

DANIEL ROCHA GERALDO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SOLO, DO
CONCRETO E DA GEOMETRIA NO DIMENSIONAMENTO
DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO**

SÃO CARLOS

2021

DANIEL ROCHA GERALDO

**INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SOLO, DO CONCRETO E DA
GEOMETRIA NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO
ARMADO**

**Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Curso de Graduação de Engenharia Civil do
Centro Universitário Central Paulista, como
requisito para a obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. M. Sc. Renato Silva Nicoletti

**SÃO CARLOS
2021**

Dedico este trabalho aos profissionais da
Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a Deus, a minha esposa e filho. A compreensão e colaboração deles para a minha formação neste curso tem sido fundamental.

Agradeço também aos professores que ministraram suas aulas com muita dedicação, em especial ao meu orientador Prof. M.Sc. Renato Silva Nicoletti que tem dedicado um tempo especial para me orientar com este trabalho.

“Tornar o simples complicado é fácil; tornar o complicado simples, isto é criatividade.”

Charles Mingus

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
LISTA DE QUADROS.....	IX
RESUMO.....	X
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJETIVO.....	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. ESTADO DA ARTE	3
2.2. TIPOS DE MUROS DE ARRIMO	5
2.3. MUROS DE ARRIMO POR GRAVIDADE	5
2.3.1. Muro de arrimo por gravidade de perfil retangular	5
2.3.2. Muro de arrimo por gravidade de perfil trapezoidal	6
2.3.3. Muro de arrimo por gravidade de perfil escalonado	6
2.3.4. Muro de arrimo de gabiões.....	7
2.4. MUROS DE ARRIMO DE FLEXÃO.....	7
2.5. MURO DE ARRIMO DE FLEXÃO COM CONTRAFORTE.....	9
2.6. MURO DE ARRIMO ATIRANTADO	10
2.7. MURO DE ARRIMO DE EDIFÍCIOS COM SUBSOLO.....	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	12
3.2. DIMENSIONAMENTO DOS MUROS.....	15
3.2.1. Verificação quanto ao tombamento.....	16
3.2.2. Verificação quanto a translação	18
3.2.3. Cálculo das tensões no solo.....	19
3.2.4. Verificação da excentricidade.....	20
3.2.5. Cálculo da armadura de aço	20
3.2.5.1.Dimensionamento da área de aço para as seções Si	21
4. RESULTADOS.....	23
4.1. INFLUÊNCIA DA ALTURA DO MURO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO	23
4.2. INFLUÊNCIA DO PESO ESPECÍFICO DO SOLO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO	25

4.3. INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE ATRITO DO SOLO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO	27
4.4. INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO	29
4.5. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA LAJE NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO	30
4.6. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO MURO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO	32
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS.....	37
APÊNDICE 1 - PLANILHA DE CÁLCULOS	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Muro de arrimo em colapso.	1
Figura 2 - Muro de arrimo por gravidade de perfil retangular	5
Figura 3 - Muro de arrimo de perfil trapezoidal.....	6
Figura 4 - Muro de arrimo de perfil escalonado.....	6
Figura 5 - Muro de gabiões	7
Figura 6 - Muro de arrimo de flexão (clássico)	8
Figura 7 - Muro de arrimo de flexão com laje inclinada	8
Figura 8 - Muro de arrimo de flexão com perfil "L"	9
Figura 9 - Muro de arrimo de flexão com perfil especial.....	9
Figura 10 - Muro de arrimo de flexão com contraforte.	10
Figura 11 - Muro de arrimo de flexão com perfil atirantado.....	10
Figura 12 - Muro de arrimo de edifícios com subsolo.....	11
Figura 13 – Pré-dimensionamento de muro de arrimo de flexão com perfil tipo "L". .	12
Figura 14 - Momento de tombamento.	16
Figura 15 - Muro de arrimo de flexão tipo "L" com dente	19
Figura 16 - Representação da redução dos esforços no ponto X.	19
Figura 17 - Dimensionamento da área de aço para as seções S1 e S2.	21
Figura 18 - Influência da altura do muro no FS ao tombamento.	23
Figura 19 - Influência da altura do muro no FS de translação.....	24
Figura 20 - Influência da altura do muro nas áreas de aço.	25
Figura 21 - Influência do peso específico no FS ao tombamento.....	26
Figura 22 - Influência do peso específico no FS de translação.....	26
Figura 23 - Influência do peso específico do solo nas áreas de aço.	27
Figura 24 - Influência do ângulo de atrito do solo no FS ao tombamento.	28
Figura 25 - Influência do ângulo de atrito do solo no FS de translação.....	28
Figura 26 - Influência do ângulo de atrito do solo nas áreas de aço.	29
Figura 27 - Influência da resistência característica do concreto nas áreas de aço.	30
Figura 28 - Influência da espessura da laje no FS ao tombamento.	31
Figura 29 - Influência da espessura da laje no FS de translação.....	31
Figura 30 - Influência da espessura da laje nas áreas de aço.	32
Figura 31 - Influência da espessura do muro no FS ao tombamento.....	33
Figura 32 - Influência da espessura do muro no FS de translação.	33
Figura 33 – Gráfico da influência da espessura do muro nas áreas de aço.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores default da análise paramétrica.	13
Quadro 2 - Valores típicos de ângulos de atrito drenado para areias e siltes.	14
Quadro 3 - Parâmetros dos muros de arrimo para análise das influências.	15

RESUMO

INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SOLO, DO CONCRETO E DA GEOMETRIA NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

O muro de arrimo consiste em uma estrutura construída para promover a contenção de taludes e, conseqüentemente, evitar a erosão, restabelecer a segurança de um maciço de terra e até mesmo recuperar áreas degradadas ou em processo de degradação. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência de diversas propriedades no dimensionamento de muros de arrimo de concreto armado, com formato “L”. Para tornar factível a análise das influências, foi construída uma planilha no *software* Microsoft Office Excel e realizou-se análises paramétricas da altura do muro, do peso específico do solo, do ângulo de atrito do solo, da resistência característica à compressão do concreto, da largura do muro e da espessura da laje da base. A análise da sensibilidade foi feita analisando os fatores de segurança ao tombamento e à translação, e também as áreas de aço no muro e na laje da base. Em suma, os parâmetros que provocaram maior influência no comportamento do muro de arrimo foram o peso específico e ângulo de atrito do solo. Assim, a realização de ensaios para conhecer as propriedades do solo é imprescindível para fundamentar a otimização do projeto em termos técnicos e econômicos. Especificamente quanto ao ângulo de atrito do solo, verifica-se uma forte correlação geral com as verificações de segurança e com o dimensionamento da área de aço. À medida que este parâmetro aumenta a área de aço é minimizada e a segurança, maximizada.

Palavras-chave: muro de arrimo de flexão; concreto armado; análise paramétrica; análise de sensibilidade; muro de arrimo tipo “L”.

1. INTRODUÇÃO

Muro de arrimo é a estrutura cuja característica principal é uma parede corrida vertical ou levemente inclinada apoiada em uma fundação rasa ou profunda. Pode ser construído em alvenaria (pedras ou tijolos) ou em concreto (simples ou armado), ou de elementos especiais (pneus, sacos, madeiras etc).

O muro de arrimo serve para proporcionar segurança e a utilização de regiões como montanhas e morros, além de contenção em aterros e locais de escavação etc.

Sua função técnica é garantir a estabilidade contra a ruptura do solo que ocasiona erosão, escoamento e desmoronamento sendo responsável por suportar tensões horizontais geradas pelo peso próprio do maciço do solo e por carregamentos externos.

Quando mal dimensionado pode colocar em risco de ruínas (Figura 1) tanto o muro de arrimo quanto edificações próximas, podendo comprometer todo o aterro ou porção de terra cuja finalidade era estar contida. Conforme a ANAMT – Associação Nacional de Medicina do Trabalho, uma das principais causas de acidentes no trabalho na construção civil tem sido o soterramento (ANAMT - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO).

Um eventual erro de projeto também pode ocasionar elevado custo inviabilizando a execução da obra toda.

Figura 1 - Muro de arrimo em colapso.



Fonte: Jornal Estado de Minas (2018)

A análise de parâmetros das variáveis como ângulo de atrito do solo, geometria do muro, peso específico do solo e altura do muro são fatores que impactam diretamente no projeto e serão abordados neste trabalho.

1.1. JUSTIFICATIVA

Os muros de arrimo são estruturas atípicas e a maioria das universidades não abordam este conteúdo em suas grades curriculares. Sendo assim, o presente trabalho constitui uma oportunidade para o aluno adquirir/reforçar seu conhecimento acerca dos tipos, comportamento e dimensionamento de muros de arrimo.

As estruturas de contenção são caras e às vezes podem exceder o valor da própria edificação e ser de difícil execução. Portanto, conhecer a influência que os parâmetros geram sobre suas variáveis aumenta a sensibilidade para obter dimensionamentos otimizados gerando redução nos custos com materiais, mão de obra e tempo na execução da obra.

1.2. OBJETIVO

Estudar a influência das principais variáveis presentes no dimensionamento de muros de arrimo em concreto armado, tais como altura do muro, peso específico do solo, ângulo de atrito do solo, resistência característica do concreto, espessura do muro e geometria da laje.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver planilhas eletrônicas no Microsoft Office Excel para facilitar a análise dos parâmetros no dimensionamento do muro de arrimo;
- Estabelecer correlações entre as propriedades analisadas e as verificações para dimensionamento de muros de arrimo em concreto armado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ESTADO DA ARTE

Rocha (2016) comparou a variação de altura para dois tipos diferentes de muro de arrimo (clássico e com contrafortes) projetados em concreto armado e concluiu que o tipo de muro clássico com alturas acima de 5 metros tornam-se inviáveis em função do aumento significativo das dimensões dos elementos estruturais, proporcionado principalmente pela necessidade de aumento da rigidez do elemento, este modelo estrutural dimensionado para alturas elevadas, resulta em flechas significativas, muitas vezes acima dos limites permitidos. Isso não implica dizer que não é possível dimensionar a estrutura, mas sim buscar outras alternativas como, por exemplo, a utilização de muros com contrafortes. Conclui-se também, que os muros com contrafortes são uma solução para a utilização nas contenções acima de 5 metros, pois os mesmos possuem melhores resultados na distribuição dos esforços e no comportamento referente aos estados limites, quando comparados aos muros em perfil clássico.

Pinto e Costa (2020) estudaram o dimensionamento de um muro de arrimo em concreto armado, utilizando dados fictícios do solo do terreno contemplando todas as fases que envolvem o projeto de muro de arrimo, e sua respectiva fundação. Dois métodos de determinação de empuxo foram utilizados, sendo o método de Coulomb e o método de Rankine, adotou-se o de Coulomb para continuidade do dimensionamento devido a teoria de Rankine ser mais conservadora que a teoria de Coulomb, e a mesma ser mais viável economicamente se tratando do estudo em questão, concluíram inicialmente que o dimensionamento com o método de Coulomb é 2,7% mais viável.

Junior (2019) comparou o muro de arrimo em concreto armado com um muro de arrimo em gabiões, a fim de encontrar o que proporciona melhor custo-benefício e verificou que ambas as estruturas atenderam aos critérios de segurança considerando os parâmetros estabelecidos na metodologia e ao longo do estudo de caso. Concluiu que a estrutura de concreto armado é a melhor escolha que a de gabiões, pois apresenta uma margem de segurança maior em relação ao tombamento e deslizamento, levando uma pequena desvantagem somente quanto à solicitação do

solo na fundação, porém, atende aos critérios de segurança nesse quesito. No que diz respeito ao custo total a estrutura em concreto armado também levou vantagem, isso indica que a estrutura de gabiões não é economicamente viável para um muro com 4 metros de altura, pois apresentou um custo 46% maior em relação ao de concreto armado.

Torres, Curado e Silva (2019) apresentaram um estudo numérico da aplicação de dois diferentes tipos de estruturas de contenção simuladas em uma obra no município de Jataí: muro à flexão de concreto armado e muro de solo reforçado com geossintéticos. A modelagem numérica foi realizada através do software para taludes de 3 a 6 metros. Foram realizadas estimativas de custo para execução de cada uma das estruturas modeladas. Por fim, foi possível observar vantagens técnico-econômicas do muro de solo reforçado em relação ao muro à flexão de concreto armado. Baseado neste estudo pode-se considerar que as alterações dos parâmetros do solo (mesmo que reforçado com geossintéticos) gera influência diretamente no dimensionamento quanto aos aspectos técnicos e econômicos da obra.

Nos últimos 5 anos a tendência de pesquisa tem sido buscar soluções técnicas comparando alguns tipos de muros de arrimo com outros em diferentes situações, bem como a utilização de ferramentas computacionais para dimensionar projetos de contenção a fim de obter precisão no dimensionamento, redução de tempo e consequentemente minimizar os custos com materiais e da obra como um todo, foi o que Ferreira (2020) publicou em seu artigo.

Também a busca por outras soluções alterando a configuração do solo reforçando-o com compactação e com materiais geossintéticos, entre outras soluções, tem sido estudada. Nesse contexto, Costa (2021) analisou que a inclusão de reforços proporciona resistência à tração ao conjunto solo-reforço, visto que solos são deficientes quanto a essa resistência. Os benefícios decorrentes da utilização de muro de solo reforçado incluem a estabilidade global e local da estrutura, o aumento da viabilidade de construção do aterro e a redução de custo em determinados casos. A utilização de geossintéticos é uma maneira útil de reduzir custos de implantação da estrutura, ao viabilizar obras maiores devido às elevadas resistências à tração, à durabilidade e à variedade de opções (COSTA, 2021).

2.2. TIPOS DE MUROS DE ARRIMO

Existem várias soluções que são utilizadas para muros de arrimo como, por exemplo: metálicas, alvenaria, tirantes, ancoragem, geossintéticos, estaqueadas etc. Nessa seção, citaremos apenas alguns tipos.

2.3. MUROS DE ARRIMO POR GRAVIDADE

São paredes de contenções cujo próprio peso da sua estrutura é responsável pela sua estabilidade. É empregado onde o solo apresenta boa capacidade de suporte.

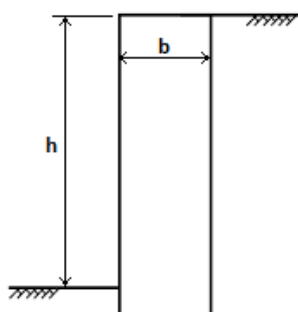
Eles geralmente são executados com concreto ciclópico ou de alvenaria de pedra, também há possibilidade de ser empregado solo-cimento ensacado.

Em geral são usados para conter pequenos e médios desníveis de até 5 metros (GERSCOVICH, 2010).

2.3.1. Muro de arrimo por gravidade de perfil retangular

Este tipo de muro (Figura 2) é indicado para alturas pequenas de até 2 metros.

Figura 2 - Muro de arrimo por gravidade de perfil retangular



Fonte: Elaborado pelo autor.

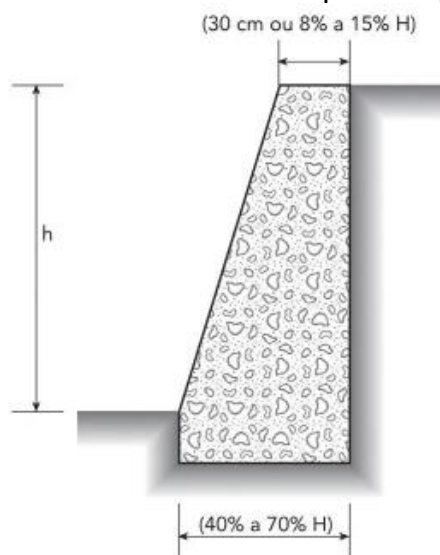
Conforme Moliterno (1980), o pré-dimensionamento de muros de arrimo de gravidade de perfil retangular pode ser feito por meio da Equação (1).

$$\begin{aligned} \text{Para muro de alvenaria de tijolos: } b &= 0,40 \cdot h \\ \text{Para muro de alvenaria de pedra ou concreto ciclópico: } b &= 0,30 \cdot h \end{aligned} \quad (1)$$

2.3.2. Muro de arrimo por gravidade de perfil trapezoidal

A (Figura 3) apresenta esquema para pré-dimensionamento desta estrutura.

Figura 3 - Muro de arrimo de perfil trapezoidal

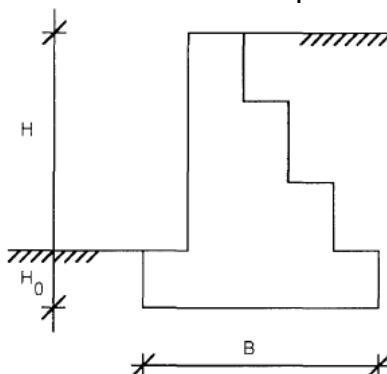


Fonte: Marchetti (2007)

2.3.3. Muro de arrimo por gravidade de perfil escalonado

Este tipo de muro de arrimo (Figura 4), de acordo com Domingues (1997), pode ser empregado em situações semelhantes ao muro de arrimo com perfil trapezoidal e apresenta maior economia de material em relação ao trapezoidal (DOMINGUES, 1997).

Figura 4 - Muro de arrimo de perfil escalonado



Fonte: Moliterno (1980)

2.3.4. Muro de arrimo de gabiões

São constituídos por gaiolas de malha metálica com material tratado para resistir à corrosão onde as pedras são organizadas manualmente dentro delas (Figura 5). O tamanho das gaiolas metálicas varia de acordo com a altura do muro e são empilhadas umas sobre as outras. As características principais é que suportam recalques e têm excelente permeabilidade.

Figura 5 - Muro de gabiões



Fonte: Gerscovich (2010)

2.4. MUROS DE ARRIMO DE FLEXÃO

Conforme descreve Huntington (1957) citado por Domingues (1997), este tipo de muro (Figura 6) é utilizado para solos que não apresentam alta resistência de suporte devido seu peso próprio ser inferior aos muros de gravidade.

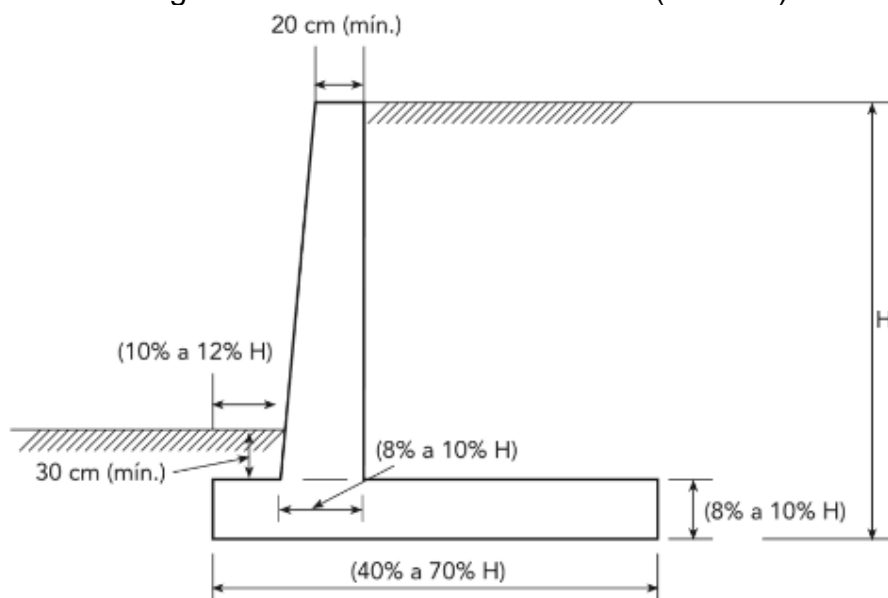
Para a escolha deste tipo de estrutura deve ser analisados alguns aspectos como:

- Dificuldade de compactar o aterro no encontro das lajes;
- Acréscimo de terreno requerido para este serviço;
- Preparação de formas, armaduras, concretagem e cura;
- É recomendado para altura de no máximo 5 metros.

Para dimensionamento deste tipo de estrutura sempre considera-se o comprimento igual a 1 metro.

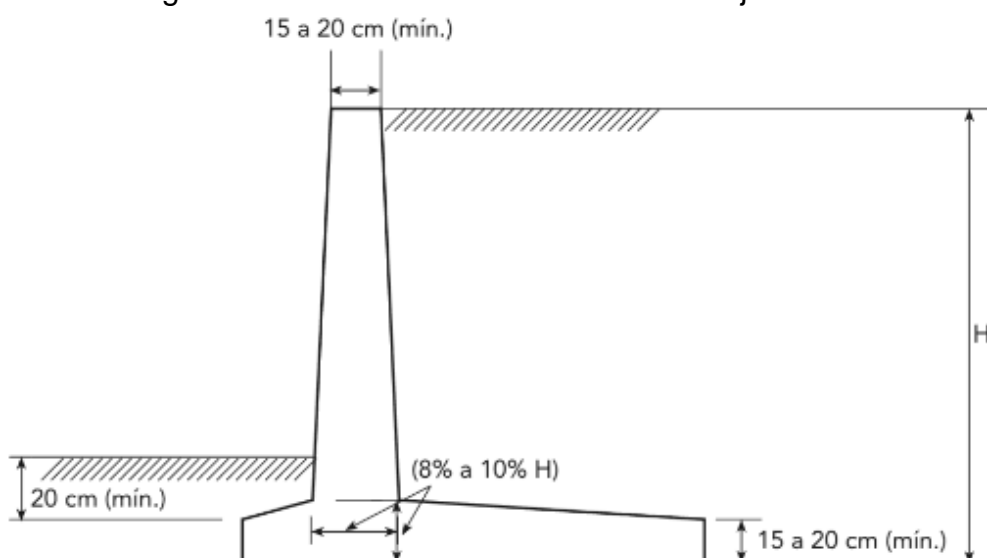
Existem diversos perfis para esse tipo de muro. A Figura 6 apresenta um perfil clássico; a Figura 7 o perfil com laje inclinada; a Figura 8 o perfil "L"; e a Figura 9 um exemplo de geometria especial.

Figura 6 - Muro de arrimo de flexão (clássico)



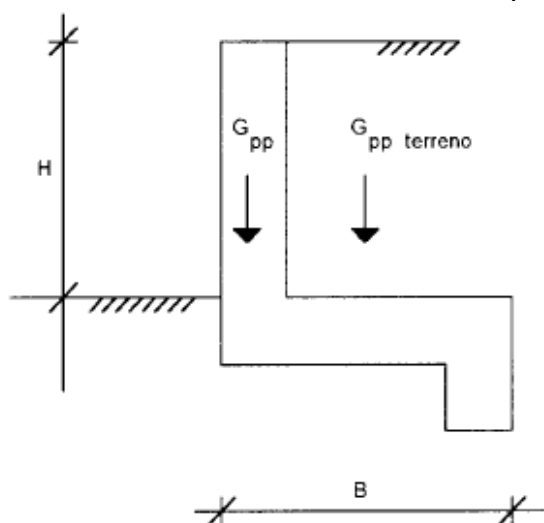
Fonte: Marchetti (2007)

Figura 7 - Muro de arrimo de flexão com laje inclinada



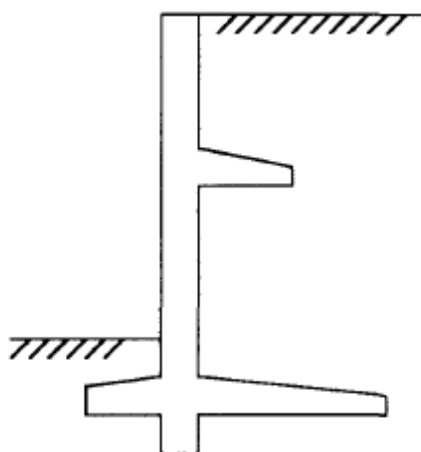
Fonte: Marchetti (2007)

Figura 8 - Muro de arrimo de flexão com perfil "L"



Fonte: Domingues (1997)

Figura 9 - Muro de arrimo de flexão com perfil especial

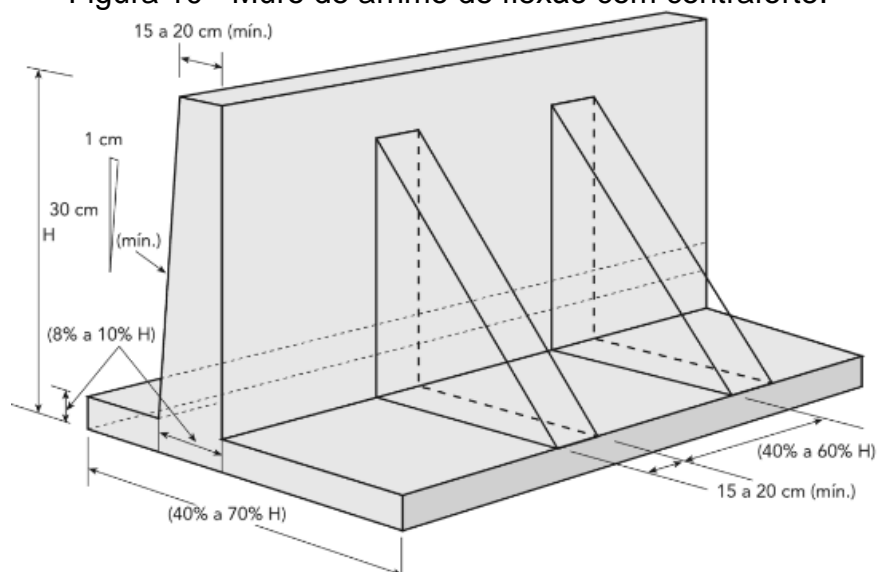


Fonte: Domingues (1997)

2.5. MURO DE ARRIMO DE FLEXÃO COM CONTRAFORTE

Esta estrutura (Figura 10) é indicada para taludes com altura entre 6 e 9 metros. Quando a altura do muro ultrapassa os 5 metros, é conveniente a utilização de contrafortes, isto aumenta a estabilidade contra tombamento. Quando a configuração é laje com base interna (sob o retroaterro) os contrafortes devem ser armados para resistir os esforços de tração. Quando é laje externa ao retroaterro, os contrafortes trabalham à compressão (menos usual) porque acarreta perda de espaço útil (GERSCOVICH, 2010).

Figura 10 - Muro de arrimo de flexão com contraforte.

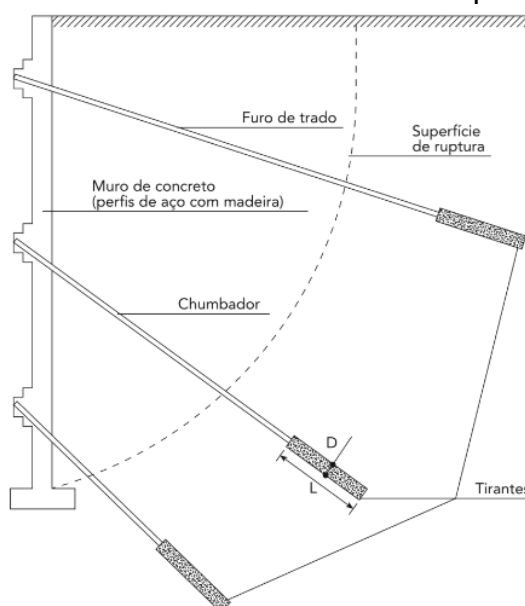


Fonte: Marchetti (2007)

2.6. MURO DE ARRIMO ATIRANTADO

Estrutura utilizada para conter taludes com necessidade de resistir a grandes cargas, com a evolução deste método, hoje o valor da capacidade de carga de cada cordoalha de tirante chega até 1500 kN. Este método é caro devido aos equipamentos necessários para execução da obra (Figura 11).

Figura 11 - Muro de arrimo de flexão com perfil atirantado



Fonte: Marchetti (2007)

Na Figura 11, D é o diâmetro médio (ancoragem) e L é o comprimento do *grout* (ancoragem).

2.7. MURO DE ARRIMO DE EDIFÍCIOS COM SUBSOLO

Neste caso deve ser projetado para resistir ao empuxo de terra correspondente a diferença de nível entre o terreno e o piso do subsolo (Figura 12).

Figura 12 - Muro de arrimo de edifícios com subsolo



Fonte: Marchetti (2007)

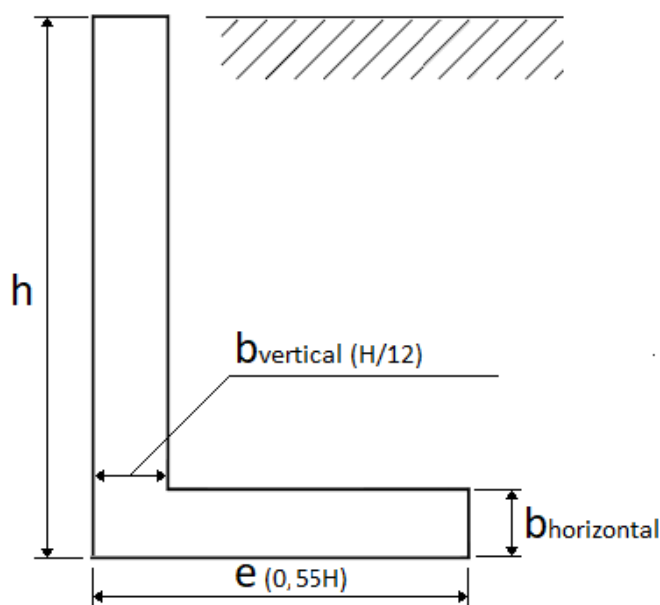
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

Com o objetivo de estudar a influência das principais variáveis presentes no projeto de muros de arrimo em concreto armado, o presente trabalho realiza uma análise paramétrica em um muro de arrimo de flexão com perfil “L” (Figura 13) variando os seguintes parâmetros:

- Altura do muro (h);
- Peso específico do solo (γ_n);
- Ângulo de atrito do solo (φ);
- Resistência característica à compressão do concreto (f_{ck});
- Espessura da base ($b_{horizontal}$);
- Espessura do muro ($b_{vertical}$).

Figura 13 – Pré-dimensionamento de muro de arrimo de flexão com perfil tipo “L”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No total, 32 muros de arrimo em concreto armado divididos em 6 grupos diferentes foram dimensionados e analisados. A fim de tornar tal dimensionamento factível de ser realizado em tempo hábil, foi desenvolvida uma planilha no *software* Microsoft Office Excel, buscando automatizar o dimensionamento.

O princípio da análise paramétrica fundamentou-se em definir valores *default* para todas as variáveis, os quais são mantidos fixos enquanto um único parâmetro é alterado em relação aos outros muros. Com isso, é possível associar os resultados ao parâmetro variado e, conseqüentemente, a análise de sensibilidade torna-se estatisticamente confiável.

O Quadro 1 expõe os valores *default* das variáveis estudadas.

Quadro 1 - Valores default da análise paramétrica.

h [m]	γ_n [kN/m ³]	Φ (°)	f_{ck} [Kn/m ²]	$b_{vertical}$ [m]	$b_{horizontal}$ [m]	e [m]
3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os parâmetros default foram adotados dentro dos limites citados em literatura. Para a altura h , Rocha (2016) verificou que a viabilidade econômica deste tipo de muro é de até 5 m de altura. Portanto, utilizamos um valor default intermediário de 3 m de altura.

O valor default para o peso específico do solo γ_n não varia muito entre os solos, por isso como solo não é conhecido foi adotado o valor médio de 21 kN/m³ (PINTO, 2006). O peso específico do solo em estado natural γ_n é limitado a 25 Kn/m³, porém neste trabalho foi utilizado até 27 para contemplar eventuais sobrecargas para efeito de estudo;

Para o ângulo de atrito φ adotou-se 30 graus, valor médio considerado conforme Quadro 2 para solos não coesivos, constituídos de grãos arredondados de areia (DAS, 2007). Valores extremos foram variados na planilha para observar fenômenos.

Quadro 2 - Valores típicos de ângulos de atrito drenado para areias e siltes.

Tipo de solo	φ (graus)
<i>Areia - Grãos Arredondados</i>	
Fofa	27-30
Média	30-35
Compacta	35-38
<i>Areia - Grãos Angulares</i>	
Fofa	30-35
Média	35-40
Compacta	40-45
<i>Pedregulhos com alguma areia</i>	34-48
<i>Siltes</i>	26-35

Fonte: Adaptado de Das (2007)

Para o concreto armado, utilizou-se como default o concreto de classe C30, o qual é o mais comum nas obras cotidianas.

Huntington (1957) citado por Domingues (1997) define valores de pré-dimensionamento para espessura ($b_{vertical}$) do muro e da laje ($b_{horizontal}$) sendo conforme a Figura 13, portanto para altura (h) “default” do muro adotada como 3m a espessura do muro e da laje é 0,25 metro.

Para o valor “default” da largura da base (e), Huntington (1957) citado por Domingues (1997) define o pré-dimensionamento conforme a Figura 13, portanto para altura (h) “default” do muro adotada como 3 metros a largura da laje (e) é de 1,65 metros.

O

Quadro 3 mostra um detalhamento dos muros analisados neste trabalho. As células em destaque apresentam os parâmetros que foram variados. O primeiro grupo de muros contém 9 diferentes alturas (h) e, conseqüentemente, 9 diferentes larguras da laje (e) pois está relacionada com a altura (h).

Os grupos de muros de 2 a 6 tem variação de apenas um parâmetro dentro de cada grupo, conforme mostra o

Quadro 3.

O efeito da água foi desconsiderado, pois a drenagem não é necessária por haver bom escoamento em solo arenoso. Além disso, a água influencia em mais de uma variável por vez, afetando o princípio da análise paramétrica.

Quadro 3 - Parâmetros dos muros de arrimo para análise das influências.

#ID	Grupo	h [m]	γ_n [kN/m ³]	Φ (°)	f_{ck} [kN/m ²]	$b_{horizontal}$ [m]	$b_{vertical}$ [m]	e [m]
1	1	1,00	21	30	30000	0,08	0,08	0,55
2		1,50	21	30	30000	0,13	0,13	0,83
3		2,00	21	30	30000	0,17	0,17	1,10
4		2,50	21	30	30000	0,21	0,21	1,38
5		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
6		3,50	21	30	30000	0,29	0,29	1,93
7		4,00	21	30	30000	0,33	0,33	2,20
8		4,50	21	30	30000	0,38	0,38	2,48
9		5,00	21	30	30000	0,42	0,42	2,75
10	2	3,00	15	30	30000	0,25	0,25	1,65
11		3,00	18	30	30000	0,25	0,25	1,65
12		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
13		3,00	24	30	30000	0,25	0,25	1,65
14		3,00	27	30	30000	0,25	0,25	1,65
15	3	3,00	21	20	30000	0,25	0,25	1,65
16		3,00	21	25	30000	0,25	0,25	1,65
17		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
18		3,00	21	35	30000	0,25	0,25	1,65
19		3,00	21	40	30000	0,25	0,25	1,65
20	4	3,00	21	30	20000	0,25	0,25	1,65
21		3,00	21	30	25000	0,25	0,25	1,65
22		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
23		3,00	21	30	35000	0,25	0,25	1,65
24		3,00	21	30	40000	0,25	0,25	1,65
25	5	3,00	21	30	30000	0,15	0,25	1,65
26		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
27		3,00	21	30	30000	0,35	0,25	1,65
28		3,00	21	30	30000	0,45	0,25	1,65
29	6	3,00	21	30	30000	0,25	0,15	1,65
30		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65

31		3,00	21	30	30000	0,25	0,35	1,65
32		3,00	21	30	30000	0,25	0,45	1,65

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2. DIMENSIONAMENTO DOS MUROS

As etapas para o dimensionamento do muro de arrimo de flexão analisado neste trabalho são as seguintes:

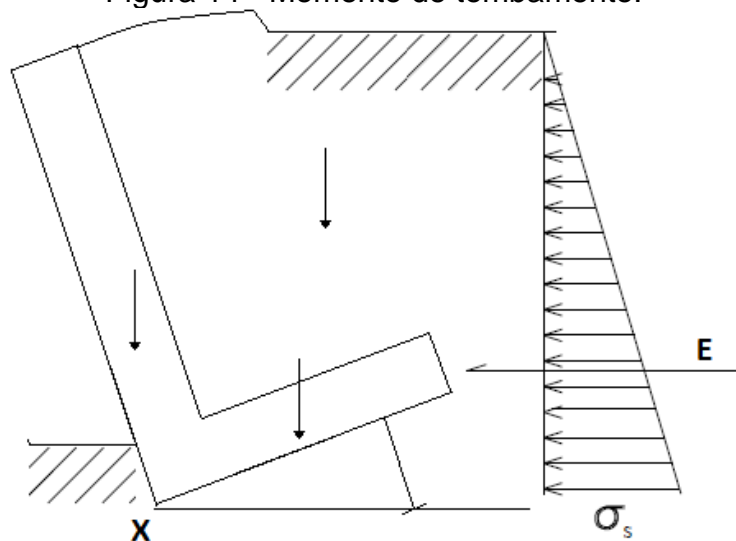
- Verificação quanto ao tombamento;
- Verificação quanto a translação;
- Cálculo das tensões no solo;
- Dimensionamento da armadura.

Para completar o dimensionamento final de muro de arrimo as análises de tensão admissível do solo e a estabilidade global são necessárias.

3.2.1. Verificação quanto ao tombamento

Nesta seção são demonstrados os cálculos necessários para a verificação do fator de segurança quanto ao tombamento do muro de arrimo de flexão. (Figura 14). O efeito quanto ao empuxo passivo foi desconsiderado (sendo a favor da segurança).

Figura 14 - Momento de tombamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O cálculo do coeficiente do empuxo ativo (K_a) em função do ângulo do solo (φ) foi realizado conforme Rankine (1857) é realizado por meio da Equação (2). As seguintes condições são consideradas:

- O solo do terrapleno considerado é areia pura seca (sem coesão) homogênea em todo o espaço semi-infinito considerado;
- O terrapleno é constituído de uma camada única e contínua de mesmo solo e sua superfície superior é horizontal (solo homogêneo);
- O atrito entre o terrapleno e o paramento vertical do plano de contenção é considerado nulo;
- O terrapleno não tem nenhuma sobrecarga (concentrada, linear ou distribuída).

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2)$$

O valor da tensão no solo (σ) no nível do ponto X é obtido através da Equação (3).

$$\sigma_s = K_a \cdot h \cdot \gamma_s \quad (3)$$

Onde:

- h é a altura do muro (sem considerar a altura da laje);
- γ_s é a peso específico do solo.

O cálculo da força de empuxo (E) é demonstrado na Equação (4).

$$E = (K_a \cdot h \cdot \gamma_s) \cdot \left(\frac{h}{2} \right) \quad (4)$$

Para calcular o momento de tombamento (M_{tomb}) é utilizada a Equação (5).

$$M_{\text{tomb}} = (K_a \cdot h \cdot \gamma_s) \cdot \left(\frac{h}{2} \right) \cdot \left(\frac{h}{3} \right) = K_a \cdot \gamma_s \cdot \left(\frac{h^3}{6} \right) \quad (5)$$

O cálculo do momento de restituição (M_{rest}) é de acordo com a Equação (6).

$$M_{rest} = \sum P_i \cdot z_i \quad (6)$$

Onde:

- P_i é o peso de cada elemento do muro (peso da laje, do muro e da terra sobre a laje);
- Z_i é a distância entre a resultante da força do peso de cada elemento até o ponto X.

A verificação da segurança quanto ao tombamento (γ) é dada pela Equação (7).

$$\gamma = \frac{M_{rest}}{M_{tomb}} \quad (7)$$

O resultado deve ser maior que 1,4 para garantir a segurança contra tombamento.

3.2.2. Verificação quanto a translação

Nesta seção verificaremos se o atrito provocado pelo peso total da estrutura mais a parcela de terra sobre a laje é maior que a força de empuxo mais o coeficiente de segurança de 1,4.

O cálculo da força de empuxo é dado pela Equação (8).

$$E = (K_a \cdot h \cdot \gamma_s) \cdot \left(\frac{h}{2}\right) \quad (8)$$

Para calcular o fator de atrito utilizamos a Equação (9).

$$F_{atrito} = \mu \cdot P \quad (9)$$

Onde:

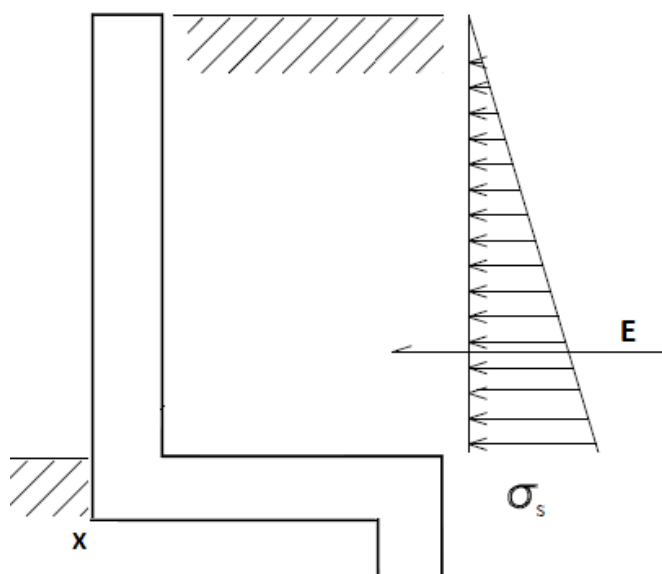
- μ é o coeficiente de atrito (considerado 0,55 para solos arenoso, siltoso e argiloso de acordo com U.S. NAVY (1982));
- P é o peso total dos elementos da estrutura (peso do muro, laje e parcela de terra sobre a laje).

O fator de segurança quanto a translação é dado pela Equação (10).

$$r = \frac{F_{\text{atrito}}}{E} \quad (10)$$

O resultado deve ser maior que 1,4 para garantir a segurança contra translação do muro. Casos que não exceder ao valor de 1,4, é possível efetuar o dente na laje (Figura 15) para aumentar o atrito e evitar translação.

Figura 15 - Muro de arrimo de flexão tipo "L" com dente

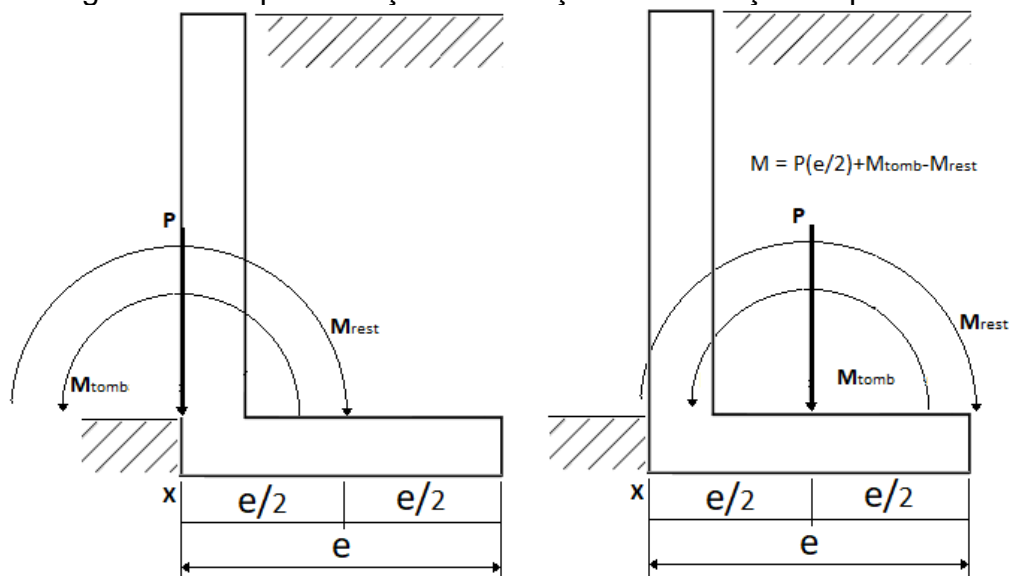


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3. Cálculo das tensões no solo.

As tensões de contato entre a laje do muro e o solo são calculadas inicialmente fazendo-se a redução dos esforços do ponto X para o centro da laje conforme Figura 16.

Figura 16 - Representação da redução dos esforços no ponto X.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim o momento atuante no centro da laje é dado pela Equação (11).

$$M = P \cdot \frac{e}{2} + M_{tomb} - M_{rest} \quad (11)$$

Para calcular a excentricidade a fórmula é dada pela Equação (12).

$$exc = \frac{M}{P} \quad (12)$$

3.2.4. Verificação da excentricidade

É necessário verificar se a excentricidade do momento (exc) e carga do momento (P) é menor que o valor da cota do núcleo central ($e/6$) para que o funcionamento seja sem tração, permitindo a utilização da fórmula de resistência dos materiais conforme Equação (13).

$$exc < \frac{e}{6} \quad (13)$$

Para calcular as tensões máximas ($\sigma_{sm\acute{a}x}$) e mínimas ($\sigma_{sm\grave{m}n}$) utilizamos a Equação (14).

$$\sigma_{sm\acute{a}x,sm\grave{m}in} = \frac{P}{\text{comprimento} \cdot e} + \frac{6M}{\text{comprimento} \cdot e^2} \quad (14)$$

Onde o comprimento é adotado com valor unitário, isto é, considerando 1 m de muro na longitudinal.

Os resultados destas equações são atendidos pelas Equações (15) e (16).

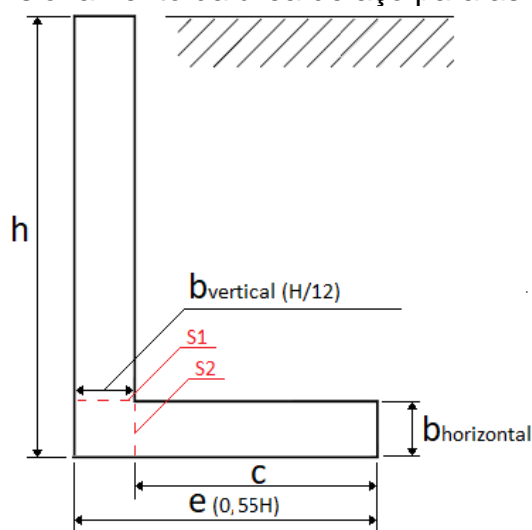
$$\sigma_{sm\acute{a}x} < 200 \text{ kN} \frac{\text{m}^2}{\text{m}} \quad (15)$$

$$\sigma_{sm\grave{m}in} > 0 \quad (16)$$

3.2.5. Cálculo da armadura de aço

A Figura 17 ilustra as seções das áreas mais críticas (S1 e S2) onde deve-se determinar o momento para cálculo da armadura.

Figura 17 - Dimensionamento da área de aço para as seções S1 e S2.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O cálculo do Momento (M_{Si}) na Seção Si é dado pela Equação (17).

$$M_{Si} = Ka \cdot \gamma_s \cdot \left(\frac{h^3}{6} \right) \quad (17)$$

Para calcular a tensão (σ_{S2}) na Seção S2 é utilizada a Equação (18).

$$\sigma_{S2} = \frac{P}{\text{comprimento} \cdot e} + \frac{12M}{\text{comprimento} \cdot e^3} \cdot y_{S2} \quad (18)$$

O cálculo do Momento (M_{S2}) na Seção S2 é ilustrado pela Equação (19).

$$M_{S2} = largura \cdot \left(\frac{\sigma_{smín} \cdot c^2}{2} + (\sigma_3 - \sigma_{smín}) \cdot \frac{c^2}{6} - \gamma \cdot h \cdot \frac{c^2}{2} \right) \quad (19)$$

3.2.5.1. Dimensionamento da área de aço para as seções Si

O cálculo do momento de cálculo ($M_{d,Si}$) é demonstrado pela Equação (20), em que a seção S_i trata-se da seção no ponto i , sendo $i = 1$ ou 2 .

$$M_{d,Si} = 1,4 \cdot M_{Si} \quad (20)$$

O cálculo da altura útil (d) é dado pela Equação (21).

Onde:

- d é a distância do centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida do concreto;
- Φ_l é o diâmetro da barra de aço da armadura;
- c é o cobrimento da armadura, foi adotado cobrimento de 3 cm, em conformidade com a NBR 6118 (ABNT, 2014) e barras com diâmetro de 1,6 cm.

$$d = h - c - \frac{\Phi_l}{2} \quad (21)$$

O cálculo da distância da linha neutra (x) é ilustrado na equação (22).

$$x = \frac{0,68 \cdot d + \sqrt{(0,68 \cdot d)^2 - 4 \cdot 0,272 \cdot \frac{Md}{b_w \cdot f_{cd}}}}{0,544} \quad (22)$$

O valor adotado para x é aquele que resulta dentro da seção transversal analisada.

Para calcular a distância do braço de alavanca (z), utilizamos a equação (23).

$$z = d - (0,4 \cdot X) \quad (23)$$

O cálculo da área de aço da seção A_{si} é dado pela equação (24).

$$A_{si} = \frac{M_{d,si}}{z \cdot f_{yd}} \quad (24)$$

A área de aço mínima é calculada pela equação (25).

$$A_{si,min} = 0,15\% \cdot A_{si} \quad (25)$$

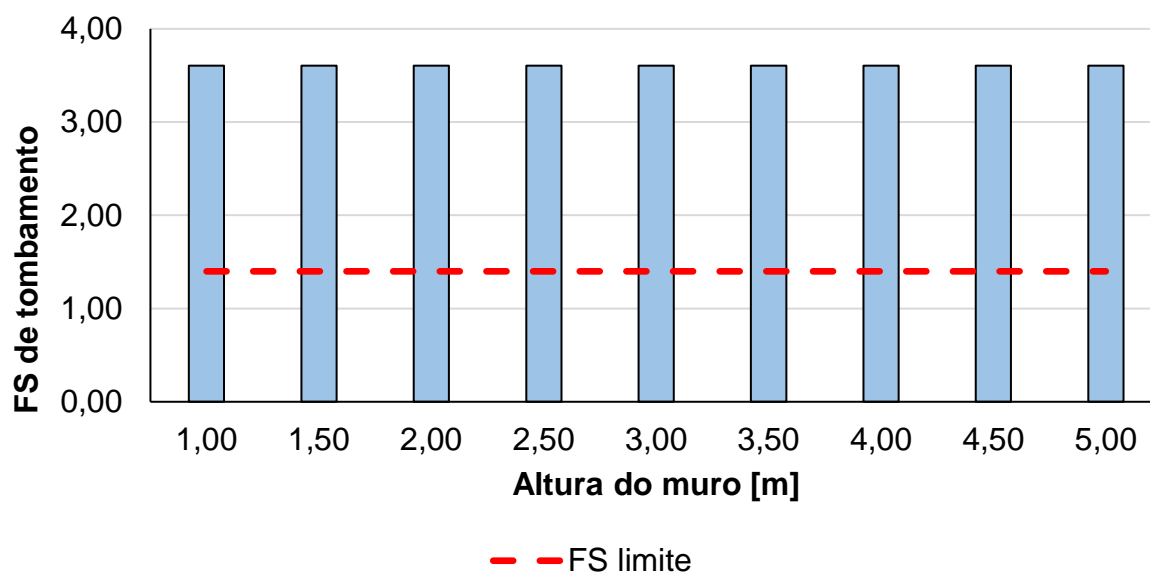
Deve-se adotar o maior valor entre $A_{si,min}$ e A_{si} .

4. RESULTADOS

4.1. INFLUÊNCIA DA ALTURA DO MURO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

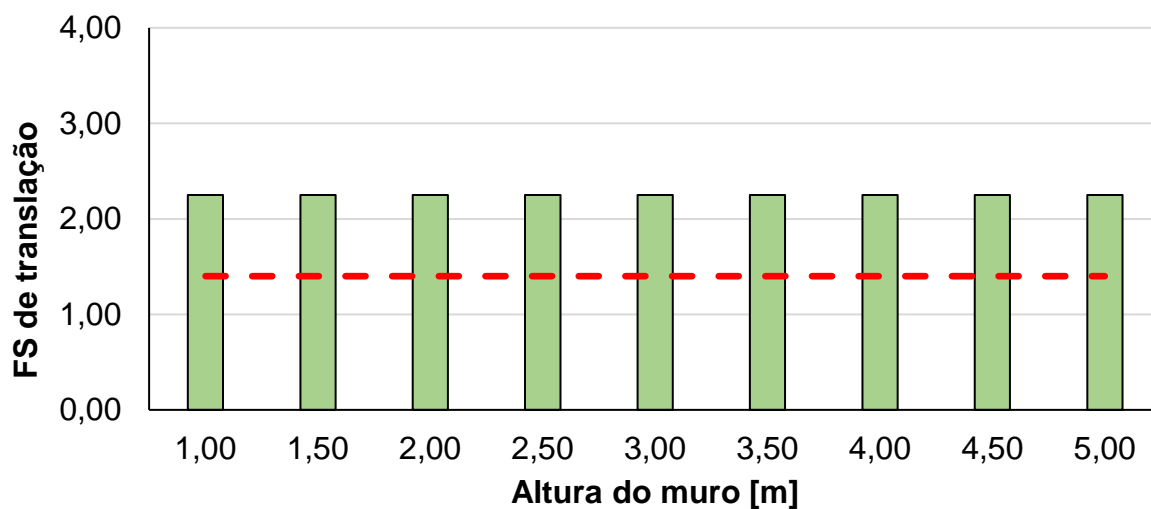
As Figuras 18 e 19 ilustram a influência da altura do muro nos fatores de segurança ao tombamento e à translação. Observou-se que, para o muro com formato em “L” e seguindo as recomendações de pré-dimensionamento expostas na seção 3.1 do presente trabalho, o fator de segurança ao tombamento e à translação foi atendido em todos os casos e não é influenciado pela altura do muro nos parâmetros variados neste trabalho.

Figura 18 - Influência da altura do muro no FS ao tombamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Influência da altura do muro no FS de translação.

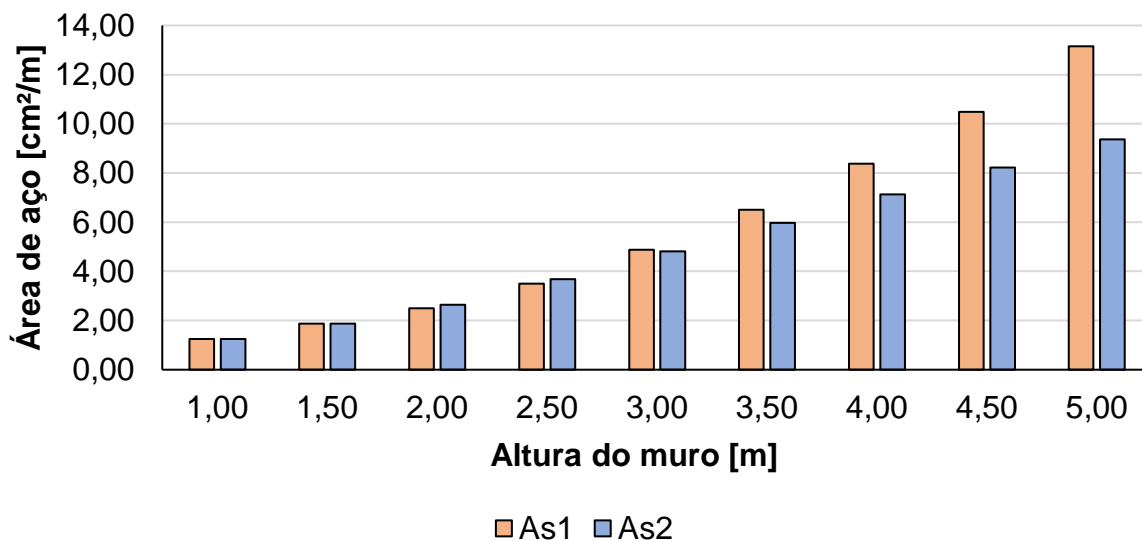


— FS limite

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 20 demonstra a influência da altura do muro nas armaduras de aço para as seções A_{s1} e A_{s2} . Observa-se que, na seção S_1 , a área de aço tem um aumento exponencial conforme a altura do muro varia de 1 a 5 metros. Por sua vez, na seção S_2 , verifica um comportamento linearmente na área de aço. Além disso, a área de aço A_{s1} torna-se maior que a A_{s2} para muros com altura superior a 5 m. Este comportamento esta coerente com os resultados encontrados por Rocha (2016), os quais mostraram que muros de arrimo clássicos em concreto armado são viáveis até 5 m. A partir dessa altura, passa-se a ter elevadas solicitações e consumo de aço.

Figura 20 - Influência da altura do muro nas áreas de aço.

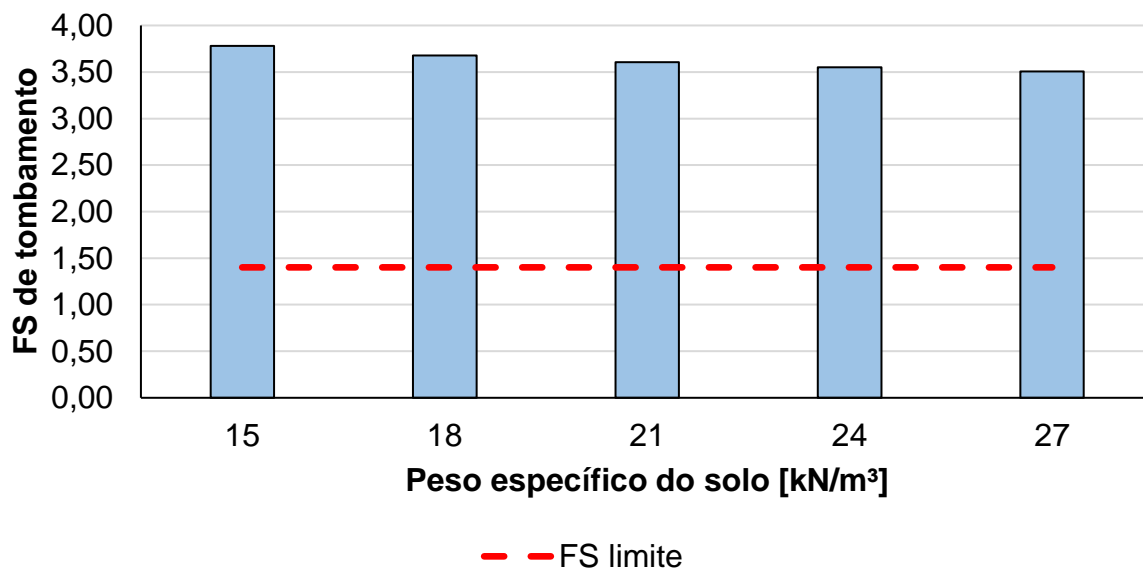


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2. INFLUÊNCIA DO PESO ESPECÍFICO DO SOLO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

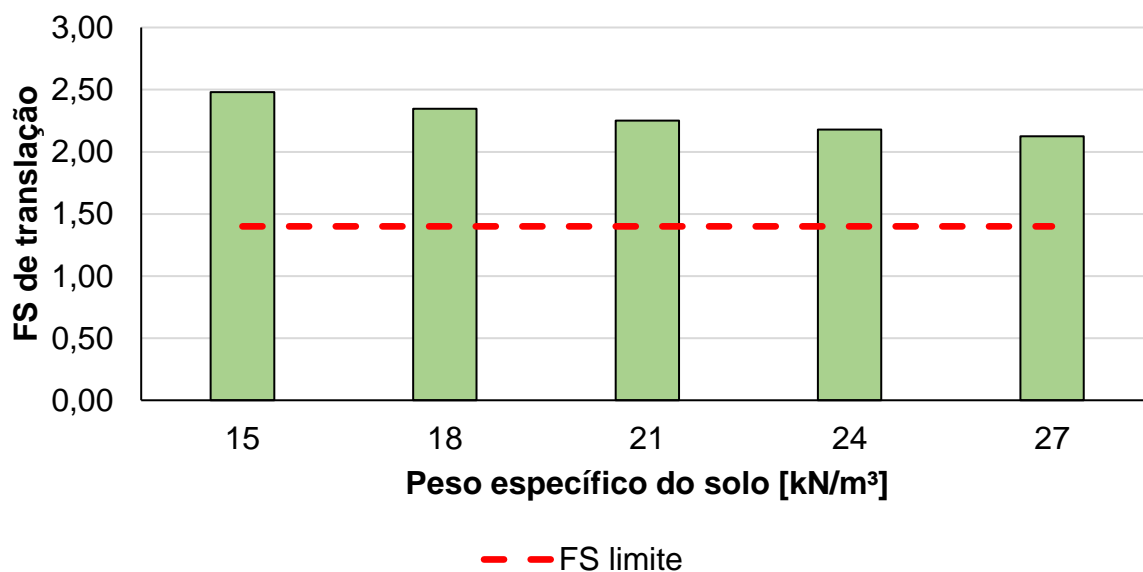
A influência do peso específico do solo em relação à segurança ao tombamento e à translação são apresentadas pelas Figuras 21 e 22, respectivamente. Verifica-se que o aumento de 80% no peso específico do solo causou redução de, aproximadamente, 9% no FS ao tombamento (Figura 21) e a redução de 17% no FS à translação (Figura 22).

Figura 21 - Influência do peso específico no FS ao tombamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

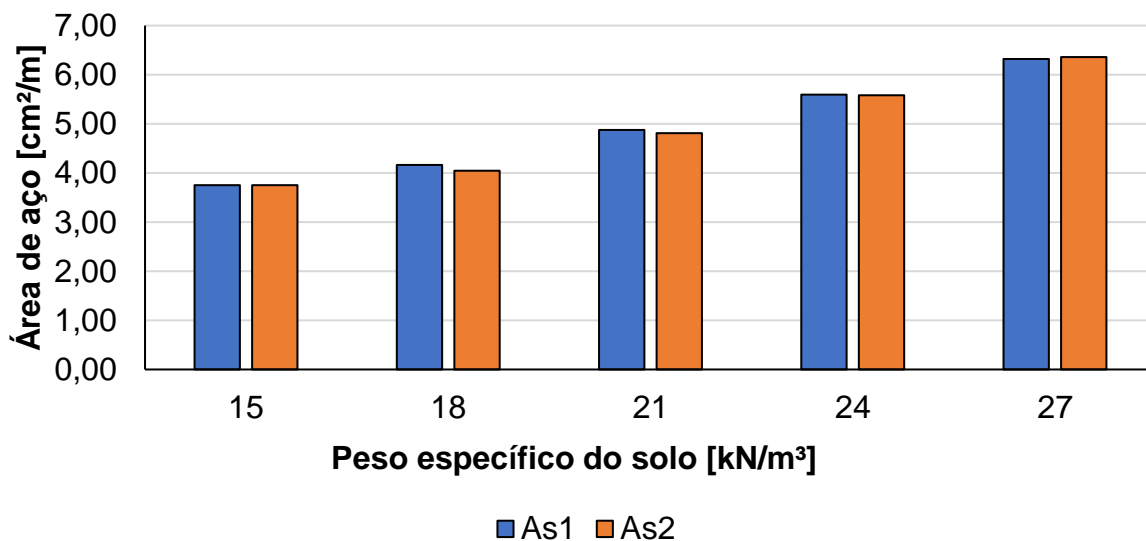
Figura 22 - Influência do peso específico no FS de translação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 23 mostra a influência do peso específico do solo nas áreas de aço A_{s1} e A_{s2} . Nota-se que os valores de A_{s1} e A_{s2} são praticamente iguais para cada peso específico variado entre 15 e 27 kN/m³. Além disso, observa-se que, com o aumento de 80% do peso específico, as áreas A_{s1} e A_{s2} aumentaram em 59%.

Figura 23 - Influência do peso específico do solo nas áreas de aço.

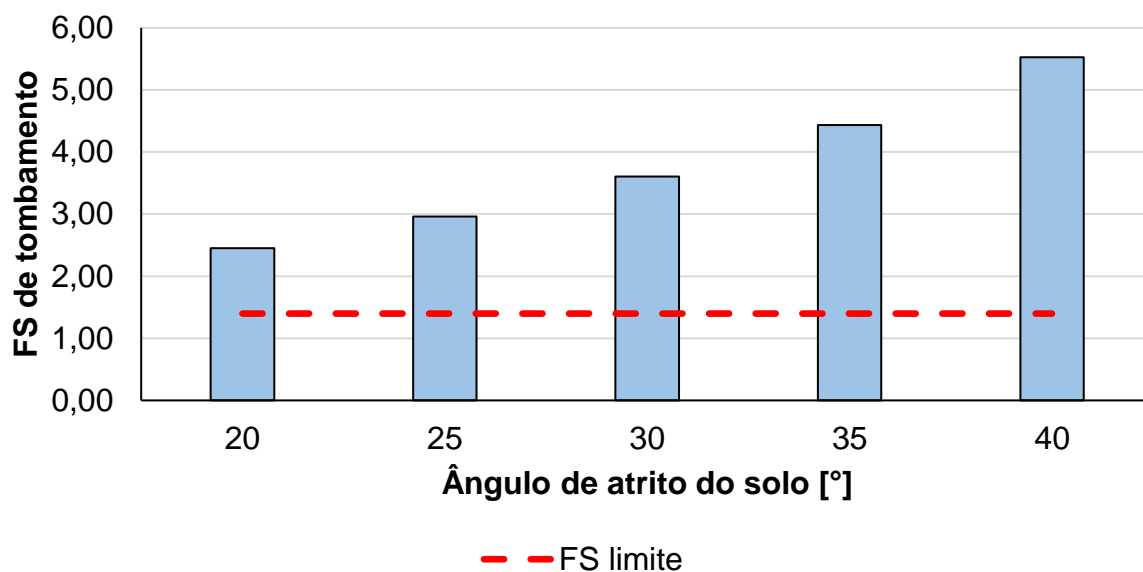


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE ATRITO DO SOLO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

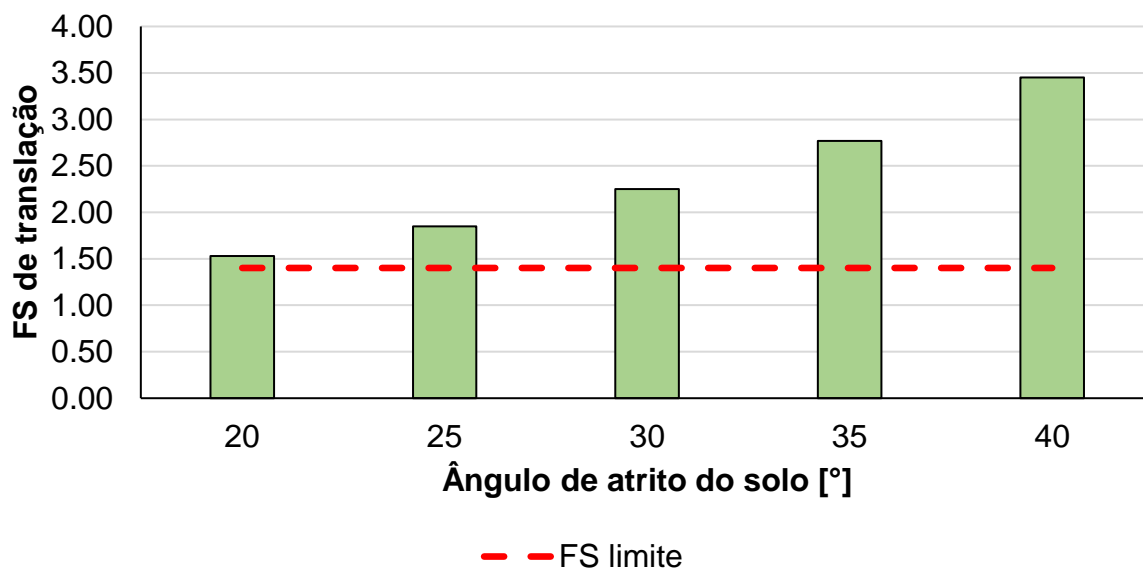
As Figuras 24 e 25 apresentam as influências do ângulo de atrito do solo no FS ao tombamento e no FS de translação, respectivamente. Nota-se forte influência do ângulo de atrito, implicando em comportamentos praticamente exponenciais dos fatores de segurança. Quantitativamente, um aumento de 100% no ângulo de atrito do solo causou aumentos de, aproximadamente, 125% nos FS ao tombamento e no FS de translação.

Figura 24 - Influência do ângulo de atrito do solo no FS ao tombamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

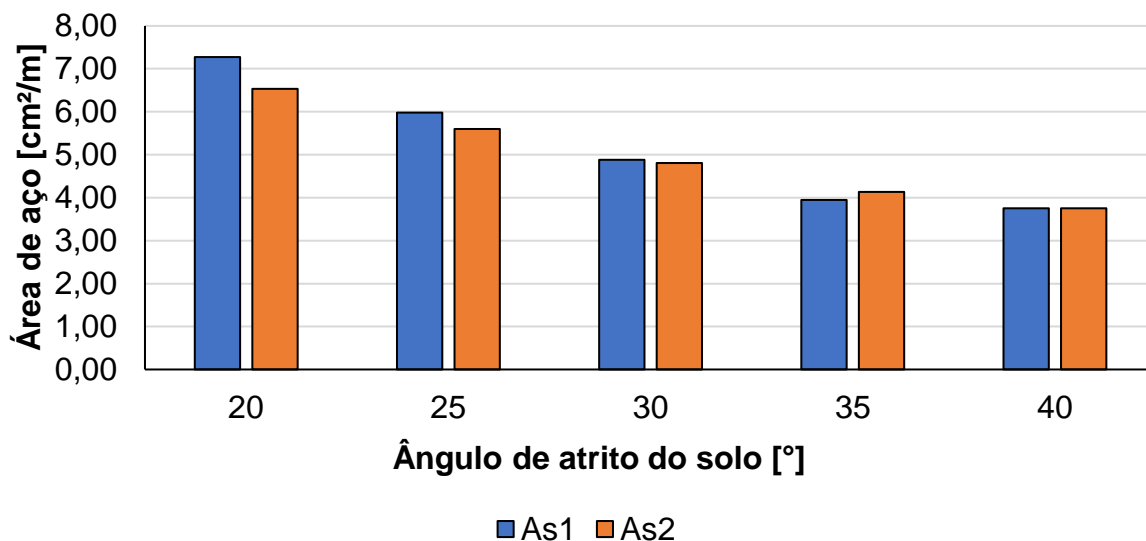
Figura 25 - Influência do ângulo de atrito do solo no FS de translação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 26 expõe a influência do ângulo de atrito do solo nas áreas de aço das seções S₁ e S₂. Verificou-se que, um aumento de 100% no ângulo de atrito do solo causou reduções de 52% em A_{s1} e 57% em A_{s2}.

Figura 26 - Influência do ângulo de atrito do solo nas áreas de aço.



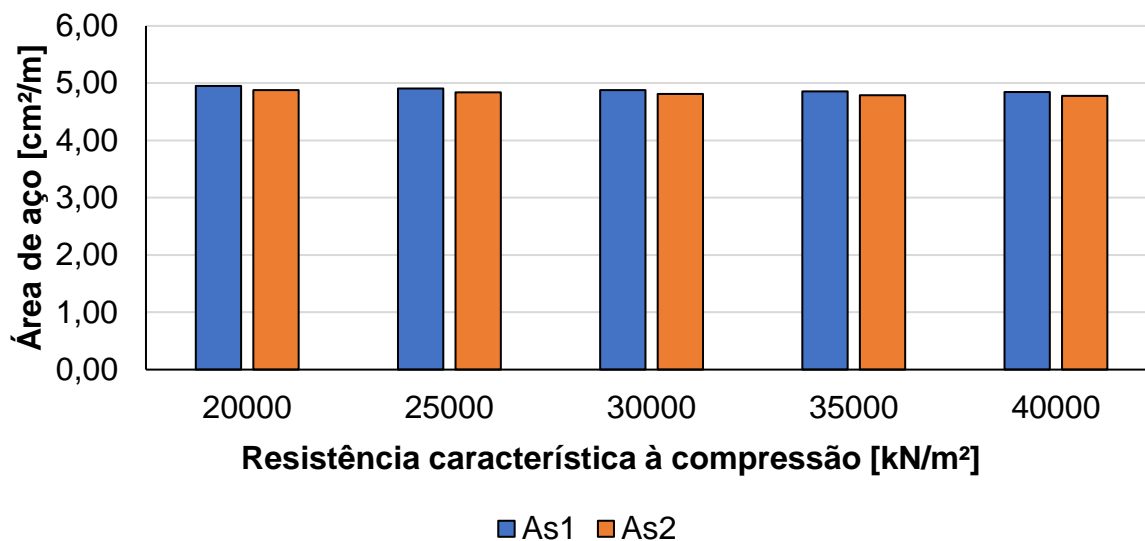
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4. INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

Observa-se que a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) do concreto não influencia em nada nos fatores de segurança, pois não tem correlação entre eles. Eles dependem somente das propriedades do solo e da geometria do muro.

A Figura 27 ilustra a influência da resistência característica do concreto à compressão nas áreas de aço A_{s1} e A_{s2} . Verificou-se que a classe do concreto causou baixa influência nas áreas de aço. Quantitativamente, aumentos de 100% no f_{ck} do concreto causaram reduções de, aproximadamente, 1,4% nas áreas de aço.

Figura 27 - Influência da resistência característica do concreto nas áreas de aço.

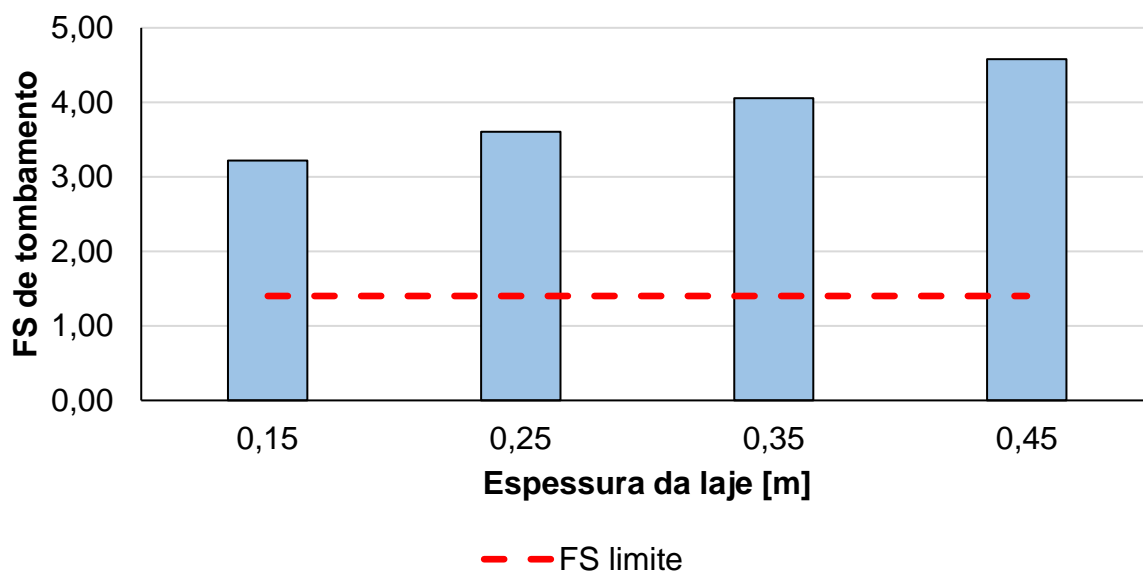


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA LAJE NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

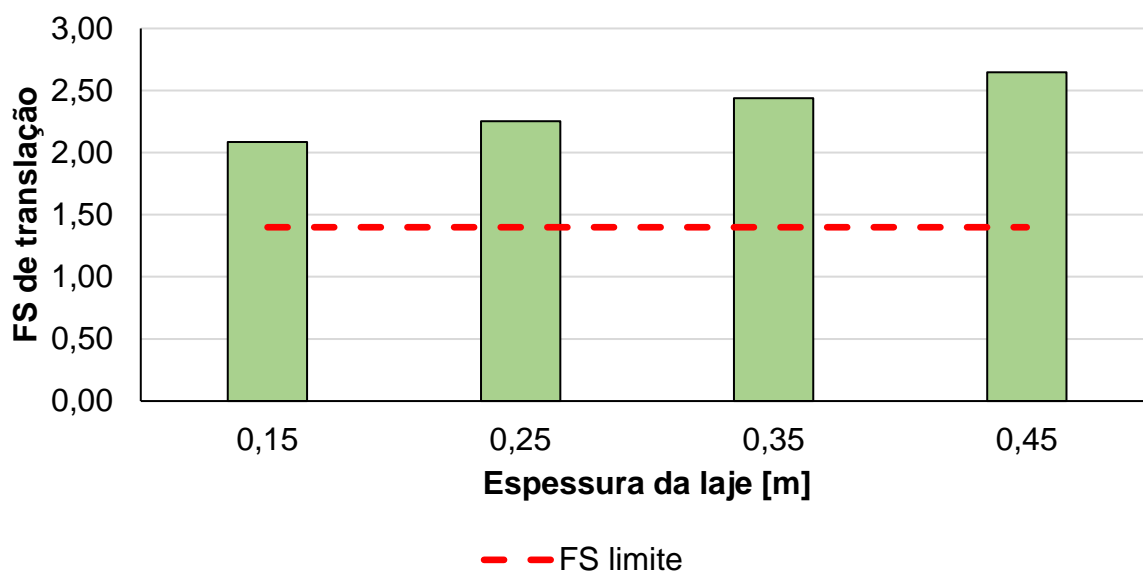
As Figuras 28 e 29 apresentam a influência da espessura da laje nos fatores de segurança ao tombamento e à translação, respectivamente. Nota-se que, com um aumento de 200% na espessura da laje, o FS ao tombamento aumentou em 42% e o FS à translação em 26%, aproximadamente. Logo, a espessura da laje auxilia de forma mais impactante na verificação do tombamento.

Figura 28 - Influência da espessura da laje no FS ao tombamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Influência da espessura da laje no FS de translação.



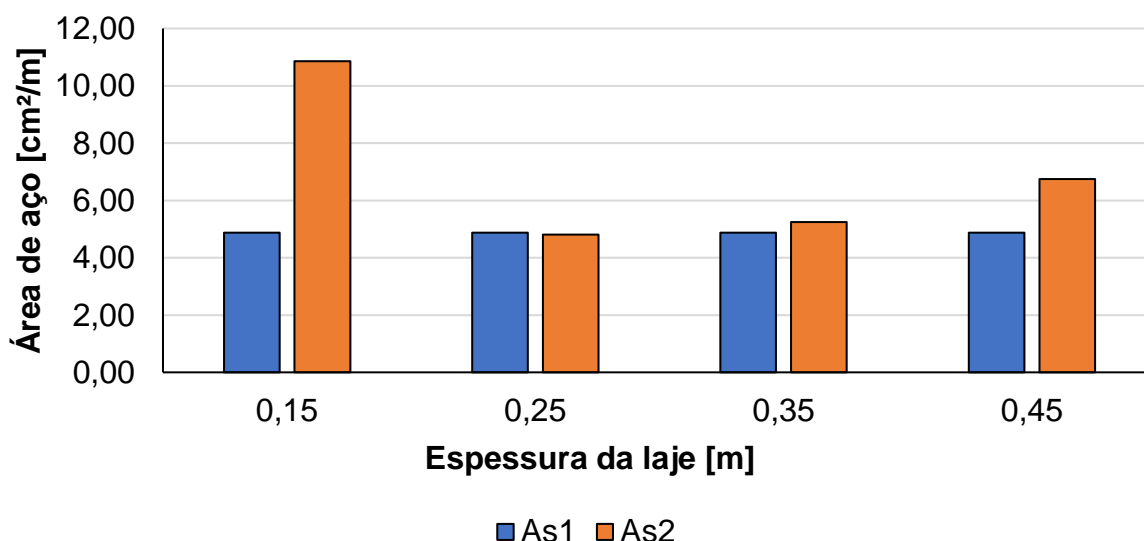
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 30 evidencia a influência da espessura da laje sobre a área de aço das seções A_{s1} e A_{s2} . Para a espessura da laje de 0,15 m, observa-se que a área de aço para a seção A_{s2} é altamente solicitada por não cumprir o pré-dimensionamento mínimo de 25 cm ($h/12$) para a altura de 3 metros, conforme Domingues (1997). A medida que a espessura da laje atende ao pré-dimensionamento a área de aço da seção A_{s2} tem comportamento próximo a exponencial. Desconsiderando a espessura

da laje abaixo do pré-dimensionado, um aumento de 80% na espessura da laje provoca um aumento de 40% em A_{s2} .

A seção S_1 , por sua vez, não tem sua área de aço afetada significativamente pela espessura da laje.

Figura 30 - Influência da espessura da laje nas áreas de aço.

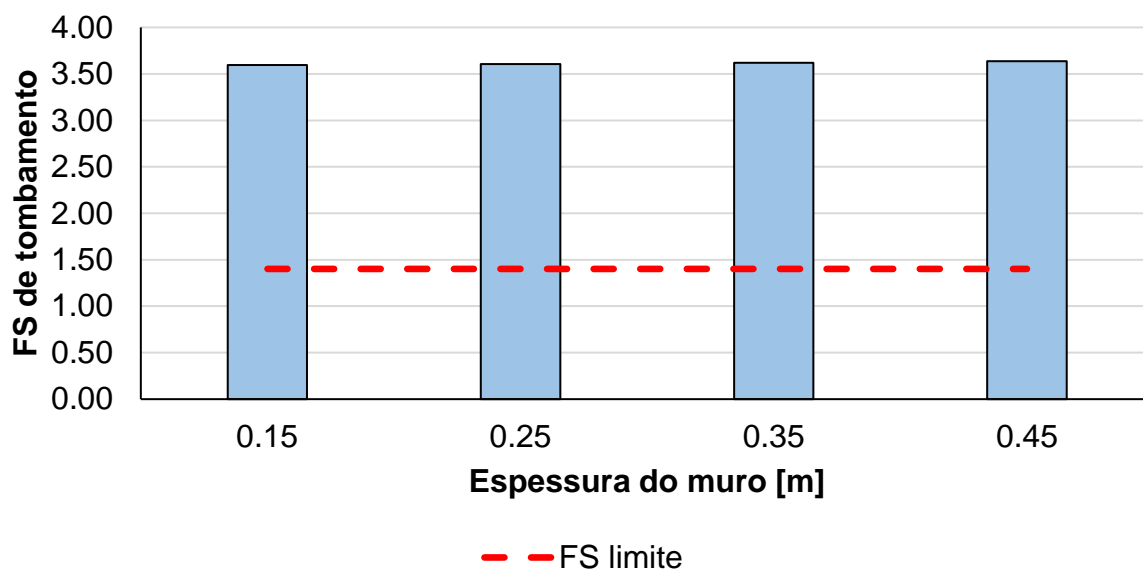


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO MURO NO DIMENSIONAMENTO DE MUROS DE ARRIMO EM CONCRETO ARMADO

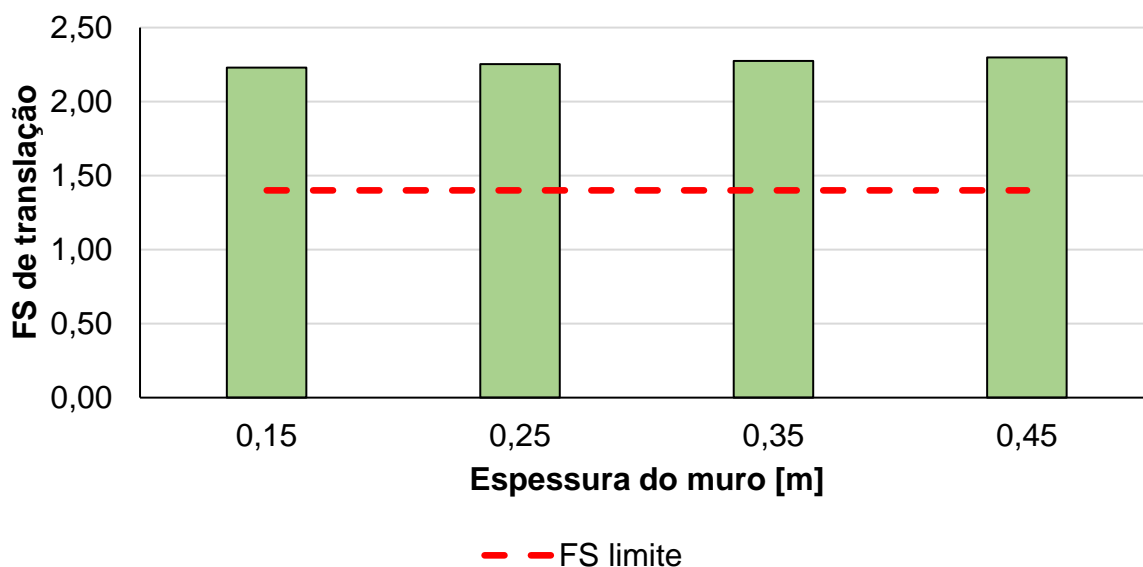
As Figuras 31 e 32 apresentam como os fatores de segurança ao tombamento e à translação são afetados pela espessura do muro. De imediato, observa-se que tal parâmetro praticamente não exerceu influência nos fatores de segurança. Especificamente, aumentos de 200% na espessura do muro acarretaram aumentos inferiores a 1% nos fatores de segurança.

Figura 31 - Influência da espessura do muro no FS ao tombamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 - Influência da espessura do muro no FS de translação.



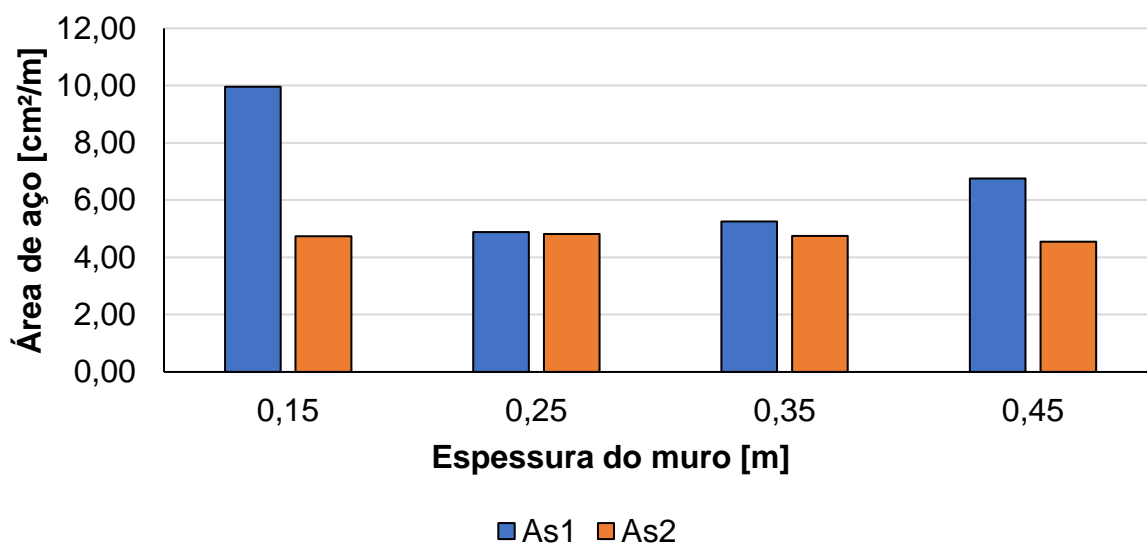
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 33 mostra a influência da espessura do muro nas áreas de aço A_{s1} e A_{s2} . Para a espessura do muro de 0,15 m, a seção A_{s1} (a qual está abaixo do limite de pré-dimensionamento) demandou 104% mais área de aço, em comparação com a espessura de 0,25 m (que está dentro do limite de pré-dimensionamento).

Avaliando somente os casos que atenderam as recomendações de pré-dimensionamento (espessuras superiores a 0,25 m), um aumento de 80% na espessura do muro causou uma redução de 38% em A_{s1} e, analogamente com o

observado na seção 4.5, a área de aço A_{s2} possui influência praticamente desprezível com a variação da espessura do muro.

Figura 33 – Gráfico da influência da espessura do muro nas áreas de aço.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Neste trabalho, buscou-se estudar as propriedades do solo, do concreto e da geometria no dimensionamento de muros de arrimo tipo “L” em concreto armado. Para tanto, foram desenvolvidas planilhas no software Microsoft Office Excel.

Observou-se que a altura do muro e a largura da laje não influenciaram os fatores de segurança ao tombamento e translação. Em relação a área de aço, os resultados mostraram que estes parâmetros influenciaram de forma exponencial a área de aço da seção S_1 e de forma linear a área de seção S_2 , justificando a altura máxima economicamente viável ser de 5 metros.

O aumento do peso específico do solo reduziu os fatores de segurança de segurança ao tombamento e à translação. Além disso, tal parâmetro fez com que as áreas de aço nas seções S_1 e S_2 aumentassem significativamente.

Com relação a influência do ângulo de atrito do solo nos fatores de segurança ao tombamento e à translação, observou-se relação praticamente exponencial. Aumentos do ângulo de atrito do solo em 100% fizeram com que o FS ao tombamento aumentasse 126% e o FS à translação em 125%. Já a área de aço diminuiu em 52% na seção S_1 e 57% em S_2 .

A variação dos parâmetros de resistência característica a compressão do concreto não influenciou os fatores de segurança ao tombamento e à translação. Na área de aço, também verificou-se influência praticamente desprezível.

Por outro lado, a espessura da laje influenciou aumentando os fatores de segurança ao tombamento e à translação. Na condição de espessura da laje de 0,15 m, não se tinha um atendimento às recomendações de pré-dimensionamento. Isso resultou em um aumento exacerbado na área de aço da seção S_2 , o que certamente inviabilizaria a execução do muro. Ademais, a variação da espessura da laje dentro dos limites de pré-dimensionamento mostraram que tal variável causa uma redução significativa em A_{s2} .

Por fim, a espessura do muro demonstrou baixíssima influência nos fatores de segurança ao tombamento e à translação. Porém, a área de aço demonstrou na seção do muro possuir um comportamento inversamente exponencial com esse parâmetro.

Em suma, os parâmetros que provocaram maior influência no comportamento do muro de arrimo foram o peso específico e o ângulo de atrito do solo. Assim, a realização de ensaios para conhecer as propriedades do solo é imprescindível para fundamentar a otimização do projeto em termos técnicos e econômicos.

Especificamente quanto ao ângulo de atrito do solo, verifica-se uma forte correlação geral com as verificações de segurança e com o dimensionamento da área de aço. A medida que este parâmetro aumenta a área de aço é minimizada e a segurança, maximizada.

Além disso, com a evolução técnico-científica, é cada vez mais frequente a utilização de redes neurais artificiais para análise de sensibilidade de variáveis com o intuito de maximizar resistência, segurança, além de outros fatores e minimizar custos. Este trabalho pode ser considerado a primeira parte para uma sequência de análises mais aprofundadas com resultados mais amplos que facilitam tomadas de decisões.

REFERÊNCIAS

ANAMT - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO. Disponível em: <<https://www.anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>>. Acesso em: 24 Setembro 2021.

COSTA, M. D. **Comparação de métodos empíricos e numéricos para o dimensionamento de muros de solos reforçados com geossintéticos**. [Monografia, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil]: [s.n.], 2021. Disponível em: <<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/3399>>.

DAS, B. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6ª. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DOMINGUES, P. C. **Indicações para projeto de muros de arrimo em concreto armado**. [Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, SP, Brasil]: [s.n.], 1997. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-20032018-104408/publico/Dissert_Domingues_PauloC.pdf>.

FERREIRA, A. S. et al. AUTOARRIMOS: um aplicativo para dispositivos móveis para dimensionamento de muro de arrimo por gravidade. **Revista Eletrônica TECCEN**, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.21727/teccen.v13i2.2263>>. Acesso em: 25 Setembro 2021.

GERSCOVICH, D. M. S. Estruturas de Contenção - Muros de Arrimo, Rio Janeiro, RJ, 2010. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>>. Acesso em: 24 Setembro 2021.

HUNTINGTON, W. C. **Earth pressure and retaining walls**. New York: John Wiley & Sons, 1957.

JORNAL ESTADO DE MINAS. **Site do Estado de Minas**, 2018. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2018/03/13/interna_gerais,943909/video-mostra-momento-da-queda-de-muro-no-bairro-sao-bento-no-domingo.shtml>.

Acesso em: 23 Setembro 2021.

JÚNIOR, J. B. **Estudo comparativo entre muros de arrimo de gabião e concreto armado**: dimensionamento e custo benefício para solos arenosos. [Trabalho de conclusão de curso, Centro Universitário de João Pessoa - UNIPÊ, João Pessoa, PB]:

[s.n.], 2019. Disponível em: <<https://bdtcc.unipe.edu.br/wp-content/uploads/2020/01/TCC-Muro-de-Arrimo-2.pdf>>.

MARCHETTI, O. **Muros de Arrimo**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2007.

MOLITERNO, A. **Caderno de muros de arrimo**. São Paulo: Edigard Blucher Ltda., 1980.

PINTO, C. D. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, L. C. D. M.; COSTA, R. C. P. **Dimensionamento de muro de arrimo em concreto armado com sapata corrida**. [Trabalho de conclusão de curso, FACEG Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO]: [s.n.], 2020. Disponível em: <<http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/9406>>.

ROCHA, A. R. A. **Estudo comparativo de muros de arrimo executados em concreto armado, quando dimensionados para alturas diferentes**. Trabalho de conclusão de curso, UNISMG- Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, MG: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/174>>.

TORRES, L. Y.; CURADO, T. D. S.; SILVA, E. D. D. **Análise numérica comparativa entre soluções de contenção em solo**. GEOCENTRO. Brasília-DF: [s.n.]. 2019.

UNITED STATES NAVY. **Foundations and earth structures design manual 7.2**. Dept. of the Navy, Navy Facilities Engineering Command, Alexandria, Va, US: [s.n.], 1982.

APÊNDICE 1 - PLANILHA DE CÁLCULOS

#ID	Grupo	h [m]	γ_n [kN/m ³]	Φ (°)	f _{ck} [kN/m ²]	b _{horizontal} [m]	b _{vertical} [m]	e [m]
1	1	1,00	21	30	30000	0,08	0,08	0,55
2		1,50	21	30	30000	0,13	0,13	0,83
3		2,00	21	30	30000	0,17	0,17	1,10
4		2,50	21	30	30000	0,21	0,21	1,38
5		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
6		3,50	21	30	30000	0,29	0,29	1,93
7		4,00	21	30	30000	0,33	0,33	2,20
8		4,50	21	30	30000	0,38	0,38	2,48
9		5,00	21	30	30000	0,42	0,42	2,75
10	2	3,00	15	30	30000	0,25	0,25	1,65
11		3,00	18	30	30000	0,25	0,25	1,65
12		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
13		3,00	24	30	30000	0,25	0,25	1,65
14		3,00	27	30	30000	0,25	0,25	1,65
15	3	3,00	21	20	30000	0,25	0,25	1,65
16		3,00	21	25	30000	0,25	0,25	1,65
17		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
18		3,00	21	35	30000	0,25	0,25	1,65
19		3,00	21	40	30000	0,25	0,25	1,65
20	4	3,00	21	30	20000	0,25	0,25	1,65
21		3,00	21	30	25000	0,25	0,25	1,65
22		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
23		3,00	21	30	35000	0,25	0,25	1,65
24		3,00	21	30	40000	0,25	0,25	1,65
25	5	3,00	21	30	30000	0,15	0,25	1,65
26		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
27		3,00	21	30	30000	0,35	0,25	1,65
28		3,00	21	30	30000	0,45	0,25	1,65
29	6	3,00	21	30	30000	0,25	0,15	1,65
30		3,00	21	30	30000	0,25	0,25	1,65
31		3,00	21	30	30000	0,25	0,35	1,65
32		3,00	21	30	30000	0,25	0,45	1,65

1 - VERIFICAÇÃO QUANTO AO TOMBAMENTO										
MOMENTO TOMBAMENTO			MOMENTO DE RESTITUIÇÃO						FS _{tomb}	Tomba?
Ka	E [kN]	M _t [kN·m]	Peso _{mur} o	Peso _{laje} [kN]	Peso _{terra} a	M _{muro} [kN·m]	M _{laje} [kN·m]	M _{terra} [kN·m]		
0,33	2,94	0,90	1,91	1,15	8,98	0,08	0,32	2,8	3,60	SEGURO
0,33	6,62	3,03	4,30	2,58	20,21	0,27	1,06	9,6	3,60	SEGURO
0,33	11,76	7,19	7,64	4,58	35,93	0,64	2,52	22,8	3,60	SEGURO
0,33	18,38	14,04	11,94	7,16	56,15	1,24	4,92	44,4	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	36,03	38,53	23,39	14,04	110,05	3,41	13,51	122,0	3,60	SEGURO
0,33	47,06	57,51	30,56	18,33	143,73	5,09	20,17	182,1	3,60	SEGURO
0,33	59,55	81,89	38,67	23,20	181,91	7,25	28,71	259,2	3,60	SEGURO
0,33	73,52	112,33	47,74	28,65	224,58	9,95	39,39	355,6	3,60	SEGURO
0,33	18,91	17,33	17,19	10,31	57,75	2,15	8,51	54,9	3,78	SEGURO
0,33	22,69	20,80	17,19	10,31	69,30	2,15	8,51	65,8	3,68	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	30,25	27,73	17,19	10,31	92,40	2,15	8,51	87,8	3,55	SEGURO
0,33	34,03	31,20	17,19	10,31	103,95	2,15	8,51	98,8	3,51	SEGURO
0,49	38,93	35,69	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	2,45	SEGURO
0,41	32,23	29,54	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	2,96	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,27	21,52	19,73	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	4,43	SEGURO
0,22	17,27	15,83	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	5,53	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	28,43	27,01	17,81	6,19	83,79	2,23	5,10	79,6	3,22	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	24,58	21,71	16,56	14,44	77,91	2,07	11,91	74,0	4,05	SEGURO
0,33	22,76	19,34	15,94	18,56	74,97	1,99	15,31	71,2	4,58	SEGURO
0,33	26,47	24,26	10,31	10,31	86,63	0,77	8,51	78,0	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	17,19	10,31	80,85	2,15	8,51	76,8	3,60	SEGURO
0,33	26,47	24,26	24,06	10,31	75,08	4,21	8,51	75,1	3,62	SEGURO
0,33	26,47	24,26	30,94	10,31	69,30	6,96	8,51	72,8	3,64	SEGURO

2 - VERIFICAÇÃO QUANTO A TRANSLAÇÃO				3 - CÁLCULO DAS TENSÕES NO SOLO			
μ	F_{atrito} [kN]	$F_{\text{s,translação}}$	Translação?	ANÁLISE DA FÓRMULA		$\sigma_{s,\text{máx}}$ [kN/m ² /m]	$\sigma_{s,\text{min}}$ [kN/m ² /m]
				$M_{\text{CentroSapata}}$ [kN·m]	Fórmula Res. Mat.?		
0,55	6,62	2,25	SEGURO	0,97	OK	41,13	2,65
0,55	14,90	2,25	SEGURO	3,27	OK	61,69	3,98
0,55	26,49	2,25	SEGURO	7,76	OK	82,25	5,30
0,55	41,38	2,25	SEGURO	15,16	OK	102,82	6,63
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	81,11	2,25	SEGURO	41,59	OK	143,94	9,28
0,55	105,94	2,25	SEGURO	62,08	OK	164,51	10,60
0,55	134,08	2,25	SEGURO	88,38	OK	185,07	11,93
0,55	165,53	2,25	SEGURO	121,24	OK	205,64	13,25
0,55	46,89	2,48	SEGURO	22,14	OK	100,47	2,87
0,55	53,24	2,35	SEGURO	24,17	OK	111,92	5,41
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	65,95	2,18	SEGURO	28,21	OK	134,84	10,49
0,55	72,30	2,12	SEGURO	30,23	OK	146,30	13,04
0,55	59,59	1,53	SEGURO	37,61	NÃO USAR	148,56	-17,23
0,55	59,59	1,85	SEGURO	31,47	NÃO USAR	135,02	-3,68
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,77	SEGURO	21,65	OK	113,38	17,95
0,55	59,59	3,45	SEGURO	17,75	OK	104,79	26,54
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,28	2,09	SEGURO	29,00	OK	129,24	1,41
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	59,90	2,44	SEGURO	23,57	OK	117,94	14,07
0,55	60,21	2,65	SEGURO	21,13	OK	112,91	19,78
0,55	58,99	2,23	SEGURO	25,50	OK	121,20	8,80
0,55	59,59	2,25	SEGURO	26,19	OK	123,38	7,95
0,55	60,20	2,27	SEGURO	26,77	OK	125,32	7,35
0,55	60,80	2,30	SEGURO	27,23	OK	127,02	6,98

4 - DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA												
M_{S1} [kN·m/m]	σ_{S2} [kN·m ²]	c [m]	M_{S2} [kN·m/m]	DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DE AÇO DA SEÇÃO S1								
				$M_{d,S1}$ [kN·m/m]	d [m]	x' [m]	x'' [m]	x [m]	z [m]	A_{s1} [cm ² /m]	$A_{s1,min}$ [cm ² /m]	$A_{s1,adot}$ [cm ² /m]
1,17	17,60	0,47	-1,46	1,63	0,05	0,115	0,002	0,002	0,05	0,81	1,25	1,25
3,94	29,55	0,70	-4,65	5,51	0,09	0,218	0,004	0,004	0,09	1,46	1,88	1,88
9,33	43,60	0,93	-10,42	13,07	0,13	0,319	0,007	0,007	0,13	2,36	2,50	2,50
18,23	59,74	1,17	-19,17	25,52	0,17	0,420	0,010	0,010	0,17	3,50	3,13	3,50
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
50,02	98,32	1,63	-46,07	70,03	0,26	0,619	0,019	0,019	0,25	6,50	4,38	6,50
74,67	120,76	1,87	-63,90	104,53	0,30	0,718	0,025	0,025	0,29	8,37	5,00	8,37
106,31	145,29	2,10	-84,05	148,84	0,34	0,816	0,031	0,031	0,33	10,49	5,63	10,49
145,83	171,93	2,33	-105,77	204,17	0,38	0,913	0,038	0,038	0,37	12,86	6,25	12,86
22,50	63,72	1,40	-21,41	31,50	0,21	0,524	0,010	0,010	0,21	3,46	3,75	3,75
27,00	70,85	1,40	-26,24	37,80	0,21	0,522	0,012	0,012	0,21	4,16	3,75	4,16
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
36,00	85,12	1,40	-35,90	50,40	0,21	0,518	0,017	0,017	0,21	5,60	3,75	5,60
40,50	92,25	1,40	-40,73	56,70	0,21	0,516	0,019	0,019	0,21	6,32	3,75	6,32
46,33	95,53	1,40	-41,79	64,87	0,21	0,513	0,022	0,022	0,21	7,28	3,75	7,28
38,35	86,09	1,40	-36,02	53,70	0,21	0,517	0,018	0,018	0,21	5,98	3,75	5,98
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
25,61	71,01	1,40	-26,81	35,85	0,21	0,523	0,012	0,012	0,21	3,94	3,75	3,94
20,55	65,03	1,40	-23,16	28,77	0,21	0,525	0,009	0,009	0,21	3,15	3,75	3,75
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,512	0,022	0,022	0,20	4,95	3,75	4,95
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,517	0,018	0,018	0,21	4,91	3,75	4,91
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,522	0,012	0,012	0,21	4,86	3,75	4,86
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,524	0,011	0,011	0,21	4,84	3,75	4,84
31,50	82,11	1,40	-34,00	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
31,50	74,15	1,40	-28,33	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
31,50	70,60	1,40	-25,75	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
31,50	89,86	1,50	-30,58	44,10	0,11	0,255	0,030	0,030	0,10	9,96	2,25	9,96
31,50	77,98	1,40	-31,07	44,10	0,21	0,520	0,015	0,015	0,21	4,88	3,75	4,88
31,50	65,47	1,30	-30,66	44,10	0,31	0,775	0,010	0,010	0,31	3,27	5,25	5,25
31,50	52,41	1,20	-29,43	44,10	0,41	1,027	0,007	0,007	0,41	2,47	6,75	6,75

DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA								
DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DE AÇO DA SEÇÃO S2								
$M_{d,s2}$ [kN·m/m]	d [m]	x' [m]	x'' [m]	x [m]	z [m]	A_{s2} [cm ² /m]	$A_{s2,min}$ [cm ² /m]	$A_{s2,adot}$ [cm ² /m]
2,04	0,05	0,115	0,003	0,003	0,05	1,02	1,25	1,25
6,52	0,09	0,217	0,005	0,005	0,09	1,73	1,88	1,88
14,59	0,13	0,318	0,008	0,008	0,13	2,64	2,50	2,64
26,84	0,17	0,419	0,011	0,011	0,17	3,68	3,13	3,68
43,50	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,81	3,75	4,81
64,50	0,26	0,621	0,018	0,018	0,25	5,98	4,38	5,98
89,46	0,30	0,721	0,021	0,021	0,29	7,13	5,00	7,13
117,67	0,34	0,822	0,025	0,025	0,33	8,23	5,63	8,23
148,08	0,38	0,924	0,028	0,028	0,37	9,22	6,25	9,22
29,98	0,21	0,525	0,010	0,010	0,21	3,29	3,75	3,75
36,74	0,21	0,522	0,012	0,012	0,21	4,04	3,75	4,04
43,50	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,81	3,75	4,81
50,26	0,21	0,518	0,017	0,017	0,21	5,58	3,75	5,58
57,02	0,21	0,515	0,019	0,019	0,21	6,36	3,75	6,36
58,50	0,21	0,515	0,019	0,019	0,21	6,53	3,75	6,53
50,43	0,21	0,518	0,017	0,017	0,21	5,60	3,75	5,60
43,50	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,81	3,75	4,81
37,54	0,21	0,522	0,012	0,012	0,21	4,13	3,75	4,13
32,42	0,21	0,524	0,011	0,011	0,21	3,56	3,75	3,75
43,50	0,21	0,513	0,022	0,022	0,21	4,88	3,75	4,88
43,50	0,21	0,517	0,017	0,017	0,21	4,84	3,75	4,84
43,50	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,81	3,75	4,81
43,50	0,21	0,522	0,012	0,012	0,21	4,79	3,75	4,79
43,50	0,21	0,524	0,011	0,011	0,21	4,78	3,75	4,78
47,59	0,11	0,252	0,032	0,032	0,10	10,86	2,25	10,86
43,50	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,81	3,75	4,81
39,66	0,31	0,776	0,009	0,009	0,31	2,94	5,25	5,25
36,06	0,41	1,028	0,006	0,006	0,41	2,02	6,75	6,75
42,81	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,73	3,75	4,73
43,50	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,81	3,75	4,81
42,92	0,21	0,520	0,014	0,014	0,21	4,74	3,75	4,74
41,20	0,21	0,521	0,014	0,014	0,21	4,55	3,75	4,55