorre quanto à esforços de cisalhamento interiores à estrutura, disposição e comportamento dos elementos de reforço (comprimentos de ancoragem dos elementos de reforço - sejam geogrelhas ou fitas metálicas - no interior do maciço) e do próprio aterro (grau de compactação).

3.1.3 Metodologia Construtiva

A VirutHab (2016) resume a execução de estruturas de Terra Armada em quatro principais passos:

- 1º Passo: Posicionamento da primeira fiada de painéis pré-moldados com auxílio de tratores e guindastes para seu içamento, como demonstrado na Figura 5. Esta primeira linha deverá ser posicionada sobre um elemento que sirva como fundação, como uma soleira de concreto apoiada sobre solo compactado.
- 2º Passo: Espalhamento e compactação das camadas de aterro segundo NBR 7.182 (ABNT, 2016). A NBR 19.286 (ABNT_2, 2016) estabelece também alguns cuidados quanto ao material a ser utilizado como aterro, podendo ser de origem industrial ou natural, mas não sendo permitida a presença de detritos orgânicos ou terra vegetal. Além disso, a norma estabelece critérios geotécnicos (ângulo de atrito, granulometria, grau de compactação e teor de umidade de alguns materiais), químicos e eletroquímicos (resistividade, pH e íons de sais solúveis) para o material de aterro. Deve-se cuidar para que se mantenham as posições dos elementos de reforço e painéis de revestimento em fiadas posteriores durante o procedimento de compactação. O procedimento descrito neste passo se ilustra na Figura 5;
- 3º Passo: De forma perpendicular aos painéis, dispõem-se os elementos de reforço estrutural sobre o aterro, com as dimensões expressadas em projeto. Estas armaduras deverão ser previamente tratadas contra a corrosão (no caso de elementos metálicos) e fixadas aos painéis por parafusos. A NBR 19.286:2016 não especifica a distância horizontal máxima entre os elementos de reforço no caso da utilização da tradicional fita metálica, mas a VirtuHab (2016) sugere que estes distem de 75 centímetros entre si. A Figura 5 indica a disposição dos elementos de reforço em um muro de terra armada;

Figura 5 – Execução da Terra Armada



- (1) Içamento das escamas;
- (4) Primeira camada de compactação
- (2) Painéis pré-moldados;
- (5) Disposição dos elementos de reforço
- (3) Terreno natural

Fonte: Adaptado site Construção e Mercado. Disponível em <http://construcaomercado17.pini.com.br/index.aspx>. Acesso em 27 de fev. 2019.

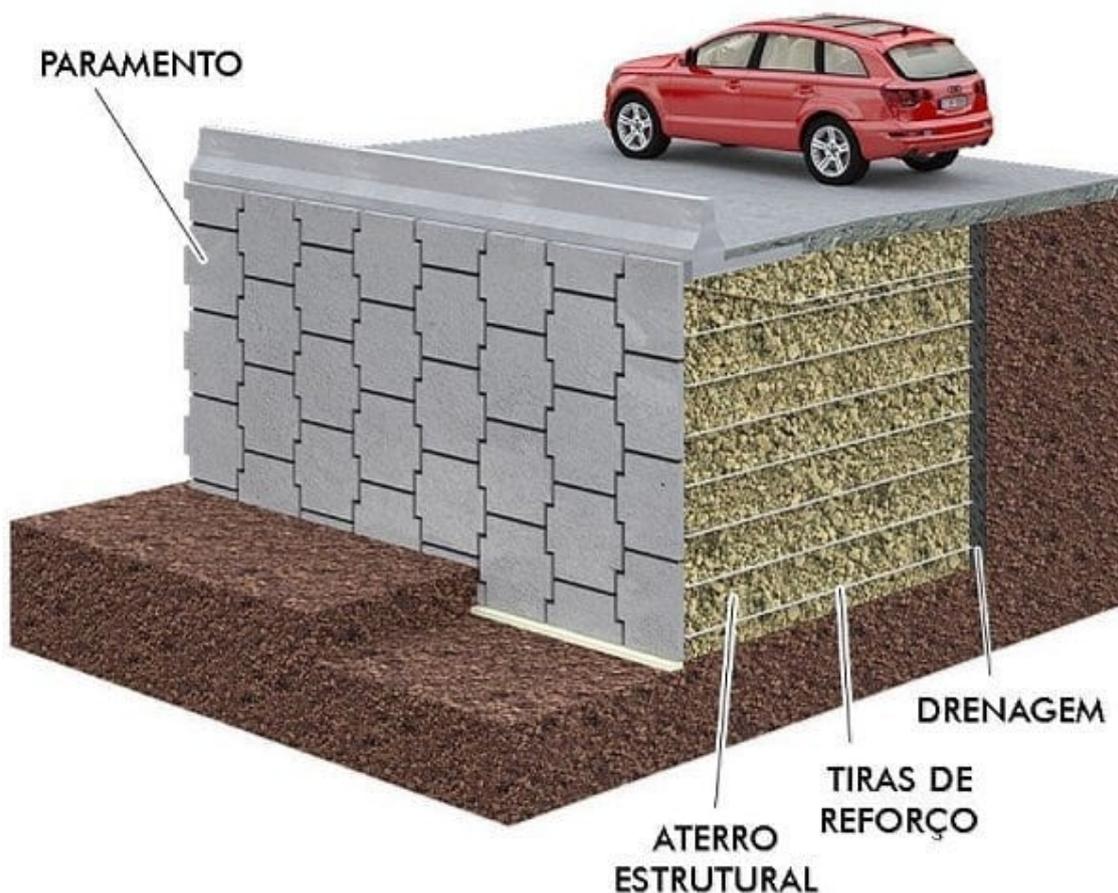
- 4º Passo: Colocação da próxima fiada de painéis de revestimento e repetição do segundo, terceiro e quarto passo até que se atinja o nível desejado (Figura 6), e o resultado final apresentado na Figura 7.

Figura 6 – Imagem ilustrando o passo final do processo de execução da estrutura de Terra Armada.



Fonte: Adaptado do canal no YouTube da Tierra Armada Chile S.A.. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=vVHnL1Wm3DE>. Acesso em 28 de jan. 2019.

Figura 7 – Resultado da execução da Terra Armada



Fonte: Pinterst Brasil. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/153263193554998909/?lp=true>>. Acesso em 22 de jan. 2019.

3.1.4 Vantagens

Vidal (1969) enumera diversos aspectos positivos na utilização da Terra Armada como solução de engenharia para os mais diversos fins. Dentre eles, destacam-se:

- Grande massa: A Terra Armada se destaca por ser tão pesada quanto concreto. Soluções de engenharia frequentemente requerem corpos de grandes dimensões e magnitude que sejam capazes de absorver altos carregamentos. Desta forma, a utilização da Terra Armada para construção de aterros e barragens, por exemplo se apresenta como uma alternativa eficiente à forma convencional, já que não há limite de altura para obras deste tipo (VIDAL, 1969) e não ocupa

tanto espaço em seção transversal quanto as formas convencionais. Quando utilizado como solução para contenção de taludes, se revela eficiente como um muro de gravidade;

- Resistência: Aliada à estabilidade externa do volume armado, confere ao conjunto elevada capacidade de resistir aos mais diversos carregamentos estáticos e dinâmicos (TERRA ARMADA, 2019).
- Flexibilidade: Diferentemente de estruturas de concreto, a massa constituinte de uma estrutura de Terra Armada é basicamente granular e, portanto, altamente flexível, atingindo diferentes estados de equilíbrio de acordo com a solicitação (VIDAL, 1969). Vidal (1969) declara que a flexibilidade é uma característica importante ao tratar-se de estruturas sujeitas a ações sísmicas. Além disso, materiais com deformações plásticas anteriores a um eventual colapso são de grande vantagem na construção civil.
- Simplicidade: Vidal (1969) classifica o procedimento construtivo de estruturas de Terra Armada como simples e rápido, não necessitando de pessoal altamente qualificado para sua execução. Segundo o site da empresa Terra Armada (2019) no Brasil, uma equipe de serviço pode ser formada por até cinco pessoas (três serventes, um encarregado de turma e um operador de içamento de placas) trabalhando junto de uma equipe responsável pela compactação. O rendimento do trabalho pode chegar a 60m² diários, se em condições ideais (TERRA ARMADA, 2019).
- Economia: Vidal (1969) relaciona a simplicidade do processo de montagem à economia gerada com isso em relação a outros métodos mais tradicionais. Maparagem (2013) afirma que a execução da técnica Terra Armada reduz em 30% o custo final da construção em comparação com a técnica Muro de Arrimo por Flexão. Vidal (1969) ainda atesta, que estruturas compostas por Terra Armada utilizadas em autoestradas na França chegaram a custar metade do que se custaria com estruturas de concreto, para o mesmo fim.
- Bom acabamento estético: A *webpage* da Terra Armada (2019) define que as placas de revestimento externo podem ser confeccionadas nos mais diversos modelos, atendendo variadas exigências arquitetônicas e artísticas, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Estrutura de Terra Armada, adornada conforme especificações decorativas e arquitetônicas de projeto.



Fonte: Página da Reinforced Earth. Disponível em <<https://reinforcedearth.com/products/retaining-walls/>>. Acesso em 28 jan. 2019.

3.1.5 Aplicações

Desde sua idealização nos anos de 1960, a empresa *Terre Armée* (que posteriormente, tornou-se o Grupo *Terre Armée Internationale*) vem deixando sua marca nos mais diversos países (TERRA ARMADA, 2019). Isso se deve às muitas vantagens oferecidas por esta tecnologia, sendo aplicável para os mais variados desafios da Engenharia. É possível, portanto, encontrarmos em websites do Grupo *Terre Armée* alguns dos seus principais feitos.

A Terra Armada tem grande aplicação em obras de infraestrutura de transportes, independentemente do modo. Vidal (1969) expressa a importância da sua utilização em obras de infraestruturas rodoviária em estradas franco-italianas como soluções para contenção de taludes, muros de greide e plataformas de suporte. Apresenta, também, a sua aplicação em uma mina de Urânio no Gabão e em estruturas subaquáticas, como em portos e píeres.

No website da *Terre Armée* (2019), é possível encontrar sua aplicação em diversas obras rodoviárias e ferroviárias pelo mundo. É de possível utilização em obras de grandes aterros para a construção de aeroportos, portos, pontes, barragens de reservatórios, muros de britagem, mineração, sítios de interesse para

desenvolvimento imobiliário, instalações industriais, contenção de taludes, estabilização de paredões rochosos, entre outros. A Figura 9 mostra a utilização da Terra Armada em elementos de infraestrutura ferroviária (cabeceiras de viadutos).

Figura 9 – Cabeceiras de um viaduto ferroviário construídas em Vierzon, na França, utilizando Terra Armada.



Fonte: Página da *Terre Armée*. Disponível em <http://www.terre-armee.com/ta/wterrearmee_en.nsf/sb/applications.railways..bridge-abutments-spanning-railway-tracks>. Acesso em 28 jan. 2019.

A Terra Armada se mostra como solução construtiva para um vertedouro de barragem na Figura 10. Neste caso, diminui-se as dimensões ou elimina-se a necessidade da construção de talude à jusante e possibilitando a construção da soleira na crista da estrutura, evitando a necessidade de dispositivos de controle de vazão.

Figura 10 – Ombros de uma barragem construídos utilizando Terra Armada.



Fonte: Página da *Terre Armée*. Disponível em <http://www.terre-armee.com/TA/wterrearmee_en.nsf/sb/applications.dams--reservoirs..reinforced-earth-dams>. Acesso em 28 jan. 2019.

A Figura 11 apresenta a utilização de Terra Armada como muro de britagem de uma empresa mineradora, onde o material destinado a tratamento é receitado à uma cota mais alta, fazendo uso da força da gravidade para a realização do processo de moagem através de dispositivo disposto verticalmente.

Figura 11 – Muros escalonados para instalações de britagem de uma mineradora de diamantes, em Saumurino, Angola.



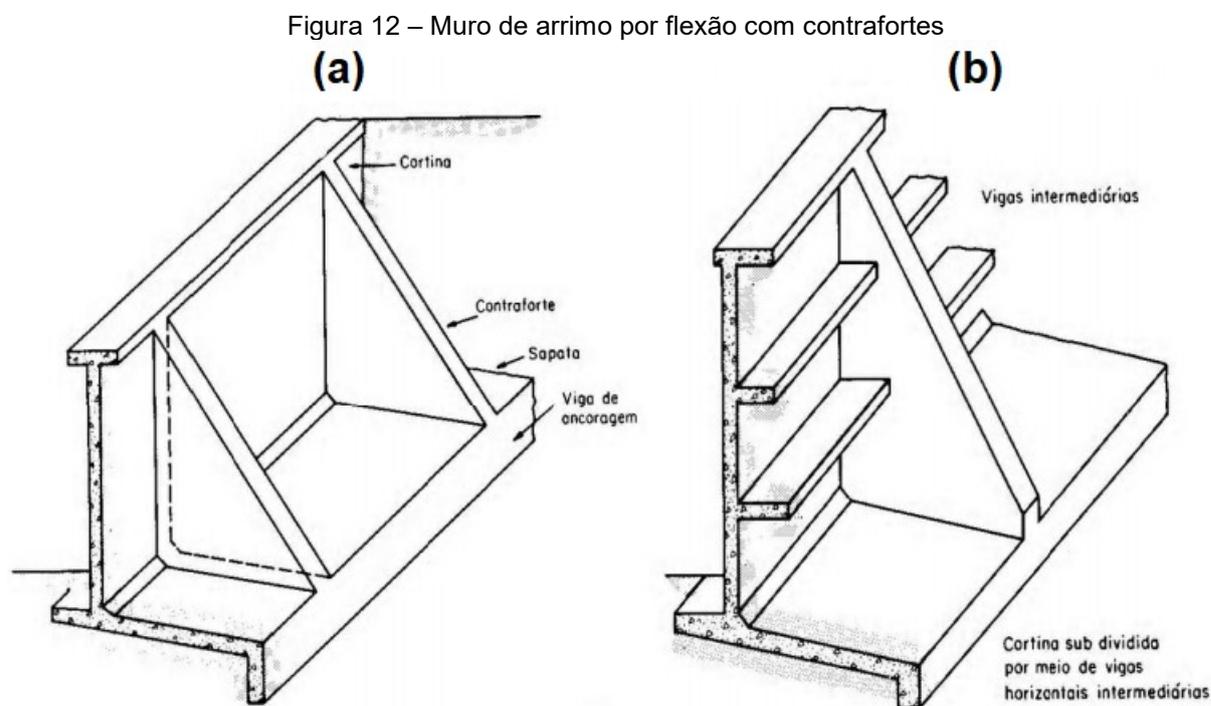
Fonte: Página da Terra Armada. Disponível em <<http://www.terraarmada.com.br/projetos.php?x=753125>>. Acesso em 28 jan. 2019.

3.2 Muro de Arrimo por Flexão

Gercosvich (2010) define que Muros de Flexão são estruturas de concreto armado esbeltas que resistem a empuxos de terra por flexão, utilizando peso próprio do solo de aterramento como elemento de equilíbrio. Segundo Rogers (2014), o muro de flexão pode ser comparado a uma viga em balanço disposta verticalmente. Rogers (2014) declara, também, que estruturas deste tipo foram primeiramente documentadas em obras de infraestrutura na Ferrovia *Chicago, Burlington e Quincy*, nos anos de 1880.

3.2.1 Generalidades

De Souza (2016) explica que muros com altura superior à 5 m, é conveniente a execução de contrafortes, espaçados de 50% a 70% da altura total, com ou sem vigas intermediárias, a fim de aumentar a estabilidade do muro contra o tombamento da estrutura. A Figura 12 mostra contrafortes sem vigas (a) e com vigas (b).



Fonte: Moliterno, 1982.

De Souza (2016) ainda afirma que muros de flexão são constituídos, em geral, por concreto armado puro (salvo construído com blocos de alvenaria estrutural), portanto o seu dimensionamento estrutural é regido pela NBR 6.118 (ABNT, 2014) e NBR 6.122 (ABNT, 2010). Seu dimensionamento geométrico deve atender à NBR 11.682 (ABNT, 2009). Algumas empresas podem oferecer peças pré-moldadas de concreto para este fim. A Figura 13 exibe um exemplo de um muro de flexão em concreto pré-moldado para contenção de um aterro. Nota-se que houve uma pré-escavação e alocação do muro. Posteriormente será feito um reaterro na sua parte traseira.

Figura 13 – Instalação de muro de flexão com elementos pré-moldados para contenção de um aterro. Fotografia da fase anterior ao aterramento.



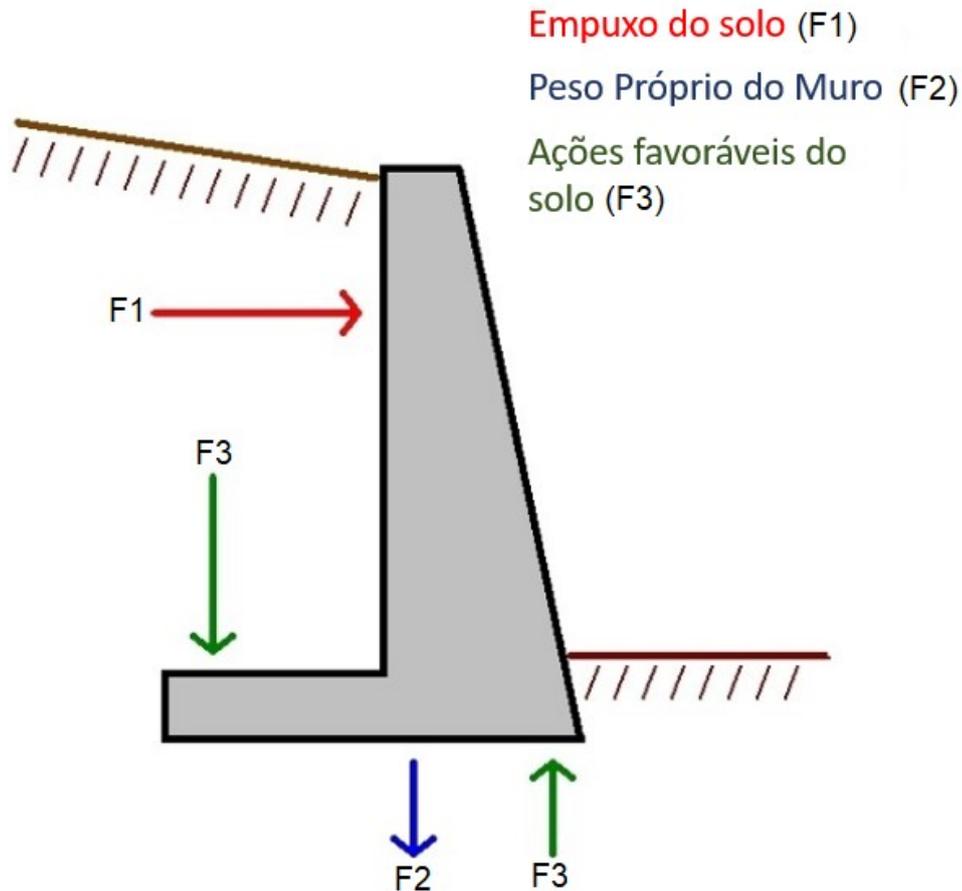
Fonte: Página da empresa Concretlaje. Disponível em <<http://www.concretlaje.com.br/muros-de-arrimo/>>. Acesso em 19 fev. 2019.

3.2.2 Princípio Teórico

Por possuir sua seção transversal em formato de “L”, o peso próprio do material que se apoia sobre sua laje de base colabora com a manutenção do

equilíbrio entre o conjunto muro-aterro sem caracterizar uma estrutura monolítica, diferentemente das estruturas de terra armada (ABNT, 2016). A parede do muro sofre esforços de empuxo do maciço terroso, havendo a necessidade, portanto, de armaduras (DE SOUZA, 2016). A Figura 14 esquematiza como agem as cargas em um muro de flexão.

Figura 14 - Diagrama de forças explanatória sobre muros de flexão;

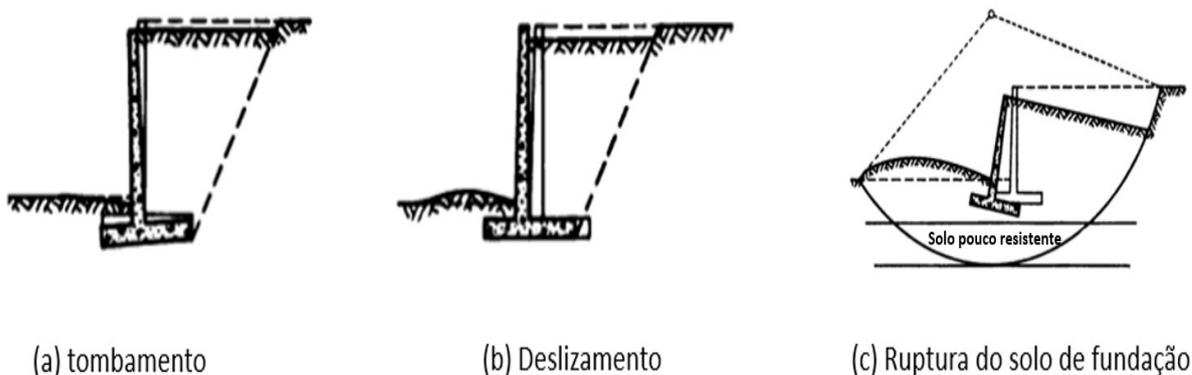


Fonte: Adaptado da Página Alexandrupainat. Disponível em <<http://alexandrupainat.com/retaining-wall-design-examples/retaining-wall-design-examples-medium-size-of-wondrous-retaining-wall-blocks-design-ideas-block-retaining-concrete-retaining-wall-concrete-retaining-wall-design-example-eurocode-7/>>. Acesso em 30 jan. 2019.

A NBR 11.682 define que o dimensionamento geométrico de muros de flexão deverá atender à verificação de estabilidade quanto a seu tombamento, deslizamento e capacidade de carga do solo de fundação (ABNT, 2009). Este procedimento fica facilitado com a utilização de softwares como o *GeoStudio* (GEOSLOPE, 2019), que permite o operador realizar um projeto pessoal da tipologia de muro desejada e aplicar as solicitações necessárias a um cenário de sua escolha. A Figura 15 mostra como se manifestam as eventuais falhas que a NBR

11.682 (ABNT, 2009) apresenta como critérios a serem considerados para dimensionamento geométrico de muros.

Figura 15 - Caracterização dos possíveis efeitos de falha no sistema de contenção.



Fonte: Adaptado de Huntington (1957).

3.2.3 Metodologia Construtiva

Daldegan (2017) resume a concepção de um muro de flexão em concreto armado em doze principais passos, conforme descrito abaixo:

1º Passo – Elaboração do projeto geométrico e estrutural detalhado do muro, contemplando materiais, indicações acerca do sistema de drenagem adotado e especificando cuidados na execução;

2º Passo – No terreno natural, realizar o corte na encosta de modo que este não cause qualquer tipo de incidente nas edificações circundantes ou apresente risco de acidente aos operários;

3º Passo – Escavação da cava de fundação do muro. De Souza (2016) salienta que, usualmente, a fundação da base apresenta largura que varia de 50% a 70% da altura do muro.

4º Passo – Lançamento de lastro de concreto magro no terreno de assentamento da fundação do muro com espessura de, pelo menos, 5cm. Poderá esta camada de concreto ser trocada por uma camada de brita umedecida;

5º Passo – Montagem das armaduras da fundação do muro. Estas deverão conferir à estrutura resistência suficiente à tração que ocorrem durante a vida útil do muro;

6º Passo – Montagem das formas da fundação;

7º Passo – Concretagem da base do muro, cuidando sempre dos procedimentos de vibração e cura;

8º Passo – Montagem das armaduras da parede do muro conforme indicado no projeto;

9º Passo – Montagem das formas da parede do muro;

10º Passo – Montagem e disposição dos dispositivos de drenagem, com o uso de barbacãs (tubos de PVC que cruzam as duas faces da parede). Este procedimento pode ser realizado após a concretagem da parede do muro quando utilizar-se dispositivos tipo geotêxtil;

11º Passo – Concretagem da parede do muro, atentando-se para a altura de lançamento do concreto;

12º Passo – Reaterro do maciço junto ao talude sobre a laje de apoio, respeitando a distância mínima de dois metros do paramento interno da estrutura no caso de utilização de rolos compactadores. Executar, juntamente com reaterro, um filtro granular drenante ou adicionar camada de geotêxtil drenante na interface entre o solo e a parede.

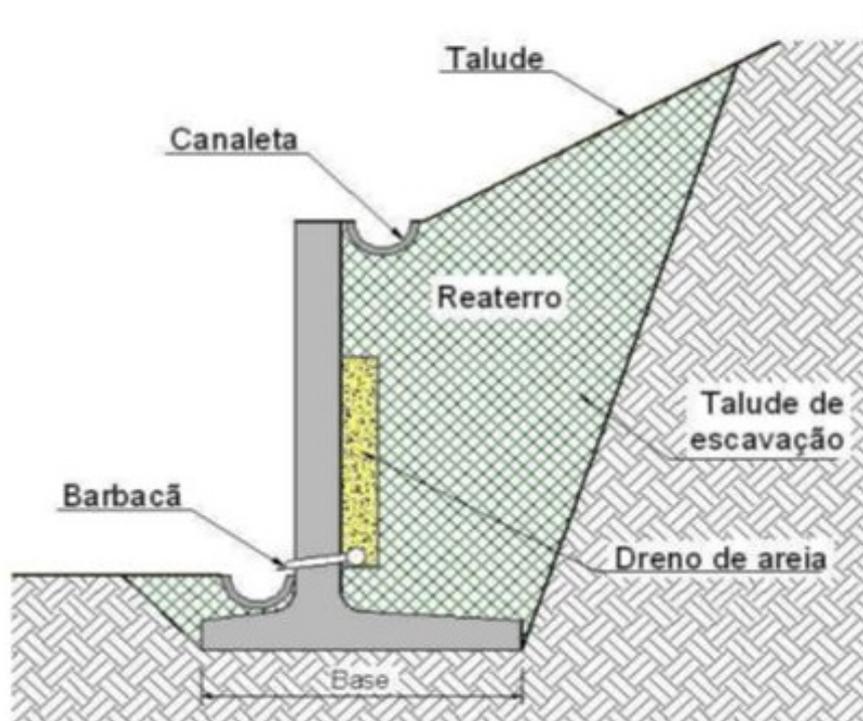
Na Figura 16, é possível verificar a disposição das armaduras antes da concretagem da laje da base e da parede do muro, assim como a montagem da forma. Na Figura 17 é esquematizado a seção transversal sugerida para um muro de arrimo por flexão.

Figura 16 – Montagem da forma / disposição das armaduras



Fonte: Adaptado da Página Geo5. Disponível em <<http://geo5.com.br/desenho-de-muro-de-arrimo/>> Acesso em 02 . 2019.

Figura 17 – Seção transversal de um muro de flexão



Fonte: SECRETARIA DOS TRANSPORTES, 2005.

3.2.4 Aplicações

A técnica de muros de flexão tem sido aplicada na engenharia há mais de cem anos, tanto para contenção de encostas como para de contenção de aterros artificiais. Sua principal vantagem, portanto, é ser um método consagrado, bem estudado e já experimentado por engenheiros de todo o mundo, sendo comprovada, desta forma, a sua eficiência (DE SOUZA, 2016).

Gercosvich (2010) reconhece, embora, que está pode não ser uma solução tão econômica para alturas superiores a 5m devido a necessidade da instalação de robustos contrafortes de tração ou compressão (internos ou externos), consumindo grande quantidade concreto, aço e mão de obra. A Figura 18 mostra um muro de flexão onde foi necessária a construção de contrafortes de compressão.

Figura 18 - Muro de flexão com a utilização de contrafortes externos de enrijecimento.

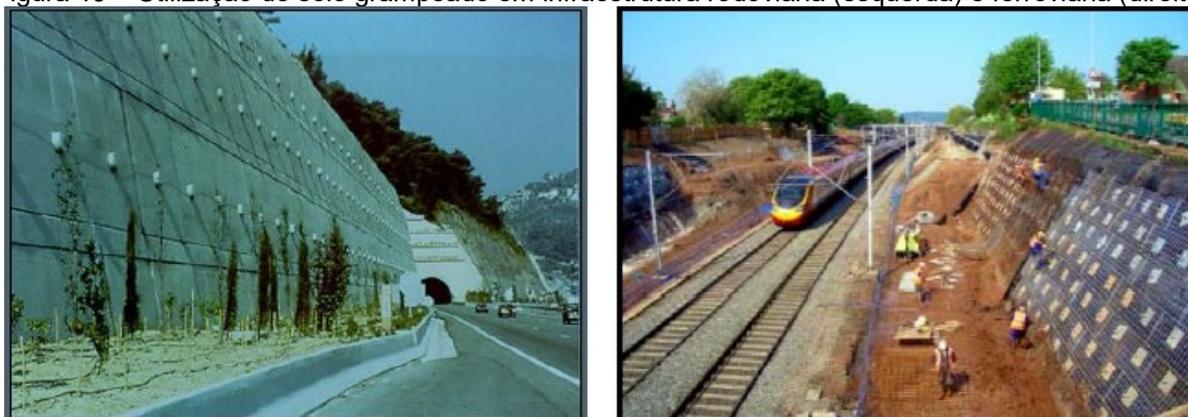


Fonte: Página da Guide Engenharia. Disponível em < <https://guideengenharia.com.br/estruturas-de-contencao-muro-de-arrimo/> >. Acesso em 30 jan. 2019.

3.3 Solo Grampeado

Phrasant e Mukherjee (2010) definem solo grampeado como uma técnica onde encostas, escavações ou paredes de contenção são reforçadas passivamente pela inserção de elementos esbeltos e semirrígidos na massa de solo. Solotrat (2018) estabelece, ainda, que esta técnica é caracterizada por estabilização de massas de solo por meio de chumbadores, acabamento em concreto projetado e um sistema de drenagem que age na estabilização geral do maciço e na estabilidade local, junto ao paramento. A Figura 19 mostra a aplicação desta técnica em obras de infraestrutura rodoviária e ferroviária.

Figura 19 – Utilização de solo grampeado em infraestrutura rodoviária (esquerda) e ferroviária (direita)

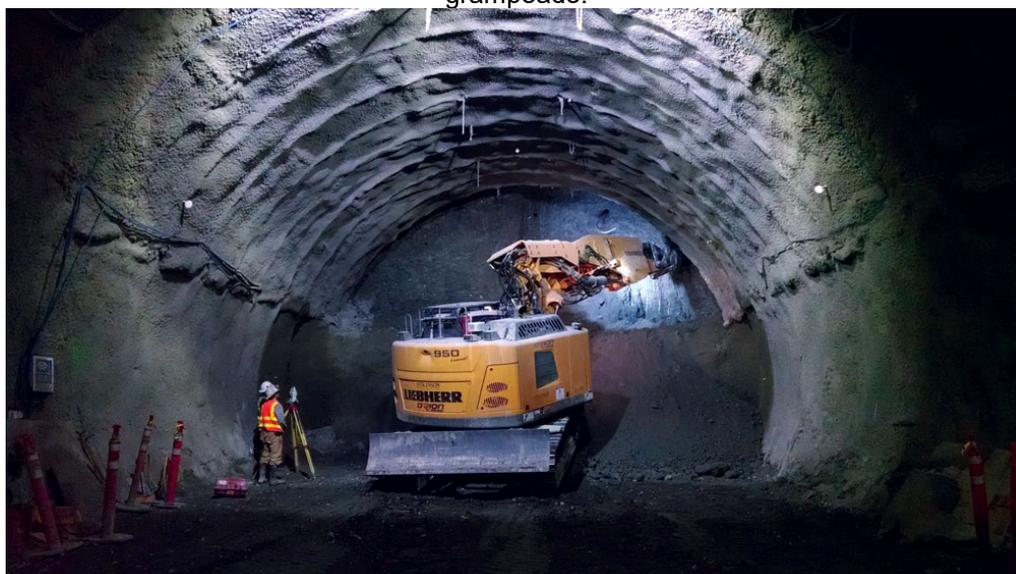


Fonte: Phrasant e Mukherjee (2010).

3.3.1 Generalidades

Bruce e Jewell (1986) indicam que as origens deste método datam dos anos de 1960, quando se concebeu o *New Austrian Tunneling Method (NATM)*. Este trata-se de uma técnica de execução de túneis em rocha de origem austríaca, que alia a tecnologia de concreto projetado à inclusão de elementos metálicos no maciço rochoso, garantindo estabilidade na escavação. Com o melhoramento deste método de execução de túneis, o procedimento, o *NATM* pôde ser aplicado em formações menos estáveis, como em siltes e areias. A Figura 20 mostra a construção de um túnel utilizando o método *NATM*.

Figura 20 – Execução de túnel através do método *NATM*, precursor da tecnologia do solo grampeado.



Fonte: Página Tunnel Business Magazine. Disponível em <<https://tunnelingonline.com/understanding-the-new-austrian-tunnel-method-natm/#prettyPhoto>>. Acesso em 23 jan. 2019.

Bruce e Jewell (1986) descrevem que a empresa francesa Bouygues (2019) adquiriu considerável experiência na construção de túneis utilizando o método *NATM* e puderam perceber que este também poderia ser aplicável para estabilização temporária de encostas rochosas e de solos menos competentes.

Desta forma, em 1972, a *Bouygues*, em uma *joint venture* com a extinta empresa de engenharia *Soletanche*, atual *Soletanche-Bachy* (2019), iniciaram um trabalho de contenção em um talude de areia com inclinação de 70° em uma obra de ampliação de linha ferroviária próximo à cidade de Versailles. Neste caso, Bruce e Jewell (1986) reportam a estabilização de um total de 12.000 m², utilizando 25.000 barras de aço, sendo registrado como o primeiro caso de estabilização permanente de encosta via este método.

Segundo Bolton e Stewart (1990) a técnica não é recomendada para ser executada em aterros, terrenos arenosos ou em locais cujo nível d'água seja muito elevado, já que nessas circunstâncias é dificultoso o processo de construção e implantação dos grampos. O ideal é que seja empregado em taludes naturais ou resultante de escavações.

A NBR 11.682 (ABNT, 2006) inclui esta técnica como uma estrutura de solo reforçado, se considerando-a da mesma categoria em que se encontra a Terra Armada. Atualmente, a ABNT não especifica através de uma norma exclusiva a metodologia de execução do solo grampeado. Contudo, algumas recomendações normativas quanto à aplicação de concreto projetado e proteção anticorrosiva das barras metálicas requerem cumprimento.

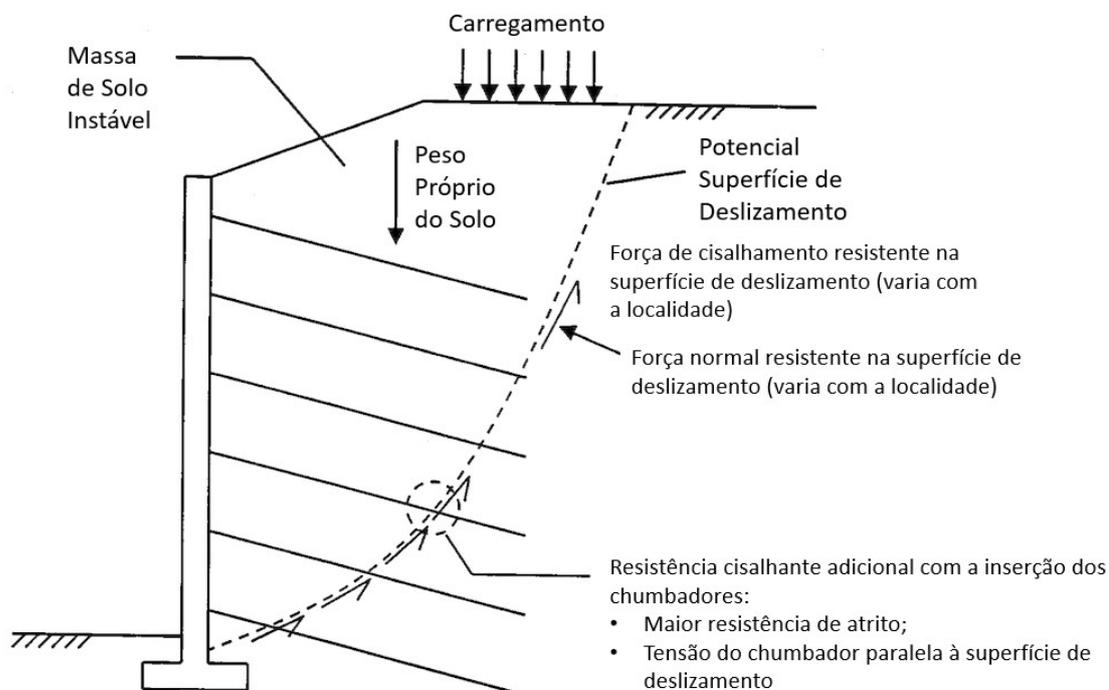
3.3.2 Princípio Teórico

Segundo Tuozzolo (2003) o solo grampeado é representado por uma técnica que aumenta a resistência ao cisalhamento do maciço de solo ou rocha pela adição de elementos passivos (não-protendidos) transversais denominados “grampos”. A tensão que confere este incremento na resistência do conjunto resulta das pequenas deformações laterais do solo que estes grampos suportam conforme o aumento da profundidade de escavação (TUOZZOLO, 2003).

O adicional de resistência ao cisalhamento do solo advém, portanto, do aumento da força de atrito entre a superfície de deslizamento e o maciço do solo

juntamente com forças paralelas à essa superfície. A Figura 21 descreve fisicamente a solução em questão.

Figura 21 – Representação gráfica de esforços em um talude estabilizado por solo grampeado.



Fonte: Página Research Gate. Disponível em <https://www.researchgate.net/figure/Slip-surface-approach-for-analysis-of-soil-nailed-walls-after-FHWA-1996_fig1_272492928>. Acesso em 3 fev. 2019.

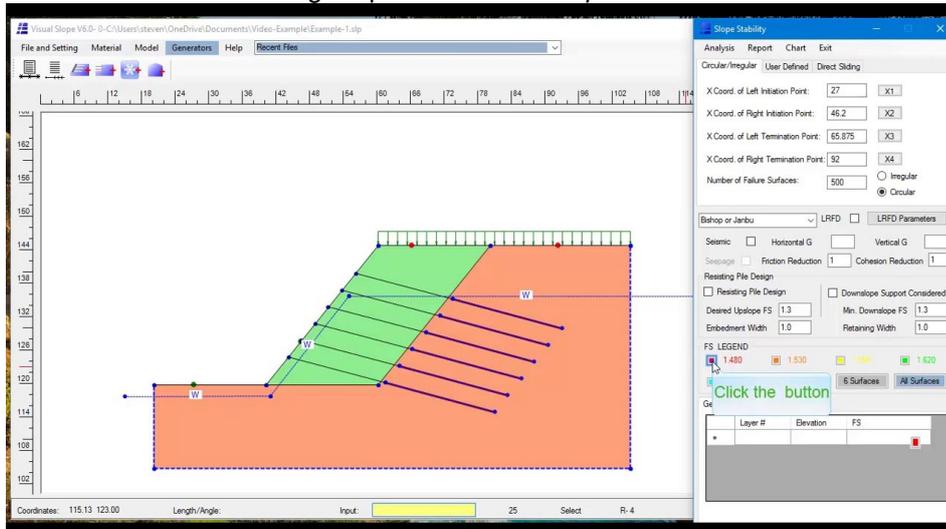
3.3.3 Metodologia Construtiva

Tuozzolo (2003) sugere, em sua publicação, uma sequência de passos para a construção de uma estrutura de solo grampeado, sendo:

- 1º Passo – Primeiramente Solotech (201-?) salienta sobre a importância da concepção de um projeto que utilizando estudos geotécnicos de estabilidade. O dimensionamento dos grampos (chumbadores) poderá ser concebido com o auxílio de *softwares* como *Visual Slope V6* (2019).

A Figura 22 mostra um exemplo de dimensionamento deste tipo de estrutura, onde se insere parâmetros técnicos em relação aos solos de aplicação, solicitação do talude, dimensões dos grampos, entre outros;

Figura 22 – Captura de tela de interface de *software* de dimensionamento de estrutura de solo grampeado - *Visual Slope V6*



Fonte: Canal no *YouTube* do szhou101. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=On0dJcC8EUk>>. Acesso em 3 fev. 2019.

- 2º Passo – Executar a escavação de cima para baixo do terreno, criando taludes autossustentáveis e bancadas de trabalho onde seja possível a acomodação dos equipamentos de execução dos chumbadores e a equipe de trabalho. Sugere-se uma largura de bancada no entorno de 7,5m. No caso da estabilização de taludes naturais, despreza-se a etapa de escavação, executando-se apenas a instalação dos dispositivos de reforço (GERSCOVICH ET AL, 2005). A Figura 23 exhibe a configuração das bancadas de trabalho descritas neste passo.

Figura 23 – Etapa de escavação de terreno para execução de solo grampeado



Fonte: Lima, 2007.

- 3º Passo – Instalação dos chumbadores. Phrasant e Mukherjee (2010) listam alguns métodos utilizados no campo na execução de solo grampeado. Alguns deles não possuem termo equivalente em português. Desta forma, sua designação acaba por ser uma tradução direta do inglês. Estes métodos são:
 - Chumbador de graute (tradicional): executa-se um furo com o diâmetro e comprimento de projeto. Insere-se o elemento de aço no furo em questão. Preenche-se o do furo com graute;
 - Grampo inserido por penetração: neste caso, as barras metálicas são inseridas mecanicamente na face do talude. Se apresenta como um método rápido, mas não oferece proteção necessária contra a corrosão;
 - Chumbador de graute auto-perfurante (broca): graute é inserido através de barras ocas enquanto perfuram o maciço. O elemento de aço é posteriormente inserido;
 - Chumbador por jateamento de graute: graute é jateado para erodir o maciço de solo, criando um furo com fim de instalação dos elementos metálicos;
 - Grampo projetado: as barras de aço são projetadas contra o solo através de um mecanismo de ar comprimido. Neste caso, não há injeção de graute, portanto, este não confere proteção das barras contra a corrosão, tendo estas que serem tratadas previamente contra esta patologia. Este método também se apresenta como incerto quanto ao comprimento de penetração das barras.

Phrasant e Mukherjee (2010) recomendam que os chumbadores deverão ser executados a uma inclinação que varia de 10° a 20° com a horizontal, enterrando a extremidade enterrada para baixo. SOLOTRAT (2018) flexibiliza este intervalo, permitindo que a inclinação dos chumbadores varie de 5° a 30°. Procedimentos de proteção anticorrosiva das barras metálicas deverá seguir conforme a NBR 5.629 (ABNT, 2018). Para finalizar o procedimento da instalação de chumbadores, placas de fixação dos grampos são instaladas na superfície do maciço.

A Figura 24 mostra um dos possíveis métodos da instalação dos chumbadores em um muro de solo grampeado. Neste caso, é descrito um chumbador de graute;

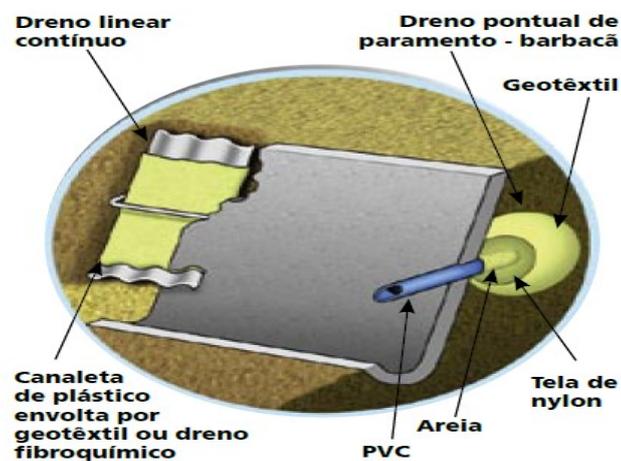
Figura 24 – Instalação dos chumbadores no talude a ser estabilizado



Fonte: Lima, 2007.

- 4º Passo – Execução do sistema de drenagem interna do talude, com a instalação de drenos horizontais profundos (DHP) de areia ou com fim de captar água do interior do maciço e conduzi-la para fora o rumo do paramento, onde escoa para fora da estrutura por meio de barbacãs (SOLOTECH, 201-?). Esta etapa poderá ser realizada juntamente com a instalação dos chumbadores, caso seja conveniente. A Figura 25 detalha a parte superficial de um dispositivo de drenagem interna de talude e alguns de seus elementos;

Figura 25 - Detalhe de um possível sistema de drenagem de um muro estabilizado por solo grampeado



Fonte: Solotrat, 2018.

- 5º Passo – Aplicação do concreto projetado. Este passo poderá ser adiantado caso haja instabilidade da face do talude, realizando a instalação dos chumbadores após este processo. Solotrat (2018) afirma que este procedimento deverá ser executado conforme as NBR 13.044 (ABNT, 2012), NBR 13.069 (ABNT_2, 2012), NBR 13.070 (ABNT, 2012_3), NBR 13.317 (ABNT, 2012_4), NBR 13.354 (ABNT_5, 2012).

Solotech (201-?) sugere a utilização de fibras sintéticas de polietileno ou aço na mistura de concreto projetado para ajudar o concreto a fixar-se à superfície sem a necessidade de instalação de uma armação de aço eletrossoldada. A aplicação do concreto projetado na superfície do muro é retratada na Figura 26.

Figura 26 – Aplicação de concreto projetado na face do talude



Fonte: Lima, 2007.

3.3.4 Vantagens

A técnica de grampeamento de solo tem se revelado como extremamente vantajosa em relação a variados fatores, sendo alguns deles:

- Economia: Phrasant e Mukherjee (2010) afirmam que solo grampeado se revela como uma solução mais econômica do que muros de contenção de

gravidade ou de flexão. Bruce e Jewell (1986) acrescenta que o solo grampeado apresenta uma economia que varia entre 10% e 30% quando comparado a outros métodos, como as paredes diafragma;

- Ambiental: A utilização de solo grampeado se apresenta como uma solução de contenção menos agressiva ao meio ambiente inclusive por não necessitar de grandes intervenções no tráfego para sua construção (PHRASANT; MUKHERJEE 2010);
- Equipamentos: Bruce e Jewell (1986) declaram que os equipamentos utilizados na execução de solo grampeado têm relativamente pequenas dimensões, são fáceis de transportar e até silenciosos em comparação com outros equipamentos utilizados em obras de contenção. Estas características tornam esta técnica ideal para aplicação em áreas urbanas (onde podem ocorrer certas limitações quanto a ruído, vibração e alcance à área a ser estabilizada) ou rurais (onde o transporte de grandes equipamentos para regiões afastadas remotas possa ser um obstáculo). A Figura 27 mostra exemplos de equipamentos utilizados na execução deste método;

Figura 27 – Exemplos de equipamentos utilizados em muros grampeados. (a) mostra a execução de uma parede revestida com concreto projetado, (b) mostra que a perfuratriz de instalação de chumbadores pode adaptar-se a lugares estreitos e de dificultado acesso.



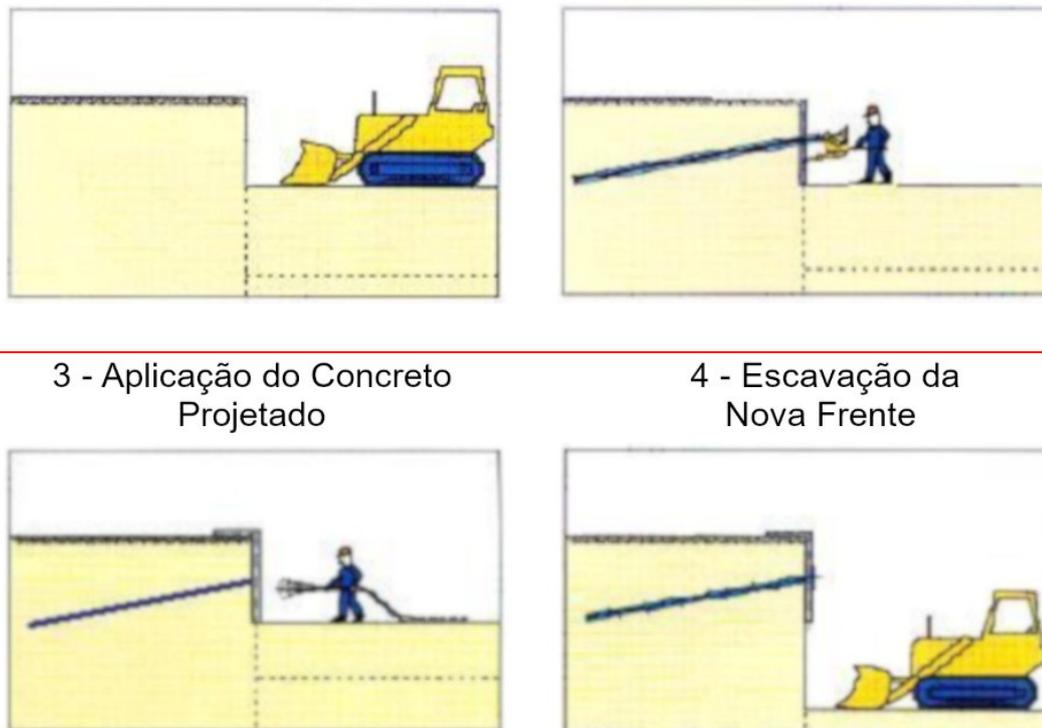
(a)

(b)

Fonte: (a) Solotrat, 2008; (b) Phrasant e Mukherjee, 2010.

- Construção facilitada: É dividida em três etapas principais, conforme demonstrado na Figura 28, sendo a escavação o primeiro passo, sucedido pela instalação dos grampos e finalizando com a estabilização do paramento. Há também a possibilidade de se executar através de pequenas faixas de escavação, dispendo do aumento na estabilidade no maciço durante o processo construtivo.

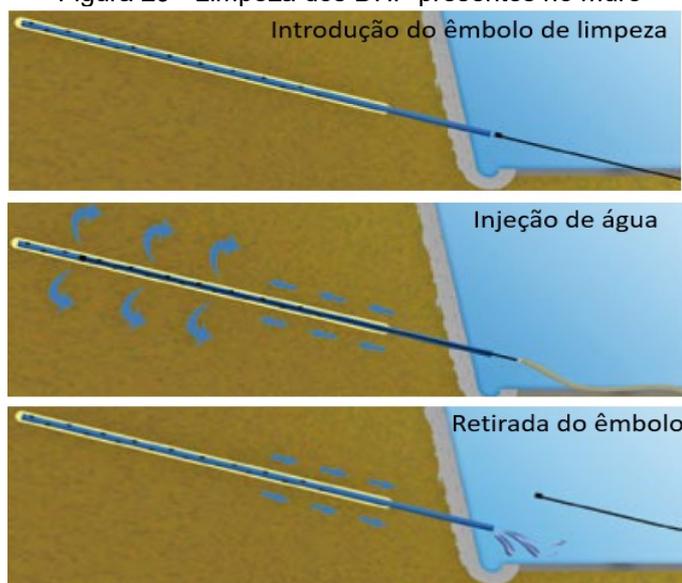
Figura 28 – Etapa executiva do Solo Grampeado
1 - Escavação 2 - Instalação dos Grampos



Fonte: Adaptado pelo autor de SOLOTRAT, 2018.

- Performance: Os chumbadores são relativamente flexíveis e suportam movimentos de acomodação do maciço sem causar deflexões notáveis no terreno, tendo boa performance, inclusive em áreas onde eventos sísmicos ocorrem com recorrência (PHRASANT; MUKHERJEE 2010);
- Fácil Manutenção: Solotrat (2018) afirma que muros de solo grampeado não exige procedimentos complicados de manutenção. Salienta-se que há de se alertar para a presença de eventuais manchas de umidade que aparecem na face do concreto, necessitando, neste caso, a perfuração e investigação no local, apurando a existência de eventuais falhas no sistema de drenagem. Se necessário, pode ser instalado um DHP posteriormente a fim de eliminar a umidade local. É conveniente, também, a limpeza periódica dos DHP por injeção de água (SOLOTRAT, 2018), conforme é exibido na Figura 29.

Figura 29 - Limpeza dos DHP presentes no muro



Fonte: SOLOTRAT, 2018.

3.3.5 Aplicações

Alguns fatores deverão ser avaliados quanto à utilização do solo grampeado como artifício de contenção. Tuozzolo (2003) indica situações geotécnicas que favorecem a aplicação do grampeamento de solos como em rochas sedimentares (tilito), rochas intemperizadas, areias, solos residuais e solos naturalmente coesivos. E situações que deve se ter uma atenção maior, como em aterros artificiais, argilas muito moles, argilas muito plásticas, solo granulares com o número de SPT abaixo de 10 à 15, argilas expansivas e em presença de elevado lençol freático.

Segundo apresentado por Lima (2007), as principais aplicações do solo grampeado são:

- Estabilização de taludes naturais potencialmente instáveis;
- Contenção de escavações temporárias ou permanentes. Aplicável no caso de obras subterrâneas, como estacionamentos e fundações, cortes para implantação de dispositivos de infraestrutura viária;
- Recuperação de estruturas de contenção já existentes, como estruturas de Terra Armada (substituição de tiras ou conexões sobrecarregadas), muros de flexão (no caso de rupturas causadas por deterioração ou movimentos

acentuados de terra à montante do muro) ou cortinas atirantadas (após o colapso dos elementos protendidos por deterioração ou sobrecarga);

- Obras de infraestrutura rodoviária e ferroviária.

Lima (2007) também cita que esta tecnologia também se aplica a realização de cortes de terrenos em aclive com fim de proporcionar usufruto de um domínio mais plano. A Figura 30 ilustra esta situação, onde há utilização da técnica de solo grampeado para corte e planificação de terreno;

Figura 30 - Corte de terreno e contenção de talude com solo grampeado



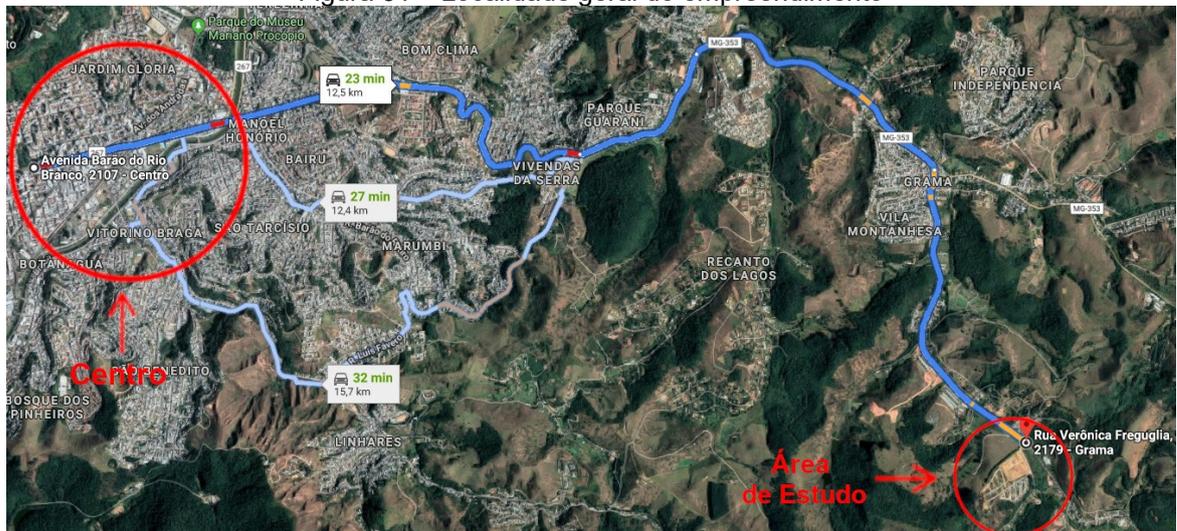
Fonte: Página da Reforça. Disponível em <https://www.reforca.com.br/abismo-x-solo-grampeado-metodo-de-calculo-yen-muro-de-arrimo/>. Acesso em 4 fev. 2019.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Apresentação da área de estudo

O talude analisado neste trabalho pertence ao empreendimento residencial multifamiliar de um condomínio de casas, denominado “Triunfo Garden”, que está sendo construído através do programa Minha Casa, Minha Vida. A obra situa-se na Rua Verônica Freguglia (Granjas Triunfo), bairro Grama, na cidade de Juiz de Fora. A Figura 31 indica a localização do empreendimento em relação ao centro da cidade, e na Figura 32 delimitação dele.

Figura 31 – Localidade geral do empreendimento



Fonte: Adaptado pelo autor de Google Maps (2019).

Figura 32 – Vista superior do empreendimento / local da contenção a ser estudada

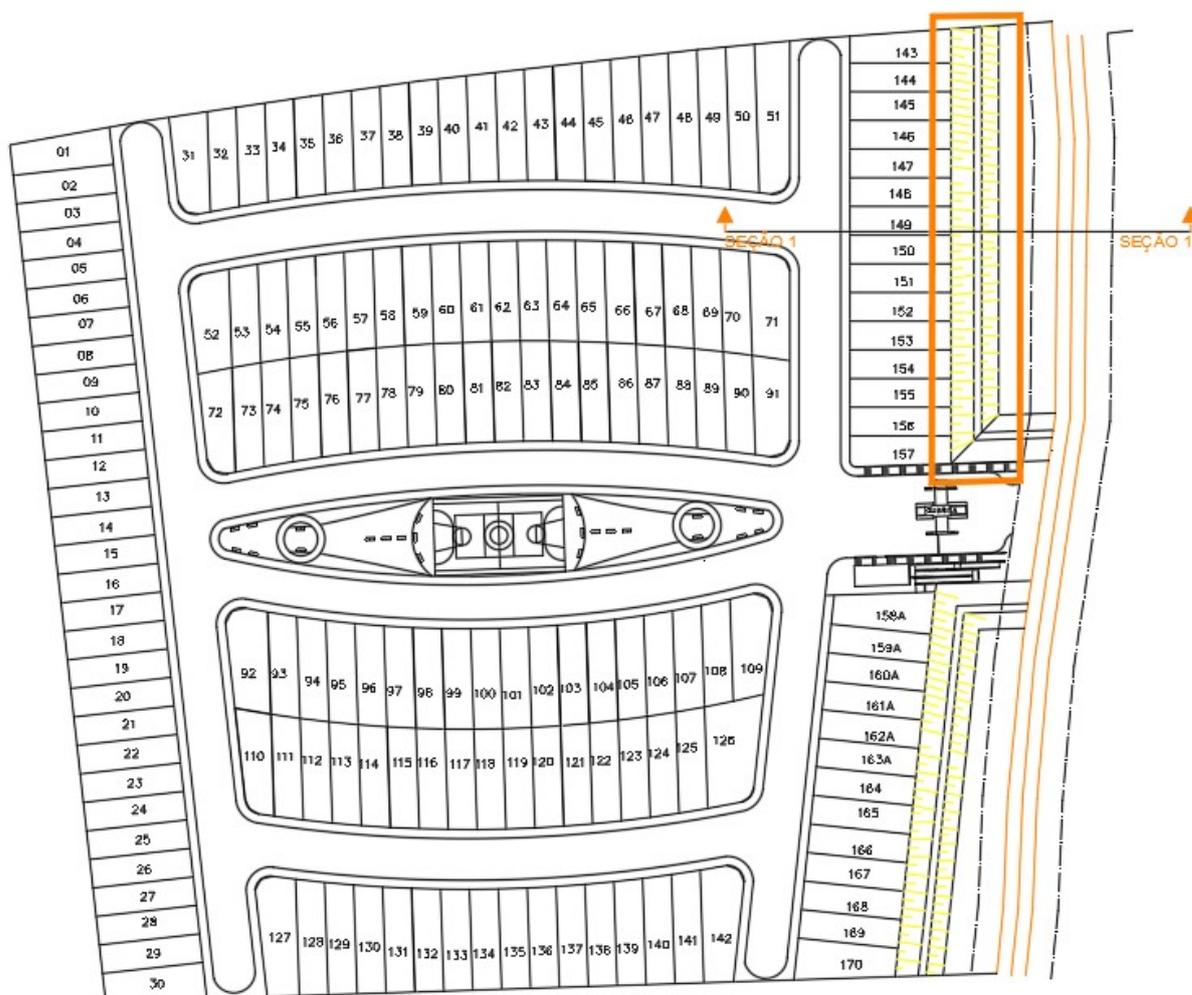


Fonte: Adaptado pelo autor de Google Maps (2019).

A Figura 32 ainda destaca a seção onde haverá a necessidade da realização de um estudo para contenção de talude, sendo este o objeto de análise do trabalho.

Inicialmente, o projeto do empreendimento era composto somente de residências, sendo necessário apenas a execução de taludes artificiais para estabilização do aterro afim de garantir a mobilização do empreendimento. Posteriormente, acrescentou-se no projeto inicial um espaço para lojas, carecendo assim de um corte em uma seção do aterro, que fora executado inicialmente, para aumentar a área de locação das lojas. Na Figura 33 é possível compreender o projeto do empreendimento mencionado anteriormente, e ainda destaca a localização dos taludes citados.

Figura 33 – Seção onde está localizado os taludes artificiais



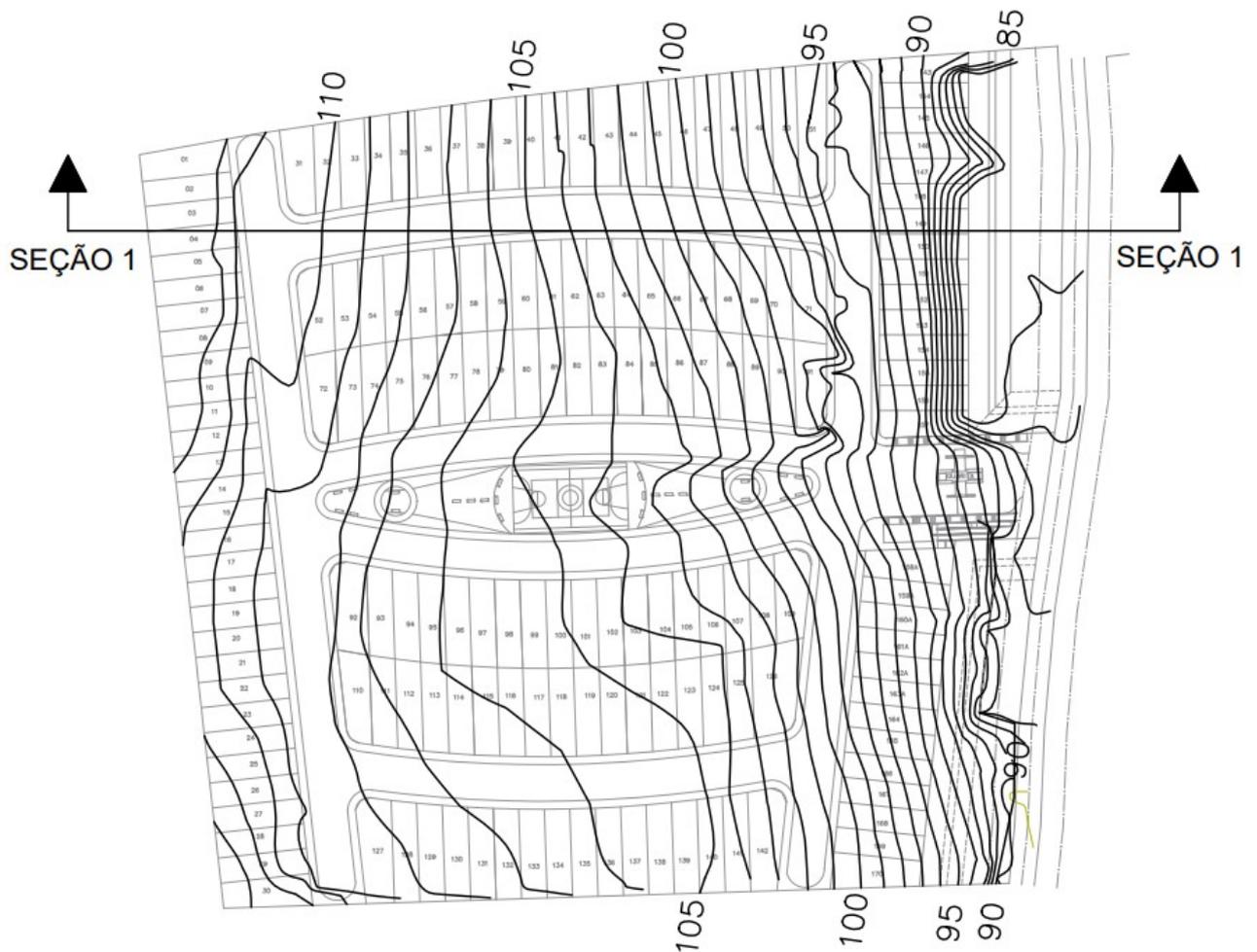
Fonte: Adaptado pelo autor de arquivo do Projeto Executivo

O item 4.2 mostrará detalhadamente a topografia do local, para melhor entendimento referente ao que foi abordado neste contexto.

4.2 Topografia local

A geometria da área de estudo a ser apresentada, foi obtida por levantamento topográfico realizado no ano de 2017. A partir das curvas de níveis apresentadas na Figura 34, é possível identificar a região com maior relevo.

Figura 34 – Curvas de nível

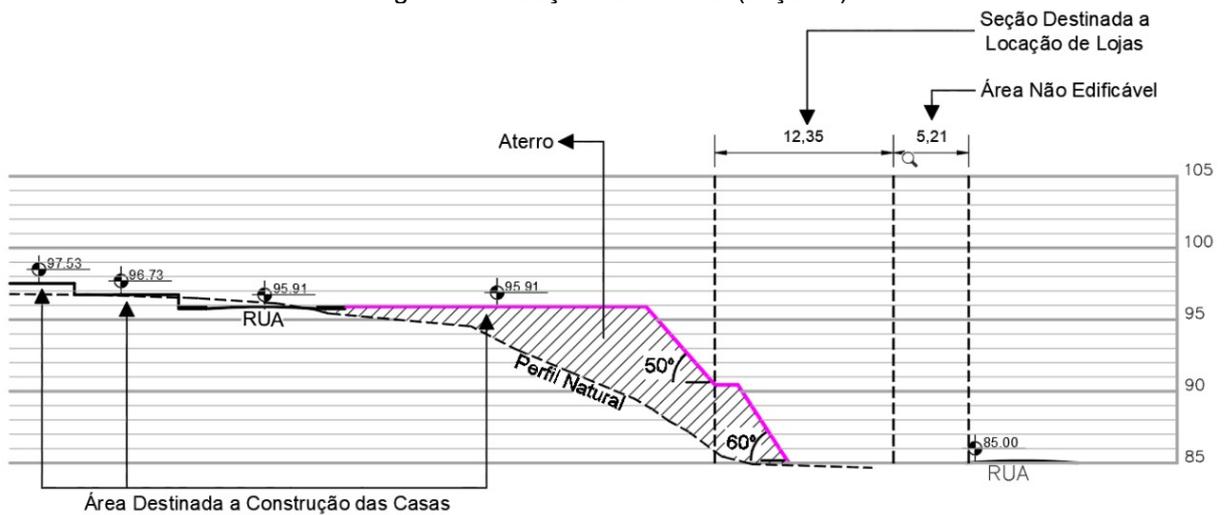


Fonte: Adaptado pelo autor de arquivo do projeto executivo

Conforme o relevo apresentado na região íngreme do terreno, necessitou-se para locação do projeto inicial a realização de um aterro com execução de taludes, com inclinação de 50° e 60°. É

apresentado na Figura 35 e na Figura 36, o perfil da área de estudo e a geometria atual, respectivamente.

Figura 35 – Seção transversal (seção 1)



Fonte: Adaptado pelo autor de arquivo do projeto executivo.

Como não foi previsto a área necessária para locação de lojas, foi executado então todo o aterro, sendo este destacado na Figura 35, conforme pode-se verificar na Figura 36. Ainda na figura 35 é possível compreender onde serão locados a construção das casas do projeto inicial e a seção onde planejam locar as lojas.

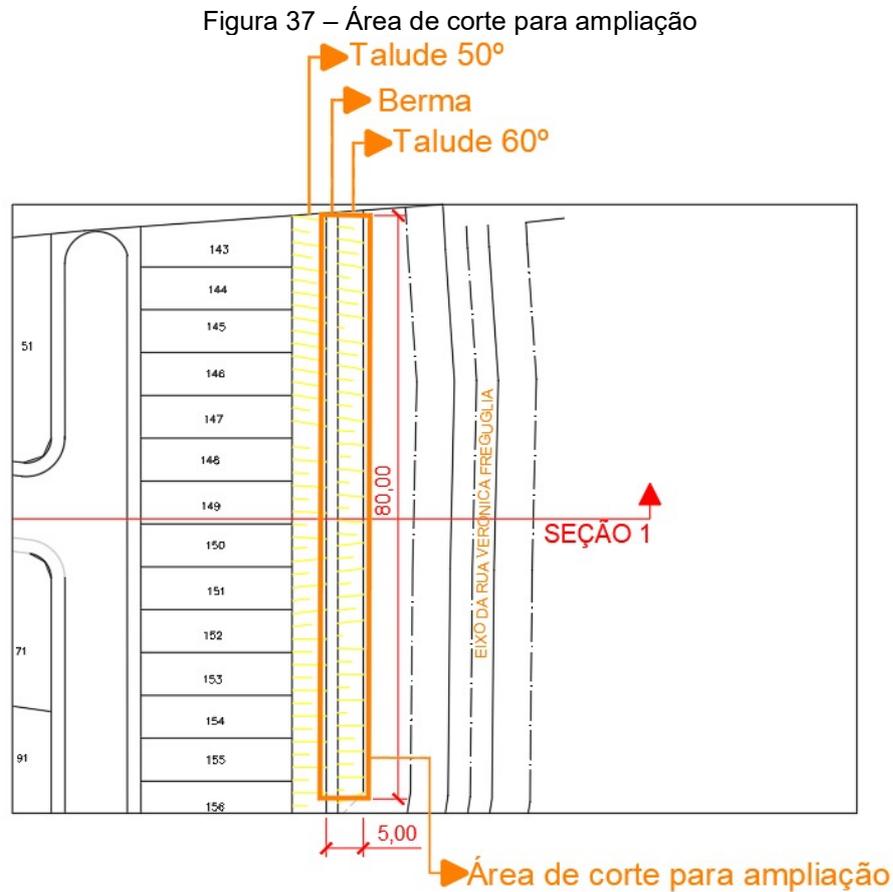
Figura 36 – Geometria atual do terreno



Fonte: Adaptado pelo autor de Youtube, Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3O3RtAY83ro>>. Acesso em 03 de mai. 2019.

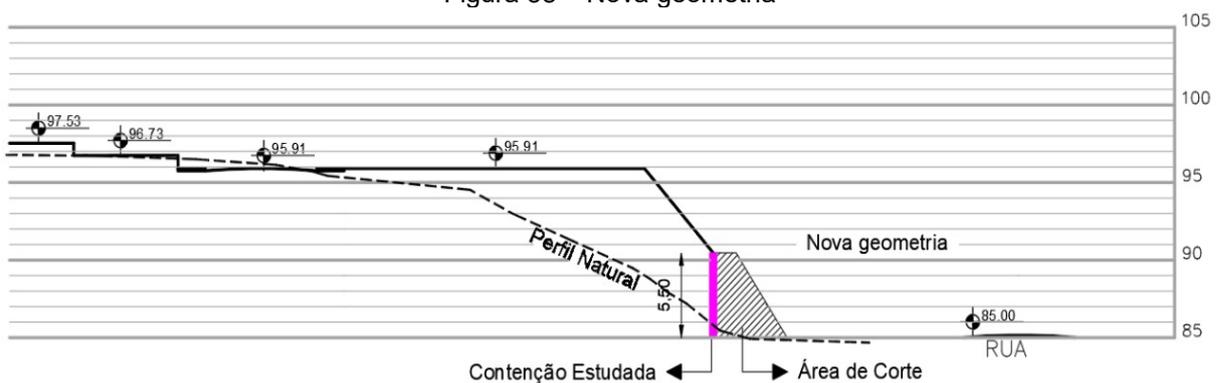
No local onde haverá aumento da área de construção para as lojas (Figura 37), faz-se necessário corte na geometria existente de 60°, alterando-a para 90°, conforme demonstra na Figura 38. A largura e extensão desse corte é de

aproximadamente 5 e 80 metros respectivamente, conforme representado na Figura 37.



Fonte: Adaptado pelo autor de arquivo do projeto executivo.

Figura 38 – Nova geometria



Fonte: Adaptado pelo autor de arquivo pessoal do projeto executivo.

Portanto, com a nova geometria acentuada, será necessária uma análise geotécnica de estabilidade deste talude. Caso o FS encontrado seja menor que o FS_{min} exigido pela NBR 11682, será indispensável a realização de uma contenção.

4.3 Classificação do solo

Para a identificação do tipo de solo referente ao local de estudo foram utilizados alguns métodos de análise tátil visual citados na NBR 7250:1982 (ABNT, 1982) pois houve uma carência de informações técnicas referentes a sondagem para sua classificação. Ressalta-se, que conforme o projeto executivo, o aterro realizado no local de estudo é oriundo do solo *in loco*, devido as seções de cortes existentes no projeto, onde está sendo executado o empreendimento. Os procedimentos foram realizados em partes das amostras coletadas no próprio local (Figura 39):

Figura 39 – Local de retirada da amostra



Fonte: Arquivo pessoal do engenheiro José Maria.

- ✓ Tato: consistiu na fricção da com os dedos, permitindo assim a separação do solo grosso (areia e pedregulho) do solo fino (argila e silte);
- ✓ Dilatância: este teste permitiu a obtenção das informações sobre a velocidade de movimentação da água dentro da amostra. Para isso, preparou-se uma parte da amostra umidificada, com mais ou menos 15 mm de diâmetro. Em seguida a amostra foi distribuída uniformemente sobre a palma da mão afim de se iniciar o teste com a movimentação horizontal. Para isso bateu-se a lateral da mão diversas vezes com a lateral da outra mão para que se pudesse observar o tempo de surgimento da lâmina d'água na superfície da amostra. O segundo passo consistiu em curvar a palma da mão para exercer uma leve compressão sobre a amostra,

observando o tempo de desaparecimento da sua lâmina d'água. O aparecimento desta lâmina durante a fase de vibração, assim como seu desaparecimento durante a compressão e o tempo de incidência, foi comparado com a Tabela 1.

Tabela 1 – Teste de Dilatância

Descrição da Ocorrência de Lâmina de D'água durante		
Vibração (aparecimento)	Compressão (desaparecimento)	Dilatância
Não há mudança visível		Nenhuma (argila)
Aparecimento lento	Desaparecimento lento	Lenta (silte ou areia argilosa)
Aparecimento médio	Desaparecimento médio	Média (silte ou areia siltosa)
Aparecimento rápido	Desaparecimento rápido	Rápida (areia)

Fonte: Página da Universidade Federal da Paraíba. Disponível em <<http://www.ct.ufpb.br/~celso/solos/material/teoria1>>. Acesso em 02 de maio de 2019.

Na amostra coletada e utilizada nos testes, foi constatado que na fase tátil o solo predominante na separação foi um solo fino. No teste de dilatância não foi observado nenhuma mudança visível referente ao aparecimento ou desaparecimento da lâmina d'água, com isso, de acordo com a Tabela 1, o resultado obtido foi um solo de origem argiloso.

Além da classificação do tipo de solo, houve também a necessidade de categoriza-lo de acordo com a sua compressibilidade, já que este é um fator que faz com que o maciço de terra mude de volume, mantendo sua forma, ao lhe aplicar uma carga. A variação deste volume irá depender da taxa de permeabilidade, que no caso de solos argilosos a saída de água é lenta devido à baixa compressibilidade e, portanto, a variação volumétrica resulta do tempo de escoamento. A velocidade de condução dos líquidos afeta no estado de equilíbrio do maciço sob as cargas que nele são aplicadas (GURGEL, 2018).

Portanto, através dos testes realizados pelo método tátil visual e a definição sobre compressibilidade, foi constatado que o solo presente, no local escolhido para o estudo de viabilidade técnica-econômica referente a contenção do talude, é predominantemente formado por argila residual de cor alaranjado e de baixa compressibilidade.

4.4 Parâmetros geotécnicos

O solo do local de estudo conforme apresentado no item 4.3, é classificado como argila de baixa compressibilidade. Através desta classificação, foi extraído do livro de Erlich e Riccio (2006) os valores referentes aos parâmetros geotécnicos, sendo estes apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros Geotécnicos Conservativos de Solos Brasileiro

Classific. Unif.	GC (%)	γ_m^1 (kN/m ³)	Φ^2 (°)	C ³ (kPa)	K	N
	100	19	28	25	200	0,45
CL⁴ (Clay Low)	95	18	28	20	170	0,45
	90	17	28	15	140	0,45
	85	16	28	10	100	0,45

Fonte: Adaptado de Marques, Erlich e Riccio (2006).

A adoção do grau de compactação foi feita a partir do fornecido em projeto, pois o talude referido não é de classe natural e sim oriundo de um aterro executado no local ao procto de 95%.

Então, com a classificação e grau de compactação definidos, obtivemos pela tabela de Marques, Erlich e Riccio (2006) os valores referentes aos parâmetros geotécnicos conservativos característicos de solos brasileiros, são:

$$\gamma_m = 18 \text{ Kn/m}^3; \Phi = 28^\circ; C = 20 \text{ kPa}$$

Os valores extraídos serviram como base adotada para determinação do FS conforme a contenção, das técnicas em análise e comparação, construídas com o apoio do software Rocscience Slide.

¹ γ_m : Peso Específico

² Φ : Ângulo de Atrito

³ C: Coesão

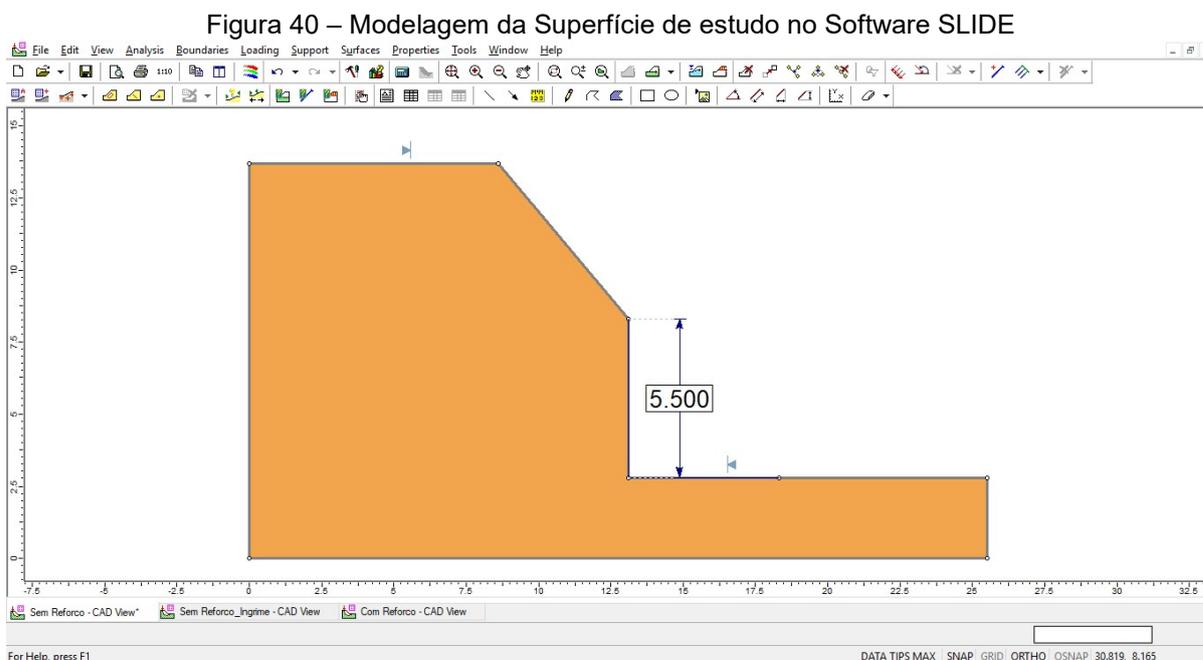
⁴ Clay: Argila / Low: Baixa

5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DO TALUDE

Para a análise de estabilidade do talude sem reforço demonstrado no item 4.2 (Figura 38), foi utilizado o software Rocscience SLIDE.

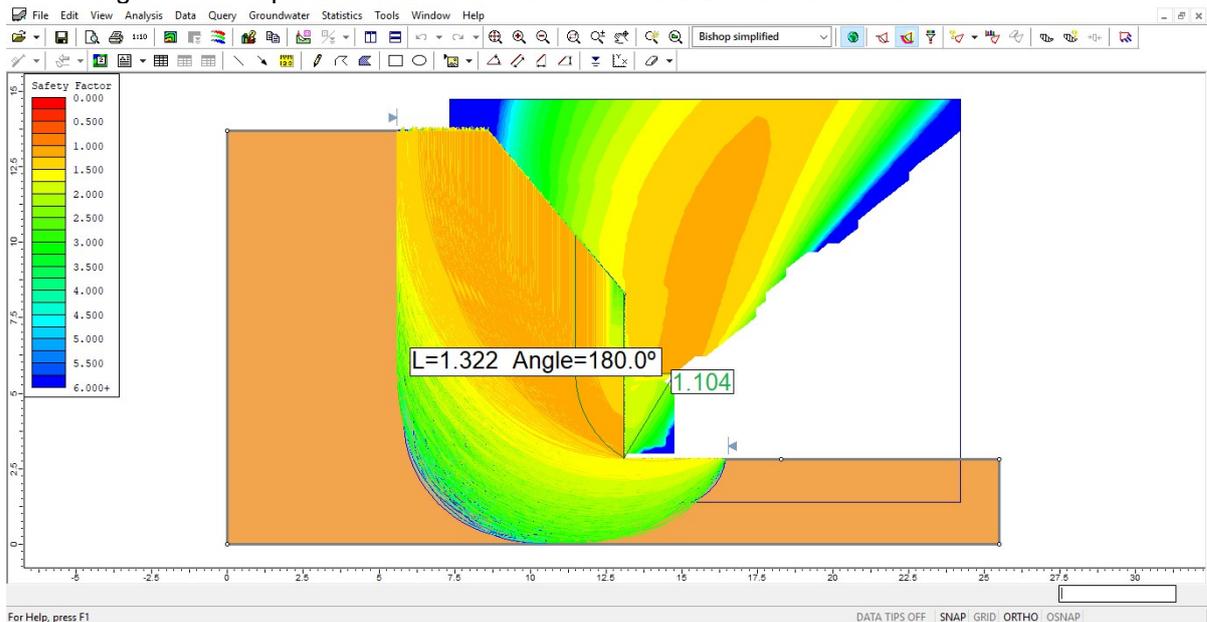
Essa análise teve como objetivo avaliar a possibilidade de ocorrência de escorregamento da massa do solo presente de acordo com o resultado do FS. Como mencionado no item 4.2, em caso de resultado com $FS < FS_{\min}$ (NBR 11.682), será necessário a realização de uma contenção para estabilização do talude.

Uma modelagem de perfil de solo foi realizada utilizando os parâmetros geotécnicos resultante do item 4.4 e a partir da geometria da superfície atual de estudo, conforme demonstrado na Figura 40.



Após definir os materiais e a superfície, foi feita a verificação da estabilidade interna apresentado o FS, com resultado expresso na Figura 41.

Figura 41 – Captura da interface do Software SLIDE – Análise de estabilidade



Fonte: Própria.

Conforme verificação apresentada na Figura 41, o FS resultante foi de 1.104. Porém, segundo o item 6.2.5.1.3 da NBR 11682 – Estabilidade de taludes (ABNT, 1991) afirma que o FS mínimo exigido é 1,5. Neste cenário, para atender as exigências da norma referida, houve a necessidade de uma estabilização de talude, com isto, um estudo de viabilidade técnico-econômica referente a alternativas de contenção foi realizado para adoção do método que tem o melhor custo benefício.

6 APRESENTAÇÃO ORÇAMENTARIA

6.1 Levantamento quantitativo

Por este trabalho não ter como mérito o dimensionamento de execução das estruturas, a utilização dos softwares Rocscience Slide e Muro em Balanço serviram como apoio para realização de pré-dimensionamento de suas geometrias, com o objetivo de obter uma estimativa dos quantitativos de alguns elementos estruturais do reforço, além de adotar parâmetros referentes a trabalhos semelhantes.

Foi utilizado o software "Muros em Balanço" da Multiplus para estimar o quantitativo da técnica Muro de Arrimo por Flexão. Este programa foi desenvolvido para cálculo e detalhamento de muros de arrimo em concreto armado. Ele considera muros de arrimo em balanço em que o empuxo do solo é equilibrado pelo muro trabalhado a flexão, como vigas em balanço engastada na sua fundação. Este resultou na quantidade de aço da armação em Quilograma (kG), concreto em metro cúbico (m^3), e em uma geometria onde conseqüentemente também foi possível adotar o quantitativo de formas em área (m^2).

O Rocscience Slide da L3Software já foi utilizado anteriormente para análise do FS, é um software mais amplo e completo para análise de estabilidade em todos os tipos de situações. O programa conta com diferentes tipos de suporte como *Grouted Tiebacks*, *End-Anchored Support*, *Soil Nails* e *Geo Textiles*. Neste caso, foi utilizado o *Soil Nails*, denominação inglês de Solo Grampeado. Este resultou em números de grampos necessários para a estabilização.

E por fim, alguns elementos sobre o pré-dimensionamento da técnica Terra Amado, se fez a partir de informações obtidas pela empresa do grupo TERRA ARMADA, empresa especializada nesta técnica. Este resultou na quantidade padrão de chumbadores em cada escama e o tipo de fita metálica, que conseqüentemente foi possível adotar a taxa aproximada de aço em Kg/m^3 a cada um metro cúbico de aterro em solo reforçado.

Os demais quantitativos da planilha de cálculo que são apresentados nos anexos I, II e III, foram obtidos com análise do projeto executivo, assim como conhecimento absolvidos do referencial teórico.

6.2 Planilha de custo

6.2.1 Terra Armada

Ítem	Fonte	Código	Tipo	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1				Serviços Iniciais				
1.1	SICRO NOVO	5502836	Serviço	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria na distância de 3.000 m - Caminho de serviço pavimentado - Com escavadeira e caminhão basculante de 14 m³	m³	3873,60	R\$5,10	R\$ 19.755,36
1.2	SICRO	2 S 05 303 60	Serviço	Concretagem de soleira/arremates de maciço em terra armada	m³	4,20	R\$404,76	R\$1.699,99
Subtotal							R\$21.455,35	
2				Execução da Técnica				
2.1	SICRO NOVO	5406025	Serviço	Muro de escama de concreto armado em solo reforçado com fita metálica e com altura de 4,0 a 6,0 m - tipo 1 - areia e brita comerciais	m²	440,00	R\$309,63	R\$136.237,20
2.2	SICRO NOVO	5405978	Serviço	Aterro compactado em solo reforçado com fita metálica galvanizada - taxa 3,31 kg/m³	m³	1320,00	R\$40,59	R\$53.578,80

2.3	Composição	M0081	Material	Fornecimento de areia grossa comercial para aterro	m ³	1320,00	R\$56,61	R\$74.725,20
2.4	SICRO NOVO	4805758	Serviço	Reaterro mecanizado e compactação manual	m ³	1100	R\$8,05	R\$ 8.855,00
2.5	SICRO NOVO	4915608	Serviço	Regularização de taludes com soquete vibratório	m ²	364,80	R\$1,47	R\$536,26
2.6	SICRO NOVO	4915673	Serviço	Revestimento vegetal com grama em mudas em superfícies inclinadas	m ²	579,20	R\$10,00	R\$5.792,00
Subtotal							R\$279.724,46	
3			Drenagem					
3.1	SINAPI	83667	Serviço	Camada drenante com areia	m ³	194,40	R\$105,84	R\$20.575,30
Subtotal							R\$ 20.575,30	
Total							R\$321.755,10	

6.2.2 Muro de Arrimo por Flexão

Item	Fonte	Código	Tipo	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1			Movimento de Terra					
1.1	SICRO NOVO	5502836	Serviço	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria na distância de 3.000 m - Caminho de serviço pavimentado - Com escavadeira e caminhão basculante de 14 m³	m³	2024,80	R\$5,10	R\$10.326,48
Sub-Total							R\$15.147,00	
2			Muro de Arrimo					
2.1	SINAPI	00001525	Material	Concreto usinado fkc = 30 Mpa (Inclui serviço de bombeamento)	m³	337,12	R\$316,15	R\$106.580,49
2.2	SICRO NOVO	407819	Serviço	Armação em aço CA-50 - fornecimento, preparo e colocação	kg	9812,00	R\$7,86	R\$77.122,32
2.3	SINAPI	96619	Serviço	Lastro de concreto magro com espessura de 5cm	m²	280,00	R\$19,61	R\$5.490,80

2.4	SICRO NOVO	3106121	Serviço	Forma de tábuas de pinho - Utilização de 3 vezes - Fornecimento, instalação e retirada	m ²	1241,5	R\$65,43	R\$81.201,90
2.5	SICRO NOVO	4805758	Serviço	Reaterro mecanizado e compactação manual	m ³	182,00	R\$8,05	R\$ 1.465,10
2.6	SICRO NOVO	4915608	Serviço	Regularização de taludes com soquete vibratório	m ²	304,00	R\$1,47	R\$446,88
2.7	SICRO NOVO	4915673	Serviço	Revestimento vegetal com grama em mudas em superfícies inclinadas	m ²	579,20	R\$10,00	R\$5.792,00
Sub-Total							R\$278.099,49	
3			Sistema de Drenagem					
3.1	SICRO NOVO	73968/001	Serviço	Manta impermeabilizante a base de asfalto - Fornecimento e instalacao	kg	440,00	R\$40,98	R\$18.031,20
3.2	SINAPI	83680	Serviço	Tubo pvc d = 3" com material drenante para dreno/barbacã - Fornecimento e instalacao	m	20,00	R\$14,46	R\$289,20

3.3	SICRO NOVO	83668	Serviço	Camada drenante com brita nº 2	m³	20,00	R\$106,91	R\$2.138,20
3.4	SINAPI	83667	Serviço	Camada drenante com areia media	m³	160,00	R\$105,84	R\$16.934,40
3.5	SICRO NOVO	4816147	Serviço	Confecção de canaleta meia cana D = 40 cm - areia e brita comerciais	m	160,00	R\$22,25	R\$3.560,00
Sub-Total							R\$40.953,00	
Total							R\$329.378,97	

6.2.3 Solo Grampeado

Ítem	Fonte	Código	Tipo	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1			Movimento de Terra					
1.1	SICRO NOVO	5502836	Serviço	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria na distância de 3.000 m - Caminho de serviço pavimentado - Com escavadeira e caminhão basculante de 14 m³	m³	1464,80	R\$5,10	R\$7.470,48
Subtotal							R\$7.470,48	

2				Execução da Técnica				
2.1	SINAPI	93952	Serviço	Execução de grampo para solo grampeado com comprimento menor ou igual a 4 m, diâmetro de 10 cm, perfuração com equipamento manual e armadura com diâmetro de 16 mm	m	1247,40	R\$149,71	R\$186.748,25
2.2	SINAPI	91101	Serviço	Execução de revestimento de concreto projetado com espessura de 10 cm, armado com fibras de aço, inclinação de 90°, aplicação descontínua, utilizando equipamento de projeção com 3 m³/h de capacidade.	m²	440,00	R\$153,14	R\$67.381,60
Subtotal							R\$254.129,85	
3				Sistema de Drenagem				
3.1	SICRO NOVO	2003614	Serviço	Dreno sub-horizontal - DSH 01 - material de 1ª categoria	m	324,00	R\$79,69	R\$25.819,56
3.2	SICRO NOVO	4816147	Serviço	Confecção de canaleta meia cana D = 40 cm - areia e brita comerciais	m	160,00	R\$22,25	R\$3.560,00
3.3	SINAPI	83680	Serviço	Tubo pvc d = 3" com material drenante para dreno/barbacã - Fornecimento e instalação	m	20,00	R\$14,46	R\$289,20
Subtotal							R\$29.668,76	
Total							R\$291.269,09	

7 RESULTADO E ANÁLISE

Para uma contenção mais adequada, é necessário analisar as condições de maior influência, sendo estes utilizados como parâmetros para a escolha do método mais apropriado para cada tipo de situação. De acordo com Hashizume (2006) não se deve atentar exclusivamente aos fatores característicos da viabilidade técnica e executiva, mas também o custo de implantação.

Como base para discussão deste item de estudo, o vigente trabalho tratou-se de um estudo de contenção realizado em um talude artificial real, trazendo como resultado, uma planilha orçamentária apresentada no item 6.2 que compõem de valores quantitativos do projeto abordados neste objeto.

No aspecto financeiro, com a visualização da seção onde seria realizado o talude, foi verificada uma estimativa de custo necessário para a execução de cada estrutura de contenção (terra armada, muro de arrimo por flexão e solo grampeado), com resumo de valor expresso na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado do Orçamento Total

Técnica	Orçamento
Terra Armada	R\$ 321.755,10
Muro de Arrimo por Flexão	R\$ 329.378,97
Solo Grampeado	R\$ 291.269,09

Fonte: Própria.

A obrigação de realizar escavação de um grande volume de solo para mobilização de execução da técnica Terra armada e ainda necessitar um material granular para a interação solo-reforço no processo construtivo, fez com que a diferença orçamentária entre ela e o muro de arrimo por flexão fosse menor que 30%, ao contrário do que é mais habitual. Diferentemente do Muro de Arrimo por Flexão que possuiu um volume escavado consideravelmente inferior para a execução da técnica.

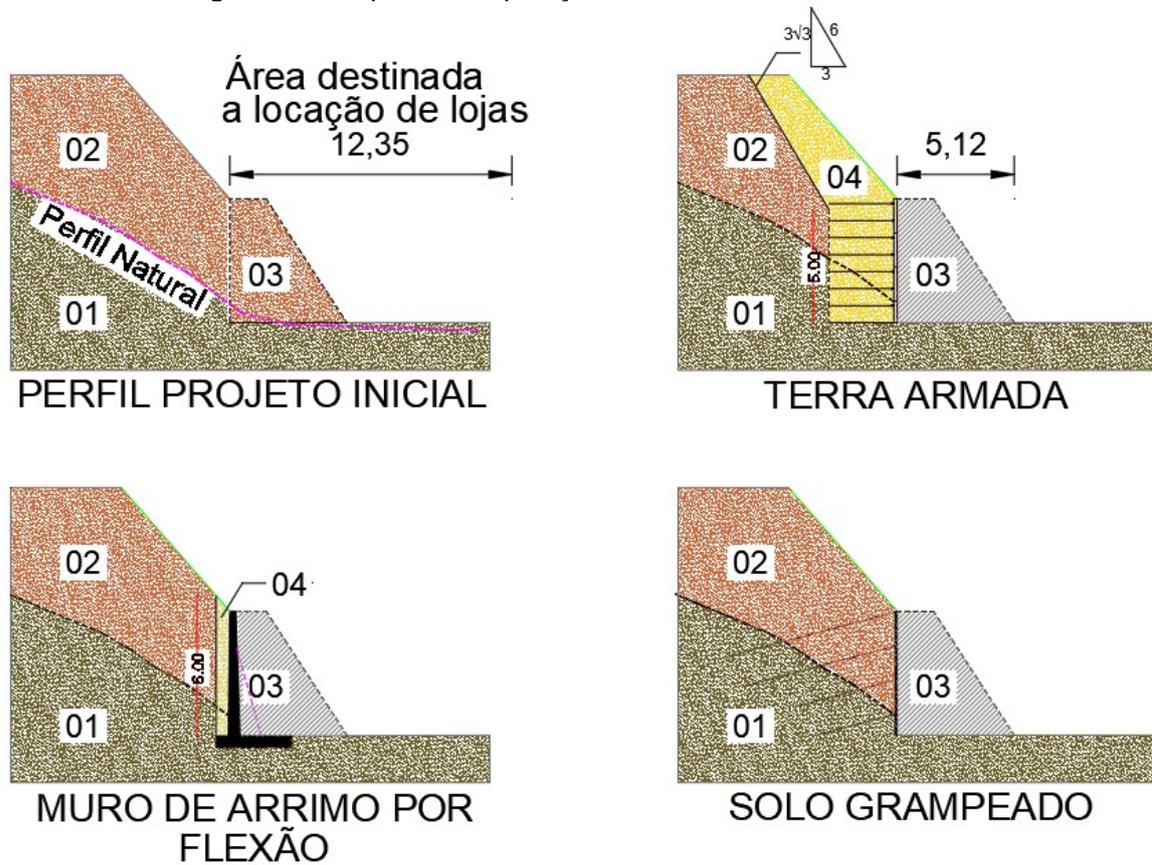
No processo do muro de arrimo por flexão foi obtido um elevado custo devido a necessidade de implantação de contrafortes, este conveniente quando há ultrapassagem da altura de 5 metros.

E por fim o solo grampeado, este possui um valor inferior as outras técnicas por possuir componentes simples em sua metodologia de estabilização de talude, pois o único elemento estrutural utilizado para a estabilização são os grampos, e a proteção do talude seja em concreto projetado ou outra estrutura (neste caso, concreto projetado), têm custos relativamente baixos e podem permitir uma considerável economia em relação às outras soluções.

O maciço de solo presente a montante do talude em estudo, este é oriundo de um aterro homogêneo composto por argila (mesmo solo local). Neste cenário, não é aplicável à terra armada por carecer de solo um granular, porém, para este aspecto foi necessário a substituição da argila por areia grossa. Em compensação, a argila é ideal para a execução do solo grampeado, pois o solo necessita de ter coesão suficiente para ser manter firme, ou então os grampos não mantem fixados levando a instabilidade da contenção. Entretanto, para empregar o solo grampeado ao ambiente é necessário que o talude seja natural ou resultante de escavações, não sendo recomendado em obras de aterro como é o caso do local de estudo. Então, do mesmo modo que a terra armada, para reparar esta falha, foi necessário que ancorasse o grampo na superfície natural, ultrapassando por tanto todo o aterro. O oposto do Muro de Arrimo por Flexão, em que o tipo de solo não é relevante, visto que a técnica trabalha literalmente na contenção do maciço e não na melhoria do solo onde se faz necessário o conhecimento das condições e propriedades do mesmo.

Por se tratar de uma execução de corte em um maciço para fins de projeto, a técnica terra armada e a técnica muro de arrimo por flexão apresentam neste caso, uma complexidade na metodologia executiva, contudo, o solo grampeado é executado de forma simples. Podemos analisar sua simplicidade no esquemático da Figura 42.

Figura 42 – Esquema da aplicação de cada técnica no caso estudado



5

Fonte: Própria.

- (1) Solo natural
- (2) Aterro executado com o solo natural escavado *in loco*
- (3) Área de corte
- (4) Escavação necessária para mobilização da técnica

Como pode-se perceber, todas as técnicas devem realizar remoção do talude inferior (03), porém tanto a técnica de Terra Armada quanto do Muro de Arrimo por Flexão necessitam, neste caso, a realização de uma escavação ao montante deste para a execução da estabilização, uma vez que ambas precisam retirar uma faixa do maciço para execução da metodologia construtiva, a terra armada para o aterro do maciço reforçado e o muro de arrimo para montagem de parte de sua laje horizontal, denominado “calcanhar”. Com isso, temporariamente até sua estabilização, existiria um longo talude vertical (em média 9 metros de altura), sujeito a deslizamento da massa de solo, necessitando assim, de escavação escorada.

⁵ É possível notar a partir da Figura 42 a solução da estabilidade na execução do solo grampeado sobre o **aterro** do ambiente estudado.

Portanto, para que o emprego das soluções de contenção e estabilização mencionadas fossem tecnicamente viáveis, é necessário a realização de um retaludamento acima de 5 metros de altura do talude de 90° no processo executivo da Terra Armada, com o intuito de suavizar o efeito da escavação. E na execução do processo construtivo do Muro de Arrimo por Flexão, se faz necessário a escavação em intervalos de dois em dois metros, seguido de um espaço de um metro entre eles, realizando assim a execução da estrutura de contenção em etapas fragmentadas de escavação.

Em contrapartida, a técnica do solo grampeado é dividida em três etapas principais: primeiro a escavação do solo de cima pra baixo, depois a instalação dos grampos e finalizando com a estabilização do paramento, havendo a possibilidade de ser realizado em pequenas faixas de escavação, garantindo aumento na estabilidade na etapa construtiva.

Ressalta-se também que, apesar de todas as técnicas apresentarem um processo construtivo simples, o solo grampeado necessita de um excelente controle de qualidade e profissionais qualificados para a execução dos grampos. Porém essa afirmação não dispensa a obrigatoriedade de executar com qualidade as demais técnicas por não precisa de mão de obra especializada. Além disso, o muro de arrimo por flexão apresenta a vantagem de ser uma técnica consolidada e bastante difundida entre os profissionais da área. Portanto é uma técnica mais convencional em relação as outras, o que conseqüentemente apresenta maior familiaridade em sua execução.

8 CONCLUSÃO

Considerando a apresentação de todos os dados abordados neste trabalho, referentes a terra armada, o muro de arrimo por flexão e o solo grampeado, foi feita uma análise técnica-econômica, que levou em consideração o tipo de solo local e a metodologia construtiva a fim de se avaliar a eficiência da empregabilidade das técnicas de contenção de talude e, o levantamento de custos.

No aspecto econômico o muro de arrimo por flexão apresentou maior custo para a sua execução, visto que o volume de concreto armado em sua execução o torna oneroso. Seguido da terra armada onde a maior influência em seu custo foi a necessidade de remoção de um grande volume de solo para suavizar a escavação necessária para execução do reforço. E mesmo tendo que executar longos grampos que ultrapassassem a massa de aterro, o solo grampeado se apresentou como a alternativa mais econômica.

No aspecto técnico, o muro de flexão não apresentou dificuldades em relação ao solo presente no cenário de estudo, uma vez que a terra armada necessitou de substituir um grande volume de maciço por solo granular e, o solo grampeado ultrapassar o aterro para ancorar o grampo na superfície natural. Contudo, o muro de flexão ainda apresentou o maior custo. Além disso, o solo grampeado se mostrou mais eficiente no procedimento executivo, por garantir estabilização do maciço em toda etapa construtiva, sem necessidade de realizar movimentação de terra e/ou realizar escavação em intervalos.

A técnica da terra armada também apresenta rapidez e facilidade em seu método construtivo, porém seu menor custo e eficácia apenas poderia ser notado caso no início do projeto tivesse previsto a necessidade de realização da nova geometria do estudo. Com isso, na etapa construtiva do aterro já se executaria o reforço com fitas metálicas, reduzindo assim, o aterro do talude inferior e a escavação da faixa necessária para montagem da técnica no cenário atual.

A terra armada oferece em seu conceito construtivo um excelente acabamento em sua face, porém não é um fator determinante para sua escolha, uma vez que a contenção estará localizada nos fundos das lojas e, deste modo, não ficará visível.

Portanto, conclui-se que o solo grampeado apresentou a melhor viabilidade técnico-econômica, uma vez que, mesmo havendo a necessidade de contratação de mão-de-obra especializada é considerado uma técnica de simples execução, contempla o método construtivo mais eficiente garantindo a estabilização do maciço em toda a etapa executiva, e ainda garante o menor custo.

E para finalizar, cabe ao engenheiro responsável pelo projeto compreender que o custo não será sempre um fator determinante para uma construção. É necessário fazer análises apuradas, aderindo diversas opções fornecidas pelo mercado de trabalho, analisando os parâmetros de maior influência, sendo estes econômicos, técnicos e construtivos.

ANEXOS

Anexo I – Quantidade dos insumos da Terra Armada

Item	Descrição do serviço	Unidade	Quantidade	Quantidade
1	Serviços Iniciais			
1.1	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria na distância de 3.000 m - Caminho de serviço pavimentado - Com escavadeira e caminhão basculante de 14 m³	m³	(18,31 + 16,36 + 13,75) * 80 (área de corte definitivo + área a ser substituída por reforço + área acima do reforço) * extensão - obs: área retirara do Autocad da seção transversal	3873,60
1.2	Concretagem de soleira/arremates de maciço em terra armada	m³	(0,35 * 0,15) * 80 (Largura * espessura) * extensão	4,20
2	Execução da Técnica			
2.1	Muro de escama de concreto armado em solo reforçado com fita metálica e com altura de 4,0 a 6,0 m - tipo 1 - areia e brita comerciais	m²	5,50 * 80 altura do talude * extensão	440,00
2.2	Aterro compactado em solo reforçado com fita metálica galvanizada - taxa 3,31 kg/m³	m³	3,00 * 5,50 * 80 profundidade do reforço * altura do talude * extensão	1320,00
2.3	Fornecimento de areia comercial grossa para aterro	m³	3,00 * 5,50 * 80 profundidade do reforço * altura do talude * extensão	1320,00
2.4	Reaterro mecanizado e	m³	13,75 * 80	1100

	compactação manual		área acima do reforço * extensão - obs: área de cad	
2.5	Regularização de taludes com soquete vibratório	m ²	4,56 * 80	364,80
			área acima do reforço * extensão	
2.6	Revestimento vegetal com grama em mudas em superfícies inclinadas	m ²	7,24 * 80	579,20
			face do talude * extensão	
3	Drenagem			
3.1	Camada drenante com areia média	m ³	12,15 * 0,20 * 80	194,40
			comprimento * espessura da camada drenante * extensão	

Anexo II – Quantidade dos insumos do Muro de Arrimo por Flexão

Ítem	Descrição	Unidade	Memória de Cálculo	Quantidade
1	Movimento de Terra			
1.1	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria na distância de 3.000 m - Caminho de serviço pavimentado - Com escavadeira e caminhão basculante de 14 m ³	m ³	(18,31 + 7,00) * 80	2024,80
			((área de corte definitivo + área da cava da base + área para locação do calcanhar)) * extensão - obs: área retirara do Autocad da seção transversal	
2	Muro de Arrimo			
2.1	Concreto usinado fck = 30 Mpa (Inclui serviço de bombeamento)	m ³	Obtido através do software Muros em balanço	337,12
2.2	Armação em aço CA-50 -	kg	Obtido através do software	9812,00

	fornecimento, preparo e colocação		Muros em balanço	
2.3	Lastro de concreto magro com espessura de 5cm	m ²	3,5 * 80 largura * extensão (largura da laje da base + 20cm)	280,00
2.4	Forma de tábuas de pinho - Utilização de 3 vezes - Fornecimento, instalação e retirada	m ²	880 + 2,75 + 75 + 272,25 forma pra laje vertical (duas faces) + forma para as laterais da laje vertical + forma da base + forma dos contrafortes - obs: áreas retiradas do AutoCad	1241,05
2.5	Reaterro mecanizado e compactação manual	m ³	2,27 * 80 área acima da base * extensão	182,00
2.6	Regularização de taludes com soquete vibratório	m ²	3,80 * 80 área acima do reforço * extensão	304,00
2.7	Revestimento vegetal com grama em mudas em superfícies inclinadas	m ²	7,24 * 80 face do talude * extensão	579,20
3	Sistema de Drenagem			
3.1	Manta impermeabilizante a base de asfalto - Fornecimento e instalação	kg	5,50 * 80 altura do face traseira do talude * extensão	440,00
3.2	Tubo pvc d = 3" com material drenante para dreno/barbacã - Fornecimento e instalação	m	57 * 0,35 quantidade de tubo * comprimento	20,00
3.3	Camada drenante com	m ³	0,5 * 0,5 * 80	20,00

	brita nº 2		altura da camada * espessura da camada * extensão	
3.4	Camada drenante com areia média	m ³	0,5 * 4 * 80	160,00
			espessura da camada * altura da cama * extensão	
3.5	Confecção de canaleta meia cana D = 40 cm - areiaz e brita comerciais	m	2 * 80	160,00
			quantidade de canaleta * extensão	

Anexo III – Quantidade dos insumos do Solo grampeado

Item	Descrição	Unidade	Memória de Cálculo	Quantidade
1	Movimento de Terra			
1.1	Escavação, carga e transporte de material de 1ª categoria na distância de 3.000 m - Caminho de serviço pavimentado - Com escavadeira e caminhão basculante de 14 m ³	m ³	18,31 * 80	1464,80
			área de corte definitivo * extensão - obs: área retirada do AutoCad da seção transversal	
2	Execução da Técnica			
2.1	Execução de grampo para solo grampeado com comprimento menor ou igual a 4 m, diâmetro de 10 cm, perfuração com equipamento manual e armadura com diâmetro de 16 mm	m	(54 * 3,70) + (54 * 4,75) + (54 * 6,5) + (54 * 8,15)	1247,40
			quantidade de grampos * extensão dos grampos - obs: obtido através do software rocscience SLIDE	

2.2	Execução de revestimento de concreto projetado com espessura de 10 cm,	m ²	5,50 * 80	440,00
			altura do talude * extensão	

	armado com fibras de aço, inclinação de 90°, aplicação descontínua, utilizando equipamento de projeção com 3 m³/h de capacidade.			
3	Sistema de Drenagem			
3.1	Dreno sub-horizontal - DSH 01 - material de 1ª categoria	m	54 * 6 quantidade * comprimento	324,00
3.2	Confecção de canaleta meia cana D = 40 cm - areia e brita comerciais	m	2 * 80 quantidade de canaleta * extensão	160,00
3.3	Tubo pvc d = 3" com material drenante para dreno/barbacã - Fornecimento e instalação	m	57 * 0,35 quantidade de tubo * comprimento	20,00

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.682 – Estabilidade de Encostas**. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.044: Concreto projetado - Reconstituição da mistura recém-projetada - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2). **NBR 13.069: Concreto projetado — Determinação dos tempos de pega em pasta de cimento Portland, com ou sem a utilização de aditivo acelerador de pega**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (3). **NBR 13.070: Moldagem de placas para ensaio de argamassa e concreto projetados**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (4). **NBR 13.317: Concreto projetado — Determinação do índice de reflexão por medição direta**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (5). **NBR 13.354: Concreto projetado — Determinação do índice de reflexão em placas**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2). **NBR 19.286: Solo – Muros em Solos Mecanicamente Estabilizados**. Rio de Janeiro, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.629 – Execução de Tirantes Ancorados no Terreno**. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações**. Rio de Janeiro. 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.182: Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.286: Solo – Terra Armada - Especificação**. Rio de Janeiro, 1986.

BOUYGUES. **Bouygues Website**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.bouygues-construction.com/>. Acesso em: 3 fev. 2019.

BRUCE, D. A.; JEWELL, R. A. Soil nailing: application and practice-part 1. **Ground Engineering**, v. 19, n. 8, p. 10-15, 1986.

DA SILVA, Nadine Henriques. **Muros de Terra Armada - Verificação da Segurança**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Santana, 2012.

DALDEGAN, Eduardo. Como fazer um muro de arrimo de concreto armado. **Engenharia Concreta**, 2017. Disponível em: <https://www.engenhariaconcreta.com/como-fazer-um-muro-de-arrimo/>. Acesso em: 29 jan. 2019.

DE SOUZA, Damiane Marques. Muros de Arrimo. **Revista Online IPOG**, Goiânia, jul. 2016.

FAROOQ, Umer. **Report on Reinforced Earth and Reinforced Earth Structures**. 2008. Seminário (Graduação em Engenharia Civil) - Baba Ghulam Shah Badshah Universtity, Rajouri, Índia, 2008.

GEOSLOPE. **GeoStudio**. [S. /], 2019. Disponível em: <https://www.geoslope.com/products/geostudio>. Acesso em: 30 jan. 2019.

GERSCOVICH, D. M. S. et al. Técnicas de modelagem numérica de escavações de taludes em solo grampeado. In: **IV Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Enconstas (COBRAE), Salvador**. 2005. p. 643-655.

GERSCOVICH, Denise. **Apostila do Curso de Mecânica dos Solos II**. Rio de Janeiro. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2010.

HUNTINGTON, Whitney Clark et al. **Earth pressures and retaining walls**. 1957.

LIMA, André Pereira. **Comportamento de uma escavação grampeada em solo residual de gnaiss**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

MAPARAGEM, Albano Sâlzon. **Avaliação da interação solo-fitas metálicas e poliméricas para soluções em terra armada em solos não convencionais**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MURO ARMADO Contenções LTDA. São Paulo, SP, 2017. Disponível em: <http://muroarmado.com.br/>. Acesso em: 28 jan. 2019.

PRASHANT, Amit; MUKHERJEE, Mousumi. Soil nailing for stabilization of steep slopes near railway tracks. **Research Design and Standard Organisation, Lucknow**, 2010.

REINFORCED EARTH. [S. /], 2019. Disponível em: <https://reinforcedearth.com/> Acesso em: 28 jan. 2019.

ROGERS, J David. **Apostila do Curso de Construções Geotécnicas**. Columbia, MO. Universidade do Missouri, 2014. Disponível em: https://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge441/online_lectures/retention_structures/GE441-Lecture6-4.pdf. Acesso em: 29 jan. 2019.

SECRETARIA DOS TRANSPORTES. **Projeto de Muro de Arrimo**. São Paulo, SP: [s. n.], 2005.

SOLETANCHE-BACHY. **Soletanche-Bachy Website**. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.soletanche-bachy.com/>. Acesso em: 3 fev. 2019.

SOLOTECH. **Solo Grampeado**. [S. l.], 201-?. Disponível em: <https://solotech.com.br/solo-grampeado>. Acesso em: 3 fev. 2019.

SOLOTRAT. **Manual de Serviços Geotécnicos**. [S. l.: s. n.], 2018.

TERRA ARMADA. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.terraarmada.com.br/>. Acesso em: 28 jan. 2019.

TERRE ARMÉE. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.terre-armee.com>. Acesso em: 28 jan. 2019.

TUOZZOLO, Thomas J. Soil nailing: where, when and why—a practical guide. In: **20th Central Pennsylvania Geotechnical Conference**. 2003.

VIDAL, Henri. The principle of reinforced earth. **Highway research record**, n. 282, 1969.

VIRTUHAB - Terra Armada. [S. l.], 2016. Disponível em: <http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/terra-armada/>. Acesso em: 28 jan. 2019.

VISUAL SLOPE V6. **Visual Slope V6 Website**. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.visualslope.com/>. Acesso em: 3 fev. 2019.

EHRlich, Maurício; BECKER, Leonardo. **Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução**. Oficina de Textos, 2009.