

# ANÁLISE COMPARATIVA EM MUROS DE CONTENÇÃO EM TERRENOS ACIDENTADOS

## COMPARATIVE ANALYSIS IN CONTENTION WALLS IN THE UNEVEN LAND

MATHEUS FELIPE ROSSI<sup>1\*</sup>, ARTHUR ROSINSKI DO NASCIMENTO<sup>2</sup>

1. Acadêmico do Curso de Engenharia Civil da UNINGÁ - Centro Universitário Ingá; 2. Engenheiro Civil, Especialista pela Universidade Estadual de Maringá, UEM, Docente do curso de Engenharia Civil da UNINGÁ - Centro Universitário Ingá.

\* Rua Rocha Loures, 237, Centro, Mandaguçu, Paraná, Brasil. CEP: 87160-000. [mfrossii@hotmail.com](mailto:mfrossii@hotmail.com)

Recebido em 14/09/2016. Aceito para publicação em 08/11/2016

### RESUMO

Os muros de arrimo são muito utilizados para poder aproveitar o máximo de terrenos acidentados evitar acidentes provocados por deslizamentos. As obras de contenção, ou de “artes” como são conhecidas, são estruturas exclusivas para o seu local de origem, ou seja, projetadas de acordo com o local onde serão executadas, devido a considerações que devem ser feitas, de forma a evitar movimentações do solo. A escolha do tipo de contenção é feita por profissional capacitado, optando pela solução mais viável, técnica e economicamente. Nesse trabalho foram considerados dois tipos de contenções, os muros de flexão em forma de “L”, feitos de concreto armado, e também o muro de gravidade, mais robusto, que tem como principal fator de segurança o seu peso. O principal objetivo desta pesquisa foi de avaliar os custos e benefícios destes dois tipos de muros. O dimensionamento dos mesmos foi realizado a partir do empuxo calculado pelo método de Rankine. A comparação entre as duas técnicas de contenção foi feita pela análise dos custos dos muros propostos, chegando-se a conclusão que ambas as técnicas possuem custos totais muito próximos, devendo-se avaliar outros fatores como tempo de execução, mão de obra disponível, etc, para a escolha entre uma ou outra técnica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Muros de arrimo, estruturas de contenção, muro de gravidade, muro de flexão.

### ABSTRACT

The retaining walls is often used to be able to make the most of difficult terrain and to avoid accidents caused by landslides. Containment works of, or "arts" as they are known, are unique structures to their place of origin, ie, designed according to the place where they will be executed, due to considerations that must be made in order to avoid movements from soil. Choosing the type of containment is done by a trained professional, choosing the most viable solution, technically and economically. In this work were considered two types of retainers, the walls bending shaped "L", made of reinforced concrete, and also the wall of gravity, more robust, with the main safety factor your weight. The main objective of this research was to evaluate the costs and benefits of these types of walls. The dimensioning of the same was carried out from the thrust calculated by the

Rankine method. The comparison between the two containment techniques was made by analysis of the costs of the proposed walls, reaching the conclusion that both techniques had similar total costs should be assessed other factors such as execution time, manpower available, etc. to the choice between one or the other technique

**KEYWORDS:** Retaining walls, contention structures, gravity wall, bending wall.

### 1. INTRODUÇÃO

As obras de contenção, ou de arrimo, são construções com finalidade de oferecer estabilidade para que não ocorram rupturas na terra ou rocha, sustentando esses maciços e impedindo que escorreguem por causa de seu peso ou de cargas externas. Mesmo que variem a geometria, os materiais utilizados e o processo de construção dessas obras, sua finalidade é a mesma<sup>1</sup>.

São estruturas planejadas de acordo com o local onde serão aplicadas, de forma a minimizar os efeitos dos movimentos de terra. Essas estruturas vêm sendo muito estudadas, graças à melhoria nos processos de execução que elas proporcionam, pois oferecem um arranjo estável e elevando as forças de resistência do maciço de terra<sup>2</sup>.

O principal fator para dimensionamento, interferindo diretamente na determinação dos custos, é a altura do muro. Nas rodovias implantadas em locais com relevo acidentado são utilizados muros de arrimo, muitas vezes com alturas elevadas, para vencer os desníveis com conforto e segurança. Para este fim, várias técnicas executivas podem ser utilizadas, como terra armada, muros atarantados, muro de gravidade, de flexão, dentre outros. A escolha é feita por um profissional capacitado, podendo aplicar a que mais se encaixa ao problema a ser resolvido. No caso específico do presente trabalho foram considerados dois tipos de contenções a ser estudada: muros de flexão e os muros de gravidade.

Os muros de flexão tem formato de “L”, podendo ser feitos com ou sem contrafortes, tendo o aço um papel muito importante, podendo resistir muito mais à tração do que à compressão. São constituídos de concreto ar-

mado ou alvenaria estrutural, com fundação direta ou profunda e a base apresenta largura entre 50 a 70% da altura. Tem como grande questão o solo que fica na base do "L" fazendo com que aumente a estabilidade do muro<sup>3</sup>. Por sua estabilidade ser de grande parte na base, os muros de flexão podem ser ancorados com tirantes ou chumbados em rochas, para proporcionar melhor travamento no muro, o que auxilia na estabilidade geral<sup>2</sup>.

Já os muros de gravidade são estruturas corridas e que geralmente apresentam volume muito elevado. A estabilidade do muro, perante o empuxo ativo do solo, se dá através do seu peso próprio<sup>4</sup>. O concreto ciclópico é o que possui pedras de grandes diâmetros, conhecido como pedra rachão, ou pedra de mão, podendo corresponder 30 a 40% do volume do concreto. As forças de tração devem ser reduzidas ao máximo, por se tratar de um muro constituído somente de concreto ciclópico, pois o concreto resiste melhor à compressão<sup>5</sup>.

A segurança está diretamente relacionada com a construção dessas contenções, pois ao se escavar um solo, onde se encontra um material muito heterogêneo, suas propriedades podem variar de forma drástica, fazendo com que haja risco de desmoronamento e deslizamento do maciço, que podem levar a obra à ruína e também deixando vulnerável todos que nela trabalham<sup>6</sup>.

Existem vários métodos construtivos no mercado<sup>7</sup>. A escolha de qual técnica utilizar deve ser feita de acordo com análise de diversas variáveis, como:

- a) Acesso ao local da obra;
- b) Conhecimento do solo e de rochas através de ensaios laboratoriais, e através das sondagens descobrir também o perfil do solo;
- c) Conhecer o escorregamento, podendo saber o tipo e o tamanho que possa ser ocorrido;
- d) Possuir conhecimento sobre o fator de segurança, estabilidade global da encosta, prever o colapso ou deslizamento através do fator de risco da segurança, não afetando em caso de desmoronamento as estruturas vizinhas, seja em edificações, rodovias, ou até mesmo outros modelos da construção civil;
- e) Fator técnico-financeiro, saber se existem condições financeiras para a estrutura, e também se o responsável tem conhecimento por ela;
- f) Não se podem deixar de lado também fatores como segurança do trabalho, e impactos ambientais provocados pela obra.

Desta forma, este trabalho se torna importante por avaliar duas técnicas construtivas para muros de contenção no que se refere aos custos inerentes à sua instalação, que é um dos principais fatores na escolha de qualquer estrutura, auxiliando engenheiros nas tomadas de decisões na etapa de concepção da obra.

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar os custos para execução de dois métodos construtivos: muros de arrimo de flexão e de gravidade. Para isto, como objetivos

específicos, será preciso dimensionar os dois tipos de muros com diversas alturas, orçar cada muro dimensionado e analisar e comparar estes orçamentos através de planilhas e gráficos comparativos.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Características Gerais Do Solo

**Tabela 01.** Resultados típicos dos ensaios de caracterização geotécnica e parâmetros dos solos constituintes do subsolo do Campo Experimental da Universidade Estadual de Maringá.

Discriminação	Símbolo e unidade	Solo evoluído (Latosolo Vermelho fêrrico)	Solo de alteração de basalto
Peso específico natural	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	12,0 - 17,0	15,5 - 18,0
Peso específico dos grãos	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	29,7 - 30,8	28,0 - 30,5
Umidade natural	w (%)	29 - 35	43 - 55
Grau de Saturação	Sr (%)	37 - 70	60 - 100
Índice de vazios	e	1,45 - 2,50	1,25 - 2
Porosidade	n (%)	60 - 70	55 - 67
Fração argila	%	55 - 78	50 - 60
Fração silte	%	15 - 33	26 - 35
Fração areia	%	8 - 12	13 - 15
Limite de Liquidez	LL (%)	55 - 70	60 - 95
Limite de Plasticidade	LP (%)	40 - 50	41 - 66
Índice de plasticidade	IP (%)	15 - 24	20 - 40
Atividade Coloidal	AC	0,20 - 0,35	0,34 - 0,75
Tensão de pré adensamento	$P_a$	(N <sub>spt</sub> )(0,020 a 0,035)	-
Índice de compressão natural	Ce	0,500 - 0,750	0,700 - 1,100
Ângulo de atrito interno (efetivo)	$\phi'$ (grau)	27 - 32	22 - 26
Intercepto de coesão	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	10 - 30	30 - 100
Envoltória característica (efetiva)	$\tau_r$ (kN/m <sup>2</sup> )	$10 + \sigma' \text{tg} 30^\circ$	$30 + \sigma' \text{tg} 24^\circ$
Coefficiente de permeabilidade	k (cm/s)	10 <sup>-3</sup>	--
Peso esp. ap. seco máx (E.N.)	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	14,0 - 15,5	12,5 - 13,5
Umidade ótima (E.N.)	$w_o$ (%)	28 - 34	37 - 42
CBR (E.N.)	CBR (%)	7 - 25	5 - 16
Expansão (E.N.)	%	0,1 - 0,3	0,4 - 4,2

Fonte: BELICANTA, 2006<sup>9</sup>

Para estudos sobre execução de muros de arrimo, se deve primeiramente obter informações geológicas e geotécnicas do solo onde irá ser implantado o muro. Esse conhecimento se dá por alguns itens, como ângulo de atrito interno, característica importante para verificar o deslizamento e determinar a pressão lateral. Por meio desse ângulo se descobre o coeficiente de empuxo ativo ( $K_a$ ), que é uma resultante calculada pela fórmula de Rankine dada pela inclinação do aterro. Outra característica muito importante é a densidade do solo, podendo variar devido sua granulometria e fatores que influenciam esse valor, como água e a diminuição dos índices de vazios do próprio solo, que será expresso em forma de peso<sup>8</sup>.

O solo da cidade de Maringá possui propriedades que serão utilizadas no desenvolvimento da presente pesquisa, representadas na Tabela 1.

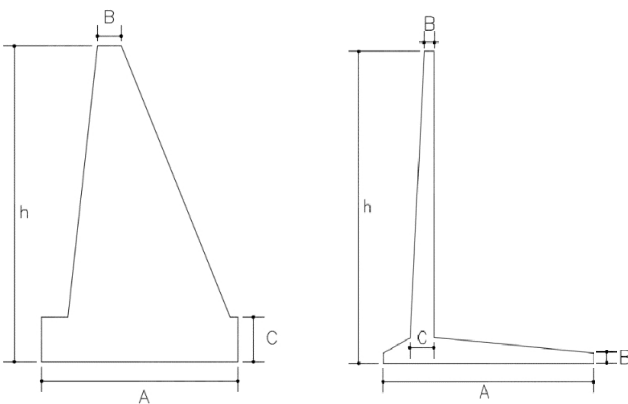
Um dado da Tabela 1 que merece destaque é o ângulo de atrito interno (efetivo). Tal dado é destacado devido à sua importância para obter o coeficiente de empuxo ativo.

### 1.2 Projeto de um muro de arrimo

#### 1.2.1 Pré-dimensionamento do muro de gravidade e flexão

O primeiro passo para um projeto estrutural é o pré-dimensionamento da estrutura, no qual é arbitrado medidas usuais para as dimensões. Todas as medidas são obtidas a partir da altura que é calculada pela diferença de cotas do terreno onde o muro será executado.

Muros de gravidade e de flexão podem ser pré-dimensionados conforme medidas apresentadas na Figura 1



A - Base: (40% a 70% H)  
 B - Topo: (30cm ou 8% H)  
 C - Lado da base: (12% a 15% H)

Sendo:  
 - h = Altura adotada para o dimensionamento.

**Figura 1.** Pré-dimensionamento do muro de gravidade e flexão. Fonte: (Adaptado de MARCHETTI, 2008, p. 53, 68)<sup>10</sup>.

#### 1.2.2 Cálculo do empuxo

Empuxo de terra é a atuação do solo sobre as estruturas, que se comunica solo-estrutura, ou a formação de forças que aparecem dentro desses maciços terrosos<sup>11</sup>.

Ao dar início a uma obra de contenção fazemos algumas modificações no solo, o empuxo se dá por esse solo tentar voltar a sua posição original, inclinação natural do terreno.

Para o dimensionamento de estruturas como as de arrimo, ou obras que interagem diretamente com o solo, é necessário o conhecimento dos valores do empuxo<sup>12</sup>.

Segundo o Método de Rankine apud Marchetti<sup>10</sup>, o cálculo do coeficiente de empuxo ativo é dado pela Equação 1.

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

-  $\varphi$  = Ângulo de atrito interno (efetivo)

O empuxo ativo pode ser calculado pelo Método de Rankine, (MARCHETTI, 2008)<sup>10</sup> que se dá pela Equação 2.

$$E_a = \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times K_a + q \times H \times k_a \quad \text{(Equação 2)}$$

Sendo :

- $K_a$  = Coeficiente de empuxo ativo
- $\gamma$  = Peso Especifico condição normal (solo)
- H = Altura adotada para o dimensionamento.
- q = Carga distribuída uniforme sobre o solo

#### 1.2.3 Estabilidade do conjunto solo-muro

Após descobrirmos o valor do empuxo, e também fazer o pré-dimensionamento, devemos fazer as seguintes verificações<sup>10</sup>.

##### a) Verificação ao tombamento:

Para a verificação ao tombamento devemos obter um coeficiente de segurança conforme o estabelecido na Equação 3

$$\frac{M_{1R}}{M_{1a}} \geq 1,5 \quad \text{(Equação 3)}$$

Sendo:

- $M_{1R}$  = Momento resistente.
- $M_{1a}$  = Momento atuante.

O momento atuante é calculado pela Equação 4, normalmente em relação à extremidade inferior do muro mais afastada do solo:

$$M_{1a} = q \times H \times k_a \times \frac{H}{2} + \frac{1}{2} \times \gamma \times H^2 \times k_a \times \frac{H}{3} \quad \text{(Equação 4)}$$

Sendo:

- $\gamma$  = Peso Especifico condição normal (solo).
- $K_a$  = Coeficiente de empuxo ativo.
- H = Altura.
- q = Carga.

O momento resistente é calculado pelo peso próprio do muro e do solo sobre o mesmo, multiplicado pelos seus respectivos braços de alavanca, em relação ao ponto que foi calculado o momento atuante.

##### b) Verificação ao deslizamento:

A verificação ao deslizamento se dá pelo equilíbrio de forças horizontais atuantes, com aplicação de um fator de segurança adequado, ou seja, uma força de atrito entre o solo e a base do muro resistindo a componente tangencial do empuxo do muro<sup>13</sup>.

Fator de segurança contra escorregamento é uma verificação feita, obedecendo a um valor estabelecido através da razão da força resistente sobre o empuxo ativo, dado pela Equação 5.

$$\frac{FR}{Ea} > 1,5 \tag{Equação 5}$$

Sendo:

- FR = Força resistente.
- Ea = Empuxo ativo

A obtenção da força resistente, se dá pela Equação 6:

$$Fr = \Sigma \text{Peso} \times (0,9 \times \text{tg}\varphi) \tag{Equação 6}$$

Sendo:

- $\varphi$  = Ângulo de atrito interno (efetivo)
- $\Sigma \text{Peso}$  = Peso próprio do muro mais o peso do solo sobre o muro.

**c) Cálculo das tensões na base**

As tensões que ocorrem na base são provenientes de esforços que tem que ser corrigido para que não tenha esforços de trações altos para o muro de gravidade, e de baixa compressão para o muro de flexão, ocasionando se ocorrido problemas futuros com a estrutura. Esta verificação se faz importante na verificação da capacidade de suporte do solo.

$$\sigma = \frac{P}{S} \pm \frac{Mo}{W} \tag{Equação 7}$$

Sendo:

- P = Peso total do muro.
- Mo = Momento no centro da Base
- S = Área da Base
- w = Módulo resistente

**d) Verificação das tensões de cisalhamento em uma seção**

O esforço cortante calculado em cada seção indicará se será necessário utilizar armadura de força cortante ou não. A tensão de cisalhamento, em uma seção i, é calculada através da Equação 8:

$$\tau w d_i = \frac{1,5 \times (1,4 \times E a_i)}{b_i \times h_i} \tag{Equação 8}$$

Sendo:

- $E a_i$  = Empuxo ativo
- $b_i$  = Base da seção
- $h_i$  = Altura linear
- $\tau w d_i$  = Tensões de cisalhamento solicitante de cálculo

A armadura para esforço cortante será necessária caso a verificação da Equação 9 não seja satisfeita.

$$\tau w d_i < \tau r d_i \tag{Equação 9}$$

Sendo:

- $\tau r d_i$  = Tensões de cisalhamento resistentes de cálculo.
- $\tau w d_i$  = Tensões de cisalhamento de cálculo, por força cortante.

**e) Verificação das tensões normais em uma seção**

O momento atuante é calculado pela Equação 10 em

uma seção i.

$$M o_i = E a_i \times \frac{H_i}{3} - (\Sigma M R)_i + E q_i \times \frac{H_i}{2} \tag{Equação 10}$$

Sendo:

- $E a_i$  = Empuxo ativo na seção
- $\Sigma M R_i$  = Somatório dos momentos do muro na seção.
- $H_i$  = Altura da seção

As tensões na seção i são obtidas através da Equação 11:

$$\sigma_i = \frac{P_i}{S_i} \pm \frac{M o_i}{W_i} \tag{Equação 11}$$

Sendo:

- $P_i$  = Peso total do muro na seção
- $M o_i$  = Momento no centro da base da seção
- $S_i$  = Área da base da seção
- $W_i$  = Módulo resistente da seção

Para que a Equação 11 seja validada é feita a verificação das equações 12 e 13, para valores de compressão e tração respectivamente.

$$\sigma 1 d_i = 1,4 \times \sigma 1_i \text{ (compressão)} \leq \sigma c R d \tag{Equação 12}$$

$$\sigma 2 d_i = 1,4 \times \sigma 2_i \text{ (tração)} < \sigma c R d \tag{Equação 13}$$

Sendo:

- $\sigma 1_i$  = Tensões à compressão no muro.
- $\sigma 2_i$  = Tensões à tração no muro.
- $\sigma 1 d_i$  = Tensões solicitantes à compressão no muro
- $\sigma 2 d_i$  = Tensões solicitantes à tração no muro
- $\sigma c R d$  = Tensões normais resistente de cálculo.

A determinação das tensões de cisalhamento é encontrada através da Equação 14, podendo ter uma variação de valores nas outras seções, encontrando assim um valor para dimensionamento somente da determinada seção i.

$$\tau w d_i = \frac{1,5 \times (1,4 \times E a_i)}{b_i \times h_i} \tag{Equação 14}$$

Sendo:

- $E a_i$  = Empuxo ativo
- $b_i$  = Base da seção
- $h_i$  = Altura linear
- $\tau w d_i$  = Tensões de cisalhamento solicitante de cálculo

**1.2.4 Dimensionamento da armadura**

A armadura no muro de gravidade será necessária caso não seja verificada a Equação 13. Caso contrário haverá somente tensões de compressão atuando. Já no muro de flexão, a armadura tem papel fundamental na resistência aos esforços de tração.

O cálculo da armadura para o muro de flexão é feito de por seções de acordo com os esforços atuantes em cada uma com o intuito de se obter uma estrutura economicamente dimensionada.

A determinação do  $k_6$  se da pela Equação 15. Na sequência, obtêm-se o valor de  $K_3$  pela TABELA A<sup>10</sup>.

$$K_6 = 10^5 \times \frac{b w_i d_i^2}{M_{s_i}} \quad (\text{Equação 15})$$

Sendo

- $b w_i$  = Largura da seção retangular
- $d_i$  = Espaço disponível para alojamento da armadura
- $M_{s_i} = \Sigma$  Momento fletor da seção

A armadura na seção é obtida através da Equação 16.

$$A_{s_i} = \frac{K_3}{10} \times \frac{M_{s_i}}{d_i} \quad (\text{Equação 16})$$

Sendo

- $K_3$  = Parâmetro de dimensionamento
- $M_{s_i} = \Sigma$  Momento fletor da seção
- $d_i$  = Espaço disponível para alojamento da armadura

Na determinação da força cortante resistente, é utilizada a Equação 17.

$$VR_{d_i} = (\tau_{rd_i} \times K_i \times (1,2 + 40 \times \rho_1))_i \times b w_i \times d_i \quad (\text{Equação 17})$$

Sendo:

- $\tau_{rd}$  = Tensões de cisalhamento resistentes de cálculo.
- $K_i$  = Valor Característico
- $\rho_1$  = Taxa geométrica de armadura
- $b w_i$  = Largura da seção retangular

A verificação da Equação 18 determinará se há ou não a necessidade de armar à força cortante o muro.

$$VR_{d_i} > VS_{d_i} \quad (\text{Equação 18}).$$

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir os objetivos deste trabalho, foi necessário dimensionar e orçar muros de arrimo de flexão e de gravidade com alturas de 3,0m, 4,5m e 6,0m. Isto se fez necessário para conhecer a viabilidade, ou não, de cada técnica em diversas situações, fornecendo, desta forma, mais um parâmetro para auxílio às tomadas de decisões.

Os pré-dimensionamentos dos muros de gravidade e de flexão foram feitos conforme no item 1.2.1 deste trabalho.

Os cálculos para a determinação do empuxo do solo foram feitos segundo Rankine, conforme apresentado no item 1.2.2.

As verificações de estabilidade dos muros foram feitas segundo Marchetti, conforme item 1.2.3.

O dimensionamento das armaduras segundo Marchetti, conforme item 1.2.4, e também seguindo a NBR 6118<sup>14</sup>.

Os orçamentos de todos os muros foram feitos se-

gundo SINAP<sup>15</sup>.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi adotada a cidade de Maringá-PR como local fictício de execução dos muros. Assim, foram utilizadas as características do solo desta cidade para o dimensionamento dos mesmos. Os valores do ângulo de atrito, assim como propriedades do concreto, do aço e cargas sobre o solo estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 02.** Considerações para os cálculos.

Fonte: Autor.

Considerações	Unidade	Muro de	
		Gravidade	Flexão
$\phi$ (Ângulo de atrito interno)	graus	30	30
$f_{ck}$	MPa	20	20
$K_a$	-	0,33	0,33
Aço	-	CA-50	CA-50
Carga	KN/m <sup>2</sup>	25	25
Peso específico condição normal (solo)	KN/m <sup>3</sup>	18	18
Peso específico condição normal (concreto)	KN/m <sup>3</sup>	22	25

Como premissa de cálculo, foi considerado que o solo tem capacidade de suporte de carga suficiente, para que não necessite de fundações profundas. Tal informação é obtida por meio do ensaio de SPT e do cálculo das tensões na base do muro. Como o solo sofre muita variação de um local para o outro, mesmo sendo na mesma cidade, foi adotado esta situação.

Foi desprezada também qualquer coesão do solo e empuxo passivo resistente para que o dimensionamento esteja a favor da segurança.

Também foi suposto que o lençol freático esteja em uma profundidade suficiente para não interferir em nenhum cálculo das solicitações no muro. O dimensionamento foi feito para três diferentes alturas, sendo que o detalhe de cada uma, semelhantes aos ilustrados na Figura 2, que mostra o detalhamento dos muros de flexão e gravidade para a altura de seis metros.

Foi adotado um mesmo perfil de solo com desnível igual a altura do muro para que fosse possível comparar os valores de corte e aterro.

Considerou-se também que o talude do solo cortado apresente inclinação de 1/0,5 para impedir o desmoronamento e evitar o uso de escoramento. O pé deste talude foi distanciado de 4m do muro para que a compactação pudesse ser feita com rolo mecânico.

Os valores de cada item da Tabela 03 correspondem à mão-de-obra e materiais necessários para a execução de um metro de comprimento de muro.

O sistema de drenagem não foi orçado, pois foi adotado que as técnicas seriam iguais para os dois tipos de muros.

**Tabela 03.** Tabela de valores finais dos orçamentos, para cada metro de muro, das seguintes alturas: 6,00m, 4,50m e 3,00m.

Fonte: Autor

	Fonte	Descrição de Serviços	Unidade	Quantidade		Valores (R\$)		
				Muro de Gravidade	Muro de Flexão	Muro de Gravidade	Muro de Flexão	
ALTURA DE 6,00m	Sinapi-pr (item 92916)	Aço-CA-50 $\phi$ 6,3mm	kg		23,5	R\$	250,28	
	Sinapi-pr (item 92917)	Aço-CA-50 $\phi$ 8mm	kg	-	16,44	-	R\$ 160,29	
	Sinapi-pr (item 91919)	Aço-CA-50 $\phi$ 10mm	kg	-	5,34	-	R\$ 41,76	
	Sinapi-pr (item 92921)	Aço-CA-50 $\phi$ 12,5mm	kg		61,6	-	R\$ 383,77	
	Sinapi-pr (item 92922)	Aço-CA-50 $\phi$ 16mm	kg	-	179,738	-	R\$ 810,62	
	Composição	Pedra rachão - 10 a 40cm	m <sup>3</sup>	3,648	-	R\$	188,24 -	
	Composição	Concreto convencional	m <sup>3</sup>	8,512	3,54	R\$	2.580,07 R\$ 1.073,01	
	Composição	Forma	m <sup>2</sup>	13,07	15,39	R\$	208,86 R\$ 245,93	
	Sinapi-pr (item 89890)	Corte de solo	m <sup>3</sup>	52,87	52,87	R\$	503,85 R\$ 503,85	
	Sinapi-pr (item 94310)	Reaterro de solo	m <sup>3</sup>	39,05	51,93	R\$	330,36 R\$ 439,33	
				<b><math>\Sigma</math></b>		<b>R\$ 3.811,38</b>	<b>R\$ 3.908,83</b>	
ALTURA DE 4,50m	Sinapi-pr (item 92916)	Aço-CA-50 $\phi$ 6,3mm	kg		14,13	R\$	150,48	
	Sinapi-pr (item 92917)	Aço-CA-50 $\phi$ 8mm	kg	-	13,536	-	R\$ 131,98	
	Sinapi-pr (item 91919)	Aço-CA-50 $\phi$ 10mm	kg	-	5,34	-	R\$ 41,76	
	Sinapi-pr (item 92921)	Aço-CA-50 $\phi$ 12,5mm	kg		126,22	-	R\$ 786,35	
	Composição	Pedra rachão - 10 a 40cm	m <sup>3</sup>	2,388	-	R\$	123,22 -	
	Composição	Concreto convencional	m <sup>3</sup>	5,57	2,32	R\$	1.688,32 R\$ 703,22	
	Composição	Forma	m <sup>2</sup>	9,7	11,29	R\$	155,01 R\$ 180,41	
	Sinapi-pr (item 89890)	Corte de solo	m <sup>3</sup>	31,48	31,48	R\$	300,00 R\$ 300,00	
	Sinapi-pr (item 94310)	Reaterro de solo	m <sup>3</sup>	17,78	22,56	R\$	150,42 R\$ 190,86	
					<b><math>\Sigma</math></b>		<b>R\$ 2.416,97</b>	<b>R\$ 2.485,06</b>
ALTURA DE 3,00m	Sinapi-pr (item 92916)	Aço-CA-50 $\phi$ 6,3mm	kg		11,75	R\$	125,14	
	Sinapi-pr (item 92917)	Aço-CA-50 $\phi$ 8mm	kg	-	8,16	-	R\$ 79,56	
	Sinapi-pr (item 91919)	Aço-CA-50 $\phi$ 10mm	kg	-	33,264	-	R\$ 260,12	
	Composição	Pedra rachão - 10 a 40cm	m <sup>3</sup>	1,06	-	R\$	54,70 -	
	Composição	Concreto convencional	m <sup>3</sup>	2,47	1	R\$	748,68 R\$ 303,11	
	Composição	Forma	m <sup>2</sup>	6,56	7,54	R\$	104,83 R\$ 120,49	
	Sinapi-pr (item 89890)	Corte de solo	m <sup>3</sup>	15,38	15,38	R\$	146,57 R\$ 146,57	
	Sinapi-pr (item 94310)	Reaterro de solo	m <sup>3</sup>	7,9	10,06	R\$	66,83 R\$ 85,11	
					<b><math>\Sigma</math></b>		<b>R\$ 1.121,61</b>	<b>R\$ 1.120,10</b>

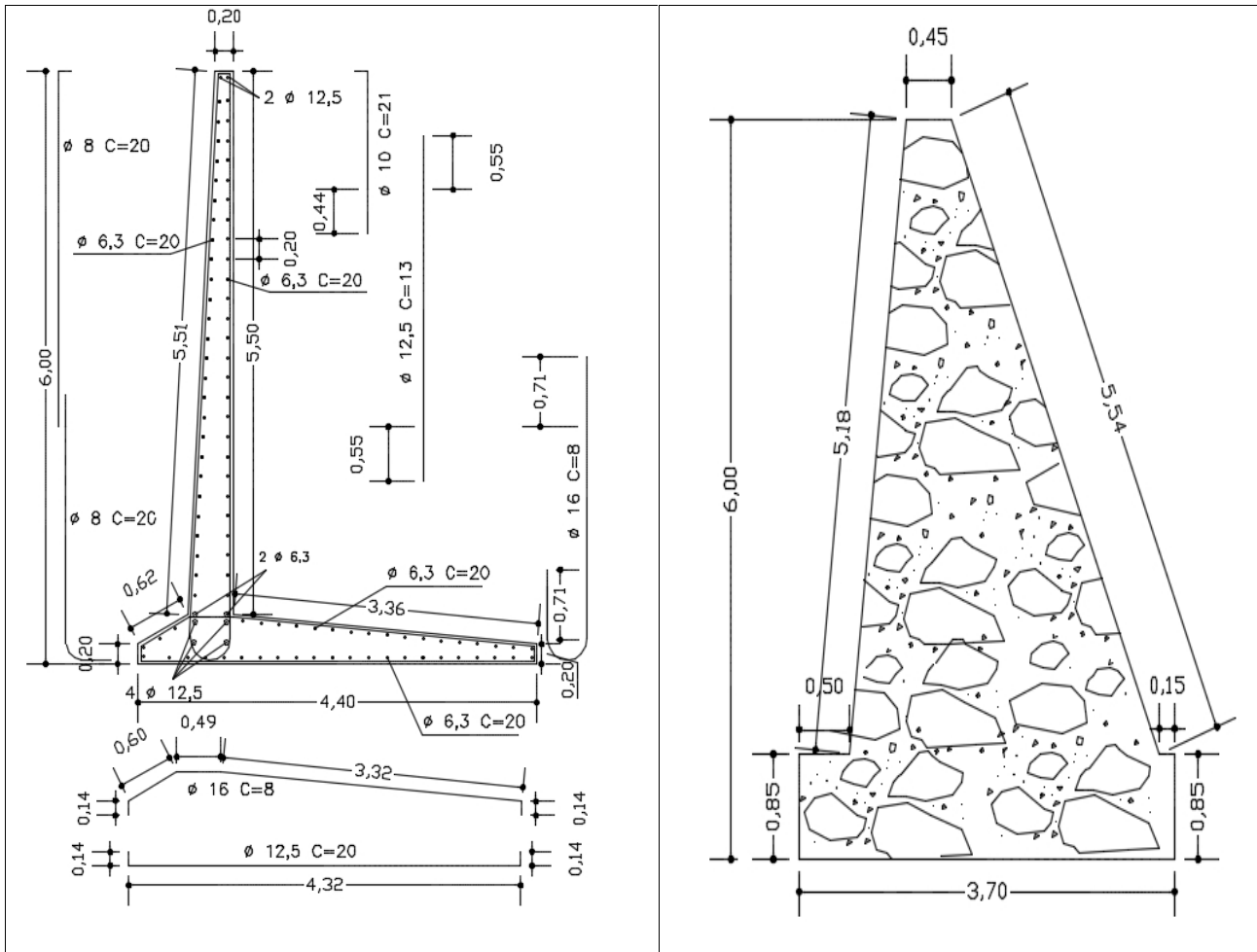
O muro de arrimo por gravidade não possui nenhuma armadura, por ser observado nos cálculos que a resistência à tração do concreto não foi ultrapassada em nenhuma situação, e também não foi adotado nenhuma armadura de retração ou controle de fissuras.

Como observado nos dados da Tabela 03, percebe-se que os custos são semelhantes entre as técnicas construtivas estudadas.

O muro de flexão para a altura de 3m teve a armadura mínima de flexão em todas as seções ao longo da altura. Logo, para alturas menores, a armadura será sempre superior à calculada, onerando assim os custos e inviabilizando o seu uso.

A Tabela 4 apresenta o custo por metro cúbico de concreto, valores de cada muro e quantidade de concreto de cada muro.





**Figura 2.** Detalhamento dos muros de flexão e gravidade com seis metros de altura.  
**Fonte:** O Autor

**Tabela 04.** Custo por metro cubico de cada muro

Altura	Muro de Gravidade	Volume de concreto (m³)	RS/m²	Muro de Flexão	Volume de concreto (m³)	RS/m²
3,00	RS 1.121,61	3,53	RS 317,74	RS 1.120,10	1	RS 1.120,10
4,50	RS 2.416,97	7,96	RS 303,72	RS 2.485,06	2,32	RS 1.071,15
6,00	RS 3.811,38	12,16	RS 313,44	RS 3.908,83	3,54	RS 1.104,19

**Fonte:** Autor

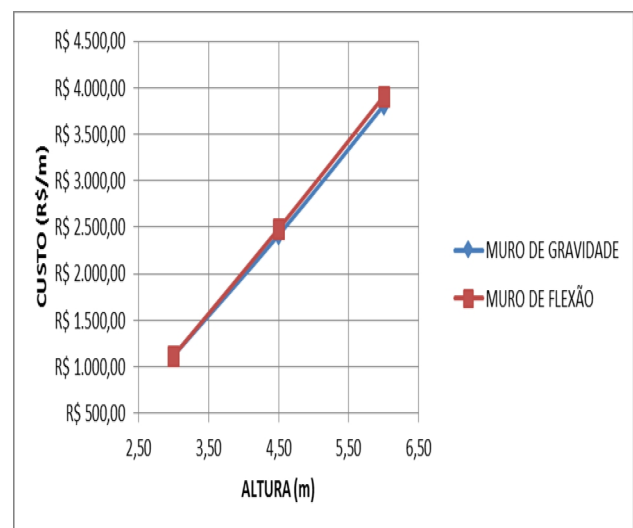
Percebe-se uma tendência de aumento dos custos por m³ de concreto do muro de gravidade, indicando que abaixo da altura de 3 metros, o muro se torna inviável, devendo então recorrer para outros modelos de estruturas de contenção.

Avaliando o custo por metro cúbico de concreto do muro de gravidade, percebe-se que a altura de 4,5m é a mais econômica para esse modelo

Observando o custo por metro cubico de concreto do muro de flexão percebeu que a altura de 4,5 é a altura mais econômica para esta técnica, não só ela, mas também o de gravidade como já dito acima.

A Figura 3 mostra que na altura de 3 metros os custos entre os dois tipos de muros são praticamente iguais e

que o muro de flexão apresenta um custo ligeiramente superior ao muro de gravidade para as alturas de 4,5 e 6 metros.



**Figura 3.** Relação de custo por metro e altura do dimensionamento.  
**Fonte:** Autor.

## 5. CONCLUSÃO

Pelos muros dimensionados para a altura de 3 metros, concluiu-se que o de gravidade possui um custo ligeiramente superior ao do muro de flexão, com uma diferença de menos de dois reais por metro de muro construído, podendo considerar os dois muros com valores iguais. Já para altura de 4,50 metros, o muro de flexão apresentou um valor mais elevado em relação ao de gravidade com uma diferença de 68,09 reais por metro de muro. Para altura de 6,00 metros, foi constatado o valor de 97,45 reais a mais que o muro de gravidade.

Tais valores para o custo geral do muro são muito pequenos, podendo-se concluir que a escolha entre uma dessas técnicas não deve ser definida somente pelos custos, mas sim por outras variáveis como, acesso ao local da obra, tipos de solo, tipo do escorregamento e o tamanho, conhecer estabilidades global, se pode ou não ocorrer colapsos ou escorregamentos, se possui condições técnicas necessárias para a execução, e ver também a questão ambiental, e as de segurança de trabalho ali impostos.

Avaliando os valores por metro cúbico de concreto, foi observado que o muro de flexão na altura de 3 metros se aumenta o valor em relação as outras alturas, começando inviabilizar para alturas mais baixas, devido a taxa de armadura que se eleva, por ser usada em todos os dimensionamentos armadura mínima. Na altura de 4,5 metros é a altura mais econômica do modelo construtivo. Avaliando o custo por metro cúbico do muro de gravidade, percebe-se também uma vantagem na altura de 4,5 metros, concluindo que é a altura mais econômica para os dois modelos é a de 4,5 metros.

Além do muro de flexão ser mais caro em duas das três alturas estudadas, exige-se do mesmo, profissionais qualificados para a armação e carpintaria. A execução do muro de gravidade se torna mais fácil por necessitar menos de mão de obra especializada, por se tratar apenas de montagem de forma e concretagem.

Tais muros são muito empregados em estradas e rodovias, executados em grandes extensões. Desta forma, a pequena diferença de valores por metro de construção, pode geral, no custo final da obra, um valor significativo.

Pensando em espaço, o muro de gravidade ocupa uma área maior, podendo ser um fator de muita importância na escolha da técnica.

Em trabalhos futuros pode ser estudado o tempo de execução e outras técnicas executivas, como cortinas de estacas, paredes diafragma, muros de gabião com o objetivo de se fazer mais comparações entre estas técnicas.

## REFERÊNCIAS

- [01] Barros PLA. Obras de Contenção: Manual Técnico. Jundiaí, Sp: Maccaferri, 2006.  
 [02] Santana JHF. Estudo comparativo de variações de contenção

de taludes verticais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Formiga: Centro Universitário de Formiga-UNIFOR; 2014. [acesso 10 out. 2015] Disponível em:

<<http://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/jspui/handle/123456789/260>>.

- [03] Moliterno A. Caderno de muros de arrimo. 2. ed. rev. São Paulo: Blucher, 1994.  
 [04] Hachich W, *et al.* Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.  
 [05] Domingues PC. Indicações para projeto de muros de arrimo em concreto armado. [tese] São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo – USP, 1997. [acesso 04 set. 2016] Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1997ME\\_PauloCesarDomingues.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1997ME_PauloCesarDomingues.pdf)>  
 [06] Leite GU. Análise custo-benefício de obras de contenção. [tese] João Pessoa, PB: Universidade Federal da Paraíba, 2012. [acesso 10 out. 2015]. [acesso 12 mar. 2016] Disponível em: <[http://www.ct.ufpb.br/coordenacoes/ccgec/images/arquivos/TCC/TCC\\_Guilherme\\_Urguisa\\_2011.2.pdf](http://www.ct.ufpb.br/coordenacoes/ccgec/images/arquivos/TCC/TCC_Guilherme_Urguisa_2011.2.pdf)>.  
 [07] Naresi Junior, Construção Mercado pini. A engenharia oferece soluções de contenção variadas, adequadas para as situações mais diversas. Geologia do terreno, estudo de riscos, custo de cronograma da obra influenciam a escolha da técnica de execução, 2014. [acesso 12 set. 2016], Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/154/a-engenharia-oferece-solucoes-de-contencao-variadas-adequadas-para-as-311023-1.aspx>.  
 [08] Santos Junior GB. Estudo numérico do comportamento de muros de arrimo em alvenaria estrutural de blocos vazados. [tese] Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2004. [acesso 04 set. 2016]. Disponível em: <<https://sigaa.ufrn.br/sigaa/verProducao?idProducao=1986731&key=60d5fcac3918049079951ed1d0f9d4a6>>.  
 [09] Belincanta A, *et al.* Campos experimentais brasileiros. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA- XIII COBRAMSEG, 2006, Curitiba. Anais... Curitiba: FEC-UNICAMP, 2006. [acesso 04 set. 2016] Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~pjra/Arquivo15.pdf>>.  
 [10] Marchetti O. Muros de arrimo. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2008.  
 [11] Gerscovich DMS. Empuxos de terra e muros gravidade. Faculdade de Engenharia. Departamento de Estruturas e Fundações. UERJ, 2014. [acesso 04 set. 2016] Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>>.  
 [12] Vilar OM, Bueno BS. Mecânica dos solos. v. II. Departamento de Geotecnia- Escola de Engenharia de São Carlos. 2004.  
 [13] Xavier AM. Cálculo e detalhamento de muros de arrimo em concreto armado e fundação superficial. 2011. Trabalho de conclusão de curso [tese] São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, 2011. [acesso 04 set. 2016]. Disponível em: <[http://www.deciv.ufscar.br/tcc/wa\\_files/TCC2011-ANDRE\\_20XAVIER.pdf](http://www.deciv.ufscar.br/tcc/wa_files/TCC2011-ANDRE_20XAVIER.pdf)>.



- [14] ABNT. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. 2014. [acesso 30 ago. 2016]. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>.
- [15] SINAP. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Planilhas Sinapi 06/2016. Paraná. [acesso 30 ago. 2016]. Disponível em:< <https://sinapiexcel.wordpress.com/>>.