

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ENGENHARIA CIVIL

LUIZ FILIPE LORENCI

**ANÁLISES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO PARA O USO ESPECÍFICO EM
UMA OBRA NO BAIRRO PANTANAL EM FLORIANÓPOLIS**

FLORIANÓPOLIS

2021

LUIZ FILIPE LORENCI

**ANÁLISES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO PARA O USO ESPECÍFICO EM
UMA OBRA NO BAIRRO PANTANAL EM FLORIANÓPOLIS**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico (CTC) da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.

FLORIANÓPOLIS

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lorenci, Luiz Filipe

Análises de estruturas de contenção para o uso específico em uma obra no bairro Pantanal em Florianópolis / Luiz Filipe Lorenci ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, 2021.

84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Estudo de caso. 3. Estruturas de contenção. 4. Análise de estabilidade. 5. Quantitativo e orçamento. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Luiz Filipe Lorenci

**ANÁLISES DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO PARA O USO ESPECÍFICO EM
UMA OBRA NO BAIRRO PANTANAL EM FLORIANÓPOLIS**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Civil” e aprovado em sua forma final pelo curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 24 de setembro de 2021.

Prof^a. Liane Ramos da Silva, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Liseane Padilha Thives, Dra.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Cláudio Cesar Zimmermann, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Luiz Lorenci e Adiles
Terezinha Zamarchi Lorenci.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais, que são os grandes responsáveis por eu ser quem sou hoje, por todas as oportunidades de crescimento que me proporcionaram, além de todo amor e de todo o apoio.

Às minhas irmãs, Luna e Suellen, e ao meu cunhado, Bruno, por todo o companheirismo, paciência e carinho durante a minha trajetória.

À minha namorada e amiga, Marcela, por toda parceria durante esses anos e por estar do meu lado em todas as horas, dividindo momentos bons e ruins.

Aos meus amigos, colegas de sala e todo o pessoal da ATEC, que me acolheram durante a graduação, pelas experiências incríveis vividas juntos e pelas eternas amizades criadas.

Ao meu orientador, amigo, parceiro de futebol e profissional exemplar, Prof. Rafael Higashi, por todo incentivo, confiança e amizade.

À professora Liseane e ao professor Cláudio, pelos ensinamentos dentro de sala de aula, por aceitarem ser membros da minha banca e contribuir para o presente trabalho

A toda equipe da D'Campos, pela oportunidade de estágio e todo o aprendizado adquirido, além de contribuir para a elaboração deste TCC.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por ter me proporcionado um ensino de qualidade e a oportunidade de realizar um intercâmbio, além das outras infinitas oportunidades e experiências.

E por fim, a todos aqueles não citados, mas que de alguma forma contribuíram durante minha jornada para a realização desse trabalho.

*“Você pode encarar um erro como uma besteira a ser esquecida,
ou como um resultado que aponta uma nova direção.”*

Steve Jobs.

RESUMO

Com a ocupação desordenada de áreas urbanas e, conseqüentemente, com a ocorrência de desastres naturais, como deslizamentos e desabamentos de terra, a instabilidade de taludes têm sido alvo de preocupação e de muito estudo atualmente, na busca por soluções seguras e eficazes que possam impedir tais acontecimentos. Por isso, como medida preventiva e para contribuir com informações e dados a respeito desse tema, estudos e análises que verificam a estabilidade de taludes, além do dimensionamento de estruturas de contenção são importantes e agregam conteúdo para futuro trabalhos. Este trabalho é um estudo de caso de uma obra no bairro Pantanal, no município de Florianópolis e, tem como objetivo, avaliar e encontrar soluções seguras de estruturas de contenção para um talude em específico da obra, através do *Software* GEO5 e comparar essas alternativas em questão de custo e de fator de segurança. Primeiramente, com o apoio da empresa responsável, os dados foram coletados e levantados para se realizar uma pesquisa mais precisa, e então foram definidas as outras duas alternativas de estruturas de contenção, além da estrutura já previamente escolhida pela empresa responsável. Após a definição das estruturas, foi realizado um estudo na bibliografia, com o apoio dos dados já levantados, para estimar com a maior fidelidade possível todos os parâmetros e informações necessárias para a inserção dos mesmos no software e realizar a modelagem, verificando assim, o dimensionamento das estruturas de contenção para que elas cumprissem os fatores de segurança requeridos. Para efeitos comparativos, foi realizado também o orçamento dessas estruturas com o auxílio da Tabela SINAPI. Em síntese, o Muro de Flexão em concreto armado, previamente definido pela empresa, se mostrou a melhor alternativa dentre as estruturas propostas, não apenas pelo fato de cumprir todos as exigências de segurança e ter sido a estrutura com o menor custo de construção, mas também por possuir uma geometria mais esbelta, ao contrário das outras duas alternativas, e oferecer mais terreno disponível para a construção do empreendimento.

Palavras-chave: Análise de estabilidade. Estruturas de contenção. Muro de Flexão. Muro de gravidade de concreto ciclópico. Muro de gabião. *Software* GEO5.

ABSTRACT

Due to the disorderly occupation of urban areas and, consequently, natural disasters, such as landslides and slips, slope instability has been a great concern. Many studies are searching for safe and practical solutions that can prevent such events. Therefore, as a preventive measure and contributing with information and data on this topic, studies and analyses that verify the stability of slopes and the dimensioning of retaining structures are important and add content for future work. This work aims to evaluate a case study of a containment structure located in Pantanal neighborhood, in Florianópolis city. To evaluate and find safe solutions, through GEO5 Software and for a specific slope, some alternatives, in terms of cost and safety factors, were compared. First, with the support of the responsible company, the data were collected to carry out more thorough research. Then the other two alternatives for containment structures were defined, in addition to the structure previously chosen. After defining structures, the literature review was consulted for data support already collected to estimate as faithfully as possible all the parameters and information necessary for their insertion in the Software and perform the modeling. Thus, the containment structures designing so they meet the required safety factors were verified. As a comparison, the budget of that structures was also carried out using SINAPI Table. In conclusion, the Reinforced Concrete Bending Wall, the alternative previously defined by the company, proved to be the best alternative among the proposed structures. The choice was not only because it met all safety requirements and was the structure with the lowest construction cost, but also for having a slimmer geometry, different from the other two alternatives, and offering more land area available for the construction project.

Keywords: Stability Analysis. Containment Structures. Bending Wall. Cyclopean Concrete Gravity Wall. Gabian Wall. GEO5 Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de taludes	18
Figura 2 - Exemplo de contenção provisória.....	21
Figura 3 - Exemplo de contenção definitiva.....	22
Figura 4 - Terminologia das partes do muro de arrimo.....	23
Figura 5 - Muro de gravidade constituído por concreto ciclópico	24
Figura 6 - Muro de gabião	25
Figura 7 - Muro de flexão com seção transversal em forma de “L” com tirante	26
Figura 8 - Muro de flexão com seção transversal em forma de “T” invertido.....	26
Figura 9 - Muro de flexão com a utilização de contrafortes.....	27
Figura 10 - Componentes do equipamento do SPT.....	28
Figura 11 - Interface do módulo Estabilidade de Taludes do <i>Software</i> GEO5	31
Figura 12 -Localização de Florianópolis no estado de Santa Catarina.....	33
Figura 13 - Demarcação da Bacia Hidrográfica do Itacorubi.....	33
Figura 14 - Localização da obra na região central de Florianópolis	34
Figura 15 - Localização da obra e suas proximidades vista em satélite	34
Figura 16 - Visualização em 3D do futuro empreendimento	35
Figura 17 - Terreno da obra em seu estágio inicial	35
Figura 18 - Fluxograma do método de trabalho	36
Figura 19 - Talude em estudo.....	37
Figura 20 - Projeto topográfico do terreno	38
Figura 21 - Croqui indicativo dos furos para sondagem	39
Figura 22 - Relatório de sondagem SPT.....	40
Figura 23 - Perfil geológico.....	41
Figura 24 - Configurações iniciais do <i>software</i> (análise do muro)	42
Figura 25 - Perfil do solo.....	43
Figura 26 - Localização dos ensaios de sondagens à percussão.....	45
Figura 27 - Mapas de correlações paramétricas SPT - Microbacia do Itacorubi	46
Figura 28 - Características padrões do solo.....	47
Figura 29 – Camada de solo da face frontal das estruturas	49
Figura 30 - Projeto de detalhamento do Muro de Flexão	50
Figura 31 - Geometria do Muro de Flexão inserida no <i>software</i>	51
Figura 32 - Parâmetros dos materiais do Muro de Flexão.....	51

Figura 33 - Detalhamento ancoragem da base da cortina.....	52
Figura 34 - Imagem real do detalhamento da ancoragem na base da cortina.....	53
Figura 35 – Geometria do Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico inserida no <i>software</i> ..	54
Figura 36 - Geometria do Muro de Gabião inserida no <i>software</i>	55
Figura 37 - Catálogo com as propriedades mecânicas e físicas da malha.....	55
Figura 38 - Ábaco para o peso específico do Muro de Gabião	56
Figura 39 - Visualização em 3D do modelo do Muro de Flexão	57
Figura 40 - Visualização em 3D do modelo do Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico...57	
Figura 41 - Visualização em 3D do modelo do Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico...58	
Figura 42 - Verificação da estabilidade global por otimização e método de Bishop (Muro de Flexão).....	60
Figura 43 - Verificação da estabilidade global ilustrada na grelha e verificada por todos os métodos (Muro de Flexão)	61
Figura 44 - Verificação da estabilidade global por otimização e método de Bishop (Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico)	62
Figura 45 - Verificação da estabilidade global ilustrada na grelha e verificada por todos os métodos (Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico).....	62
Figura 46 - Verificação da estabilidade global por otimização e método de Bishop (Muro de Gabião)	63
Figura 47 - Verificação da estabilidade global ilustrada na grelha e verificada por todos os métodos (Muro de Gabião).....	64
Figura 48 – Gráfico dos fatores de segurança das estruturas	65
Figura 49 - Gráfico dos orçamentos finais das estruturas	72
Figura 50 - Gráfico comparativo do custo m ³ /total das estruturas	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de problemas relacionados aos taludes, formas de sua ocorrência e as principais causas responsáveis pelo ocorrido	19
Quadro 2 - Resumo das características dos relatórios de sondagem	40
Quadro 3 - Composição de custo - Muro de Flexão.....	67
Quadro 4 - Composição de custo - Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico.....	69
Quadro 5 - Composição de custo - Muro de Gabião	71
Quadro 6 - Quadro comparativo das estruturas em função do Muro de Flexão.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados básicos - Laudos de sondagens "SPT"	44
Tabela 2 - Parâmetros de solos estimados	45
Tabela 3 - Parâmetros médio do solo	46
Tabela 4 - Valores de ângulo de fricção para diferentes interfaces.....	47
Tabela 5 - Parâmetros do solo silte-arenoso em estudo.....	48
Tabela 6 - Parâmetros da rocha	48
Tabela 7 - Verificação da estabilidade ao tombamento e ao deslizamento (Muro de Flexão).60	
Tabela 8 - Verificação da estabilidade ao tombamento e ao deslizamento (Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico).....	61
Tabela 9 - Verificação da estabilidade ao tombamento e ao deslizamento (Muro de Gabião) 63	
Tabela 10 - Resumo dos resultados	64
Tabela 11 - Resumo dos orçamentos para a construção total de cada muro	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

f_{ck} - *feature compression know*

f_{yk} - *design yield stress of steel*

GGE - Grupo de Gestão do Espaço

IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NAVFAC - *Naval Facilities Engineering Systems Command*

NBR - Norma Técnica Brasileira

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SPT - *standard penetration test*

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UTM - Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	ESTABILIDADE DE TALUDES	18
2.2	ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	19
2.3	MUROS DE CONTENÇÃO	23
2.3.1	Muros de contenção por gravidade	24
2.3.2	Muros de contenção por flexão	25
2.4	SONDAGEM SPT	27
2.5	PARÂMETROS DO SOLO	29
2.5.1	Ângulo de atrito	29
2.5.2	Coesão	30
2.6	<i>SOFTWARE</i> GEO5	30
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
3.1	ASPECTOS NATURAIS	32
3.2	LOCALIZAÇÃO DA OBRA	34
4	MATERIAIS E MÉTODO	36
4.1	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	37
4.2	COLETA DE DADOS PREEXISTENTES	37
4.3	DEFINIÇÃO DE OUTRAS DUAS ALTERNATIVAS	38
4.4	PARÂMETROS E DADOS INSERIDOS NO <i>SOFTWARE</i>	41
4.4.1	Dados em comum dos módulos	42
4.4.2	Dados específicos para cada módulo	50

4.5	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA NO <i>SOFTWARE</i>	56
4.6	VALIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	58
4.7	QUANTITATIVO E ORÇAMENTO.....	58
5	RESULTADOS.....	59
5.1	MURO DE FLEXÃO.....	59
5.2	MURO DE GRAVIDADE DE CONCRETO CICLÓPICO.....	61
5.3	MURO DE GABIÃO.....	63
5.4	RESUMO DOS RESULTADOS	64
6	QUANTITATIVO E ORÇAMENTO	66
6.1	MURO DE FLEXÃO.....	66
6.2	MURO DE GRAVIDADE DE CONCRETO CICLÓPICO.....	68
6.3	MURO DE GABIÃO.....	70
6.4	RESUMO DOS ORÇAMENTOS	72
7	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	74
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
7.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
	REFERÊNCIAS	76
	ANEXO A – Dados básicos - Laudo de sondagens “SPT”	79
	ANEXO B – Parâmetros de solos estimados - Laudos “SPT”	80
	ANEXO C – Laudo de sondagem para o furo SP01	81
	ANEXO D – Laudo de sondagem para o furo SP04	82
	ANEXO E – Laudo de sondagem para o furo SP05	83

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, desastres naturais como deslizamentos de terra, soterramentos e desabamentos associados a instabilidade de taludes são responsáveis por um grande percentual de acidentes graves no setor da construção civil, principalmente em atividades relacionadas a movimentação de terra, como os trabalhos de escavação, ocasionando perdas sociais e econômicas para o país.

Quando a construção civil efetua obras de grande impacto e é realizada alguma modificação na geologia de um terreno, como em uma encosta, fatores como a retirada da vegetação local e de suas raízes influenciam de forma geral para a perda da estabilidade deste solo, pois as raízes proporcionam uma maior consistência ao terreno e a vegetação ajuda na absorção de parte da água.

Então, para impedir a ocorrência desses fenômenos e contribuir com a segurança nesses casos, há um aumento de pesquisas nessa área geotécnica. Nos casos que o solo não é capaz de resistir a esses esforços, métodos de estruturas de contenção são fundamentais para garantir a estabilidade e as condições de equilíbrio.

Bem comum nas obras civis, o uso de estruturas de contenção, de um modo geral, deve promover a resistência as cargas e aos esforços do deslocamento daquele solo, para impedir alterações no seu terreno e nos terrenos vizinhos devido às interferências durante a escavação. São diversos métodos para a execução dessas estruturas, utilizando a ajuda da gravidade, necessitando penetrar no solo para se estabilizar, dentre outras maneiras, onde cada uma possui suas características próprias e um custo de execução.

Deste modo, com o auxílio de ferramentas computacionais, neste presente trabalho foi estudado o caso de uma execução de estrutura de contenção em uma obra localizada no bairro Pantanal em Florianópolis, a qual foi verificada a sua estabilidade e realizado um orçamento para efeitos comparativos com outras duas alternativas de estruturas de contenção.

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar e encontrar soluções seguras de estruturas de contenção necessárias para estabilização de talude de obra localizada em um terreno no meio urbano de Florianópolis.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento dos dados geotécnicos e geométricos da área de estudo e, com isso, analisar seus condicionantes e estimar parâmetros de solo;
- Compilar os dados obtidos na fase de levantamento e desenvolver uma simulação do problema de estabilidade, com o apoio do *software* GEO5;
- Aferir e avaliar os fatores de segurança do talude através do *software*;
- Comparar as soluções de estabilização em função dos fatores de segurança e dos custos de execução obtidos por meio dos quantitativos e orçamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o objetivo de orientar e contextualizar o pesquisador e o leitor, no presente capítulo foi apresentado a fundamentação teórica, com conceitos, princípios, pesquisa de outros autores e outras informações que servem como base de referência para a revisão do assunto e para a elaboração do trabalho.

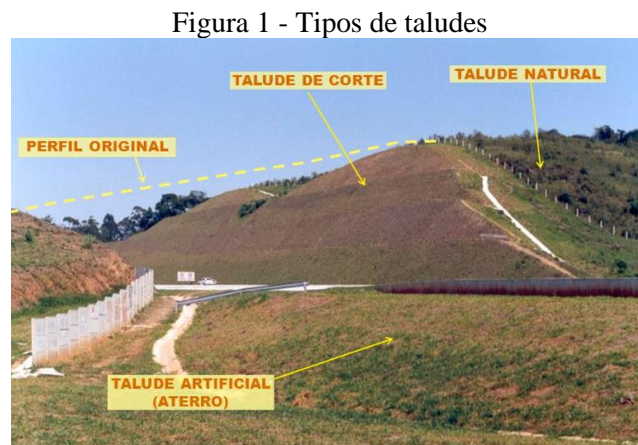
Este trabalho é um estudo de caso o qual foi analisado alguns métodos de estruturas de contenção, utilizando *softwares* para assegurar seu fator de segurança, comparar os métodos escolhidos e encontrar a solução mais viável para o problema proposto. Logo, abordou-se alguns assuntos, tais como: estabilidade de talude, contenções e seus diferentes métodos de execução, sondagem SPT, parâmetros do solo, além do *software* utilizado.

2.1 ESTABILIDADE DE TALUDES

Segundo Gerscovich (2016), denomina-se talude qualquer superfície inclinada de um maciço rochoso ou de solo, que pode ser tanto natural, como as encostas, quanto artificial, a exemplo dos aterros e cortes criados a partir de ações antrópicas.

Os taludes artificiais possuem uma maior homogeneidade quando comparado aos maciços naturais e, devido a essa característica, correspondem melhor às teorias elaboradas para as análises de estabilidade. Já os taludes naturais necessitam de uma acentuada investigação e prospecção para saber sua real estrutura. Além disso, a vida geológica do maciço natural se deve também ao histórico de tensões sofrido pelo mesmo, causado por diversos fatores como erosão, intemperismo, tectonismo, etc. (MARANGON, 2017).

Na Figura 1, está representado uma imagem com os tipos de taludes.



Fonte: Granado (2015).

Quando é mencionado taludes naturais, quaisquer tipos de investigação que forneçam elementos confiáveis para a análise devem ser utilizados. A principal finalidade dessas investigações é identificar os parâmetros geotécnicos das camadas, obtidos por meio de ensaios de campo e/ou laboratoriais, que irão integrar ou pelo menos dar uma diretriz do perfil geotécnico. Ademais, isso permite o reconhecimento da estratigrafia local, o que irá viabilizar ainda mais a montagem do perfil geotécnico que constituirá nas análises de estabilidade, instrumento essencial para a elaboração de um projeto de contenção (GERSCOVICH; DANZIGER; SARAMAGO, 2016).

2.2 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Nos últimos anos, houve um intenso crescimento no número de obras civis, principalmente em localidades urbanas com áreas mais limitadas. Junto a isso, trouxe a necessidade de uma maior segurança para realizar alguns serviços, como a escavação, evitando o escorregamento de maciços de solos e não colocando a obra e a vida de pessoas em risco.

A realização de cortes nos maciços de solos ou de rochas podem provocar movimentos de massa ou escorregamento de taludes, se ao longo de determinadas superfícies de ruptura, as tensões cisalhantes ultrapassarem a resistência ao cisalhamento dos materiais. Prontamente, taludes oriundos da má execução de aterros também podem conduzir ao movimento de massas de solos (MARANGON, 2017).

No Quadro 1 estão representados alguns tipos de problemas relacionados aos taludes com suas respectivas causas e formas de ocorrência.

Quadro 1 - Tipos de problemas relacionados aos taludes, formas de sua ocorrência e as principais causas responsáveis pelo ocorrido

TIPO DE PROBLEMA	FORMA DE OCORRÊNCIA	PRINCIPAIS CAUSAS
Erosão	<ul style="list-style-type: none"> • Em talude de corte e aterro (em sulcos e diferenciada) • Longitudinal ao longo da plataforma • Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e boçorocas) • Interna em aterros (piping) 	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiência de drenagem • Deficiência de proteção superficial • Concentração de água superficial e/ou interceptação do lençol freático • Deficiência ou inexistência de drenagem interna

Desagregação superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Empastilhamento superficial em taludes de corte • Superficial • Profundo • Formas e dimensões variadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Secagem ou umedecimento do material • Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material • Inclinação acentuada do talude • Relevo energético • Descontinuidades do solo e rocha
Escorregamento em corte	<ul style="list-style-type: none"> • Superficial em corte ou encostas naturais • Profundo em cortes • Formas de dimensões variadas • Movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpo de tálus • Atingindo a borda do aterro • Atingindo o corpo do aterro 	<ul style="list-style-type: none"> • Saturação do solo • Evolução por erosão • Corte de corpo de tálus • Alteração por drenagem • Compactação inadequada da borda
Escorregamento em aterro	<ul style="list-style-type: none"> • Atingindo o corpo do aterro 	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiência de fundação • Deficiência de drenagem • Deficiência de proteção superficial • Má qualidade do material • Compactação inadequada • Inclinação inadequada do talude
Recalque em aterro	<ul style="list-style-type: none"> • Deformação vertical da plataforma 	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiência de fundação • Deficiência de drenagem • Rompimento do bueiro • Compactação inadequada
Queda de blocos	<ul style="list-style-type: none"> • Geralmente em queda livre 	<ul style="list-style-type: none"> • Ação da água e de raízes na descontinuidade do maciço rochoso
Rolamento de blocos	<ul style="list-style-type: none"> • Movimento de bloco por rolamento em cortes ou encostas naturais 	<ul style="list-style-type: none"> • Descalçamento da base por erosão

Fonte: Marangon (2017).

Portanto, com a finalidade de proporcionar estabilidade contra a ruptura de maciços de rocha ou de solo, a execução de estruturas de contenção se torna uma prática muito mais habitual nas obras de engenharia.

De acordo com Barros (2017), as estruturas de contenção, são estruturas que fornecem suporte a estes maciços, evitando o escorregamento originado por carregamentos externos ou até mesmo pelo seu peso próprio. Tal autor ainda cita que o estudo de uma estrutura de contenção compreende uma análise do equilíbrio do conjunto formado pelo maciço do solo e a própria estrutura. Este equilíbrio é afetado pelas características de permeabilidade, deformabilidade, resistência, além do peso próprio e as condições que reagem com a interação

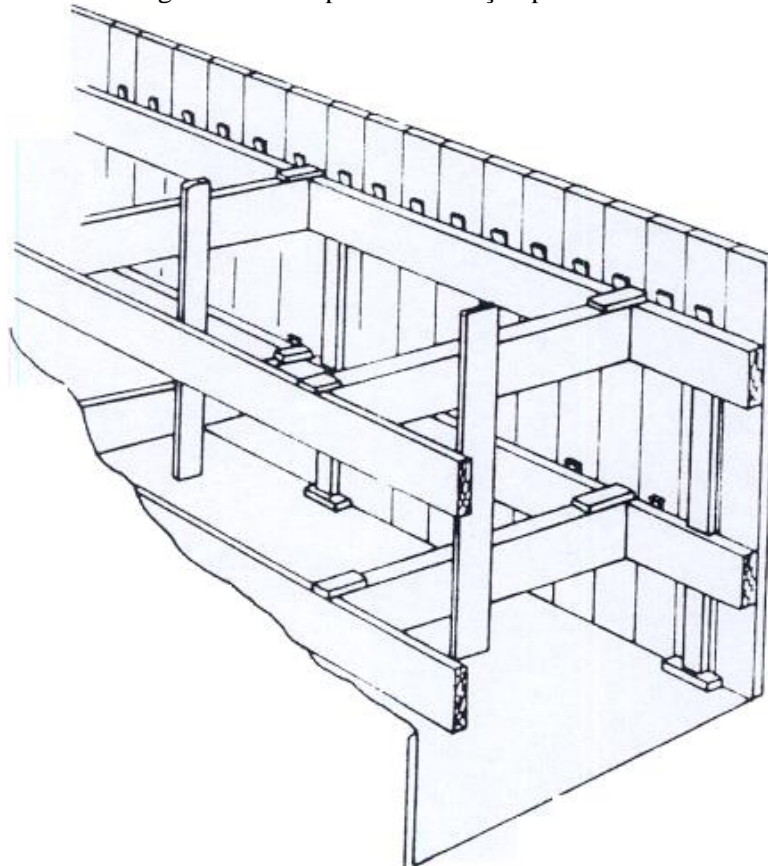
entre os dois elementos. Essas condições tornam o sistema mais complexo, por isso a importância de adotar modelos teóricos mais simplificados a fim de obter uma análise mais coerente e precisa. Para isso, o modelo deve conter as características do local do estudo e sua geometria, além dos materiais que atuam no comportamento global da estrutura.

Existem diversas técnicas de execução de contenções, enfocando-as de maneiras diferentes. Com isso elas são classificadas conforma alguns requisitos. A Figura 2 e a Figura 3 representam um exemplo de estrutura de contenção provisória e definitiva, respectivamente.

A despeito disso, Cardoso (2002) comenta que:

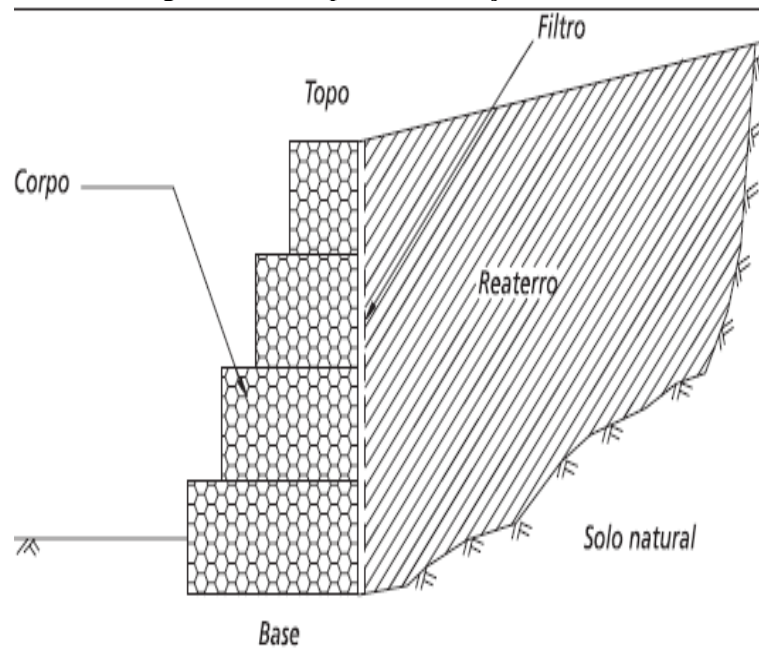
a transitoriedade da contenção é um aspecto fundamental a ser considerado na escolha do seu método executivo. Por exemplo, na abertura de uma vala para o assentamento de uma tubulação qualquer, que será depois reaterrada, devemos utilizar uma contenção provisória e, de preferência, total ou parcialmente reutilizável. Já na escavação de um subsolo, podemos pensar numa contenção definitiva, que cumprirá dupla função: a de conter o terreno escavado e a de servir como vedação vertical da parte enterrada. É, portanto, uma classificação interessante.

Figura 2 - Exemplo de contenção provisória



Fonte: Harris (1983).

Figura 3 - Exemplo de contenção definitiva



Fonte: Barros (2017).

Ainda de acordo com o autor, quanto a classificação pelo funcionamento estrutural, pode-se distinguir as contenções em flexíveis e rígidas. Esta última, é amplamente utilizada, porém apresentam certas limitações técnicas e de aplicação. Por basicamente não aceitarem recalques ou assentamentos, exigem um bom terreno de fundação e também necessitam de um eficiente sistema de drenagem. Em contrapartida, as estruturas flexíveis são tolerantes a uma certa movimentação, conseguindo se adaptar a acomodações e a movimentos do terreno com mais facilidade, sem perder sua estabilidade e eficiência. Por outro lado, quando chegam a se deformar, são capazes de fazer o solo vizinho também se deformar, causando problemas prejudiciais, como trincas, recalques, entre outros.

A escolha por uma ou outra técnica depende de vários fatores, evidentemente o custo não é o único critério de escolha. Assim, no exemplo de caso de escavações mais profundas, ampliam-se os esforços nas contenções, impossibilitando algumas técnicas. Logo, o tipo de contenção ideal é um processo criterioso e individual, onde analisando as vantagens específicas para cada situação existirá uma solução que seja mais técnica e economicamente viável.

Para esse fim, Barros (2017) define a seleção em função de diferentes fatores:

- Físicos: altura da estrutura, espaço disponível para sua implantação, dificuldade de acesso, sobrecargas, etc.
- Geotécnicos: tipo de solo a conter, presença de lençol freático, capacidade de suporte do solo de apoio, etc.

- Econômicos: disponibilidade de materiais e de mão-de-obra qualificada para a construção da estrutura, tempo de execução, clima local, custo final da estrutura, etc.

2.3 MUROS DE CONTENÇÃO

Conforme define Gerscovich (2016), muros são estruturas corridas de contenção de parede vertical ou quase vertical, apoiada em uma fundação rasa ou profunda. Regularmente, essa solução é empregada para conter desníveis menores, inferiores a 5m. Esse tipo de estrutura assegura a estabilidade, sobretudo, a partir do seu peso próprio.

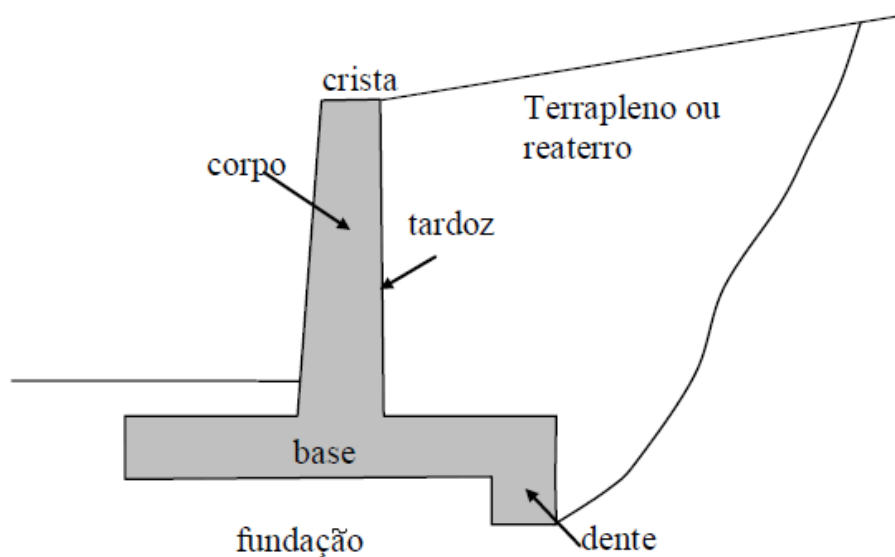
Como cita na norma NBR 11682 (1991), algumas cautelas são necessárias em caso de escavação do terreno natural:

No caso de muros de arrimo, com escavação do terreno natural, e reaterro junto ao tardoz, devem ser tomados os seguintes cuidados:

- escavar o terreno natural em condições que evitem a instabilidade local;
- executar o reaterro com material adequado e convenientemente compactado;
- instalar o sistema de drenagem interna, com filtro no tardoz do muro e drenos no corpo deste.

A Figura 4 representa um exemplo de um muro de contenção com suas diferentes partes e respectivas terminologias.

Figura 4 - Terminologia das partes do muro de arrimo



Fonte: Gerscovich (2008).

A construção do muro de arrimo, como também são chamados, corresponde a uma generosa parte no orçamento de uma obra em razão dos altos gastos com equipamentos e materiais como concreto e aço.

Vários tipos de materiais podem compor a estrutura de um muro de arrimo, já que ele pode ser em alvenaria (tijolos ou pedras), em concreto (simples ou armado) ou até mesmo de elementos mais especiais. Pode-se separar os muros e classificar em dois grupos maiores: muros de arrimo por gravidade ou muros de arrimo por flexão.

2.3.1 Muros de contenção por gravidade

De acordo com Barros (2017), os muros de gravidade são estruturas que garantem estabilidade através do seu peso próprio e, muitas vezes, do peso de uma parte do bloco de solo associado a estrutura. O formato da estrutura e os materiais usados na sua composição são variados, podendo o corpo do muro ser construído em concreto simples, concreto ciclópico, pedras argamassadas, gabiões e outros materiais.

Na Figura 5, ilustra-se um muro de gravidade constituído por concreto ciclópico e na Figura 6, um muro de gravidade constituído por pedras empilhadas dentro de gaiolas metálicas, chamado de muro de gabião.

Figura 5 - Muro de gravidade constituído por concreto ciclópico



Fonte: Chaves; Victor (2020).

Figura 6 - Muro de gabião



Fonte: Belgo Bekaert (2020).

Os muros de gravidade são simples de serem executados e geralmente não necessitam de mão-de-obra especializada. Além disso, é uma solução estrutural relativamente barata e muito comum para estruturas de pequeno e médio porte, considerando-se que para superar desníveis muito altos, o consumo de material seria muito elevado.

Para a execução dessa estrutura, muitas vezes é necessário realizar a escavação do terreno natural, pois é necessário lançar e compactar o solo do aterro durante ou depois da construção do muro, a fim de restabelecer ou formar um novo maciço (BARROS, 2017). Com isso, o bloco de solo será heterogêneo, pois será composto por partes de solo natural e de material de aterro, o que pode formar uma possível superfície de deslizamento.

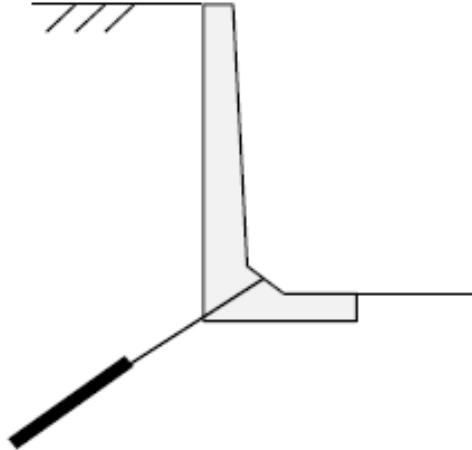
Por fim, o dimensionamento desse tipo de estrutura de contenção deve atender às condições de estabilidade quanto ao deslizamento, tombamento e capacidade de carga da fundação, e também garantir a estabilidade frente à ruptura global do conjunto solo-muro.

2.3.2 Muros de contenção por flexão

Os muros de flexão são estruturas esbeltas que possuem seção transversal em forma de “L” (Figura 7) ou de “T” invertido (Figura 8), no caso de alturas maiores. Essas estruturas de contenção resistem aos empuxos por flexão utilizando parte do peso próprio do maciço, que se mantém em equilíbrio ao se apoiar sobre a base da estrutura (GERSCOVICH, 2008). Como

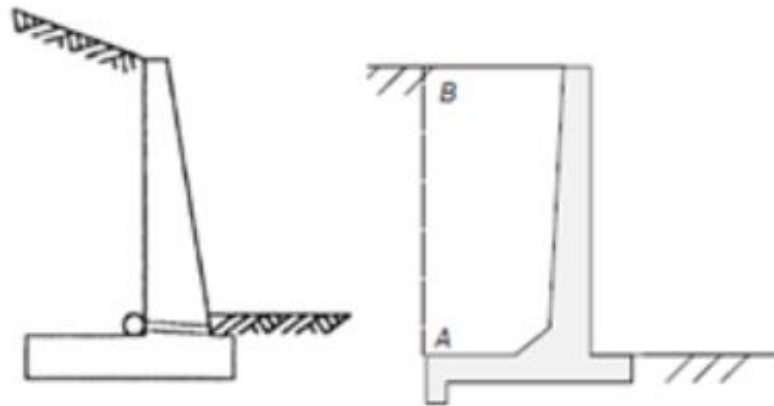
consequência de seu formato, os esforços de flexão são bastante grandes e exigem pesadas armaduras de aço. Além disso, exigem solos de fundação com capacidade de suporte adequada e um sistema de drenagem apropriado. (BASTOS; FARIAS, 2010).

Figura 7 - Muro de flexão com seção transversal em forma de “L” com tirante



Fonte: Gerscovich (2008).

Figura 8 - Muro de flexão com seção transversal em forma de “T” invertido.



Fonte: Gerscovich (2008).

De acordo com Cardoso (2002), os muros de flexão são mais leves do que os muros de gravidade e são geralmente feitos em concreto armado. Por isso, para contenções com alturas acima de 5 a 7 metros, esse tipo de contenção não é economicamente favorável. (GERSOVICH, 2008).

Os muros de flexão têm sua base geralmente com largura de 50% a 70% da sua altura e asseguram uma boa estabilidade ao deslizamento e ao tombamento. Apesar disso, em casos que a altura é superior a 5 metros, é adequada a utilização de contrafortes para aumentar a estabilidade contra o tombamento, como ilustra a Figura 9 (BASTOS; FARIAS, 2010).

Figura 9 - Muro de flexão com a utilização de contrafortes



Fonte: Casotti (2018).

Ao se tratar de laje de base interna, os contrafortes devem ser armados, a fim de suportar os esforços de tração. No caso de laje externa ao retro aterro, uma configuração menos usual por provocar perda de espaço útil, os contrafortes suportam os esforços de compressão. (GERSOCVICH, 2008). Em geral, os contrafortes são espaçados de aproximadamente 70% da altura do muro.

Por fim, também de acordo com Gerscovich (2008), para melhorar a condição de estabilidade, os muros de flexão podem ser ancorados na base com tirantes ou chumbadores, como ilustrado na Figura 7. Essa solução pode ser adotada quando a fundação do muro está em material como rocha sã ou alterada ou então quando há limitação de espaço disponível para a construção da base com as dimensões necessárias.

2.4 SONDAGEM SPT

O ambiente físico e as condições do seu subsolo são um pré-requisito para que se desenvolvam projetos geotécnicos mais econômicos e seguros. No Brasil, o gasto na execução de sondagens reconhecimento compreende cerca de 0,2% a 0,5% do custo total de obras convencionais (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012).

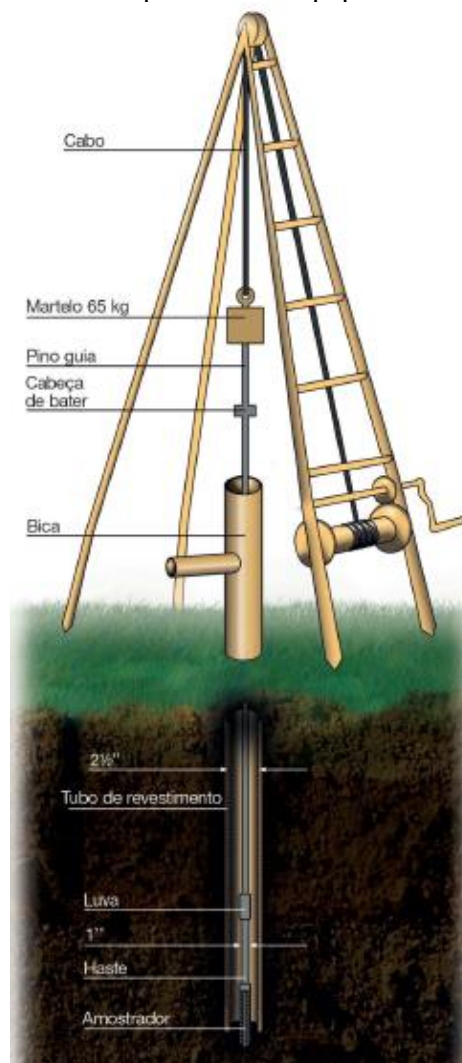
De acordo com a NBR 6484 (2020), a sondagem SPT (*standard penetration test*) é uma sondagem à percussão que consiste num processo de exploração e reconhecimento do solo.

O SPT é considerado um dos métodos de investigação geotécnica mais usuais e econômicos de forma mundial. Além de ser um indicativo da densidade de solos granulares, também é aplicado para o reconhecimento da consistência de solos coesivos.

O ensaio consiste em uma medida de resistência dinâmica associada a uma sondagem de reconhecimento simples. Com o uso de um trépano de lavagem como ferramenta para a escavação, é realizada a perfuração através da tradagem e da circulação de água, e a cada metro de profundidade são coletadas amostras por meio do amostrador padrão que possui diâmetro externo de 50mm. Para a cravação do amostrador, é usado a queda de um peso de 65 kg a uma altura de 750mm. Com isso, se obtém o valor NSPT de acordo com o número de golpes que são necessários para conseguir que o amostrador penetre 300 mm, após uma cravação inicial de 150 mm (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012).

O equipamento é constituído pelos seguintes itens representados na Figura 10.

Figura 10 - Componentes do equipamento do SPT



Fonte: Schnaid e Odebrecht (2012).

Ainda segundo Schnaid e Odebrecht (2012) após a realização do ensaio, os resultados são representados numa planilha padrão, a qual irá descrever as características do solo investigado, a profundidade do lençol freático, a posição e a cota do furo e também o número de golpes que foi necessário para a penetração do amostrador em cada profundidade.

2.5 PARÂMETROS DO SOLO

Conforme cita Santos (2005), a modificação do terreno ou do meio rochoso por causa do intemperismo, acaba gerando a remoção dos elementos solúveis dos minerais e a dissolução dos elementos que possuem a função de consolidação, acontecendo um gradual enfraquecimento desse meio e resultando na atenuação dos parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito interno.

A equação de Coulomb (01) expressa a resistência ao cisalhamento (τ) dos solos para a realização da análise de sua estabilidade. Com a envoltória da resistência dessa equação, é estabelecido os parâmetros que são características intrínsecas do solo, a coesão (c) e o de ângulo de atrito (φ) das partículas, parâmetros de resistência imprescindíveis para a utilização dos métodos de estabilidade de taludes e determinar seu fator de segurança. Esses, dependem de outros fatores como estrutura, teor de umidade, velocidade, textura, teor de matéria orgânica, mineralogia e densidade (HIGASHI, 2006).

$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan \varphi \quad [01]$$

2.5.1 Ângulo de atrito

A NBR 6502 (1995) define ângulo de atrito interno como: “Ângulo formado com o eixo das tensões normais pela tangente, em um determinado ponto da curva envoltória de Mohr, representativa das resistências ao cisalhamento da rocha, sob diferentes tensões normais.”

O ângulo de atrito interno do solo representa as características friccionais entre as partículas do solo, caracterizando o ângulo máximo que a força propagada ao solo pode realizar com a força normal à superfície de contato, sem que ocorra o cisalhamento no plano de ruptura do solo. Este parâmetro provém de algumas condições como porcentagem e tipo de argila, tamanho e forma dos grãos de areia e grau de compactação (PINTO, 2000).

Segundo Caputo (1988), a denominação atrito interno de um solo engloba não apenas o “atrito físico”, como também o “atrito fictício” resultante do entrosamento de suas partículas.

Ressalta também, que nos solos não há uma superfície nítida de contato, mas sim, uma infinidade de contatos pontuais.

2.5.2 Coesão

A NBR 6502 (1995) define coesão interna como: “Resistência aos esforços de cisalhamento que depende fundamentalmente da natureza e composição da rocha, ou seja, independe das tensões aplicadas.”

De acordo com Sbroglia (2015), a coesão pode ser estabelecida como uma parcela de resistência ao cisalhamento do solo que independe da tensão efetiva normal atuante. Ainda, ressalta que a coesão pode ser dividida em aparente e verdadeira. Esta última pode ser formada pelas forças eletroquímicas de atração das partículas de argila ou ainda, resultar de uma cimentação. Já a coesão aparente ocorre em solos parcialmente saturados ($0 < S < 100\%$), e quando este solo é totalmente seco ou saturado, ela se extingue. Ela é resultada da atração entre os grãos de solo decorrente da presença de meniscos capilares nos contatos entre os grãos através da pressão capilar da água

2.6 SOFTWARE GEO5

Com o avanço da tecnologia foi possível a criação de ferramentas computacionais que são capazes de realizar as análises e os cálculos de estabilidade de taludes, além do dimensionamento de estruturas de contenção. Utilizando os mesmos preceitos do processo manual, porém na forma de códigos computacionais que executam o programa e geram resultados automáticos após a inserção dos dados necessários.

Dentre esses programas, destacam-se como uns dos mais conhecidos do mercado, os *softwares*: GEO5 da *Fine Software*, Mac STARS da Maccaferri, Geostudio da Geoslope e o *Slide* da Rocscience.

Para o presente trabalho, foi utilizada a Versão Demo do GEO5 (gratuita), e foram utilizados os módulos: Muro de Flexão, Muro de Gabião, Muro de Gravidade e Estabilidade de Taludes, este último para a verificação da estabilidade global dos outros.

Desenvolvido pela *Fine Software*, o GEO5 é um pacote de programas destinados a resolver problemas geotécnicos. Com uma interface intuitiva, inserindo os parâmetros estruturais e geotécnicos, cada um dos seus programas realizam uma complexa verificação de algum tipo de estrutura, se interligando entre si para uma fácil comunicação e compartilhamento

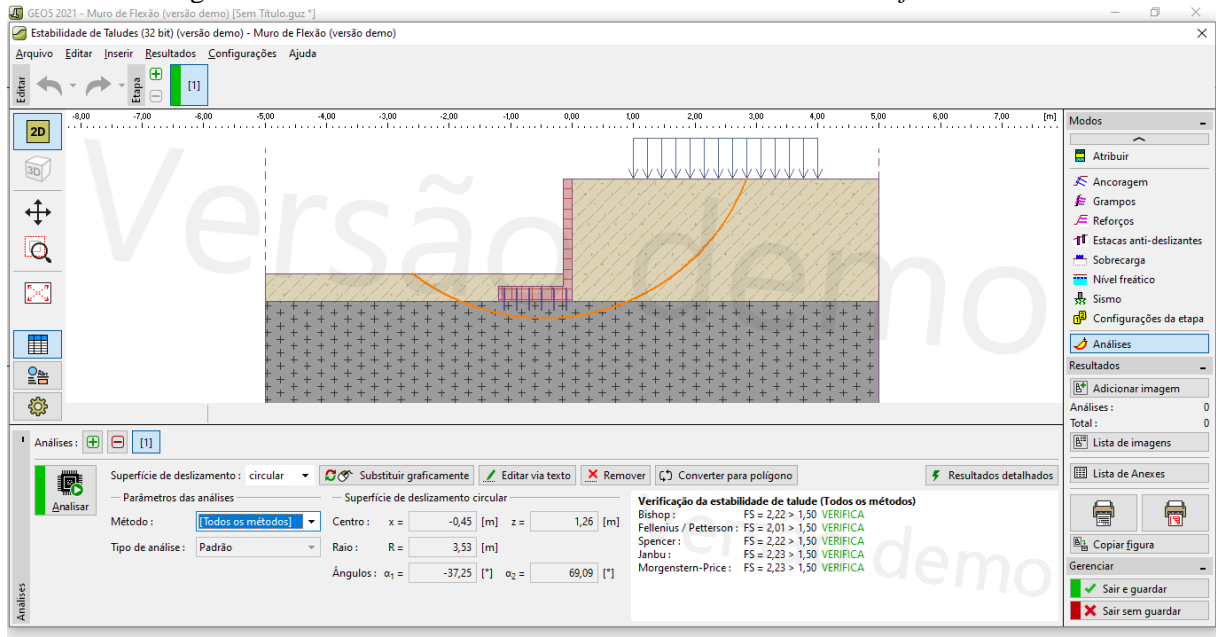
de dados. O GEO5 é usado mundialmente, pois ele possui um banco de dados com muitas normas e fatores inclusos, além da possibilidade de inserir e ajustar com suas próprias configurações.

O programa Estabilidade de Taludes do GEO5 soluciona problemas de taludes considerando deslizamento circular ou poligonal, incluindo uma busca automática para a superfície mais crítica. Existem diferentes aproximações desde os métodos mais usuais (Fellenius, Bishop) até métodos menos usuais (Spencer, Morgenstein, Janbu, Sarma) que satisfazem todas as condições limites.

O *software* em questão foi utilizado no trabalho de Silva (2018), onde seu objetivo era desenvolver uma planilha eletrônica no programa Excel para o dimensionamento de sapatas isoladas, e usar o GEO5 para analisar e comparar os resultados obtidos na planilha. Seu resultado foi satisfatório, Silva encontrou resultados coerentes e ainda salienta que a planilha é mais simplificada e de fácil manuseio.

A Figura 11 representa um exemplo da interface do programa no módulo “Estabilidade de Taludes” da versão demo (gratuita).

Figura 11 - Interface do módulo Estabilidade de Taludes do *Software* GEO5



Fonte: Software GEO5 (2021).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no bairro Pantanal da capital de Santa Catarina, Florianópolis. Com uma população estimada de pouco mais de 500 mil habitantes de acordo com o IGBE, é o segundo município mais populoso do estado, atrás apenas de Joinville. Porém, contando com as cidades vizinhas, estima-se que a região metropolitana da Grande Florianópolis já ultrapasse o número de 1,2 milhões de habitantes. A área do município, compreendendo tanto a parte continental quanto a parte insular, abrange 436,5 km².

3.1 ASPECTOS NATURAIS

No que diz respeito a geologia da Ilha de Santa Catarina, prevalecem rochas graníticas compostas de granitos, granodioritos e biotitas, e rochas vulcânicas com riolitos e riodacitos, cortados por diques de diabásio (HERMANN, 1989).

De acordo com Santos (1997), as partes mais elevadas da ilha como o Morro do Ribeirão (534 metros), formaram-se a partir dos terrenos cristalinos do Pré-Cambriano. A morfologia usualmente apresenta linhas de crista, pela sua disposição alongada e a intensa declividade de suas encostas. Os terrenos sedimentares representam pequenas áreas de sedimentação e com baixa altitude, alcançando 40 metros nas dunas. Já nas planícies sedimentares nota-se a existência de processos erosivos e deposicionais sob outras condições de ambiente, onde os rios, os mangues, as praias e as lagoas constituem a Unidade Geomorfológica Planícies Costeiras.

A Ilha de Santa Catarina dispõe de diversos tipos de formações vegetais que variam de acordo com o solo e o relevo. Assim, nas encostas do maciço cristalino há a presença de uma Floresta Ombrófila Densa (Atlântica), que por razão da interferência antrópica, também é encontrada desde em áreas em estágios iniciais de regeneração até em matas secundárias regeneradas. Já nas planícies arenosas do quaternário, é mais comum a presença de formações de restinga – arbustiva e sub-arbórea. Além da Floresta Atlântica e das restingas, ainda ocorre uma vegetação típica de lugares com formações de vegetação fixadora de dunas e manguezais (IPUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis, 1998).

Quanto as características climáticas, segundo o Grupo Gestão do Espaço/UFSC (GGE, 2006), a região da Microbacia do Itacorubi possui aspectos climáticos intrínsecos ao litoral do sul do Brasil (Mesotérmico Úmido). Com o verão e o inverno bem definidos e uma temperatura

oscilando entre 16°C e 24°C, predominam com mais frequência no verão e na primavera a Massa Tropical Atlântica e nos meses de outono e inverno a Massa de Ar Polar Atlântica.

A Figura 12 representa a localização de Santa Catarina com destaque em vermelho para o município de Florianópolis.

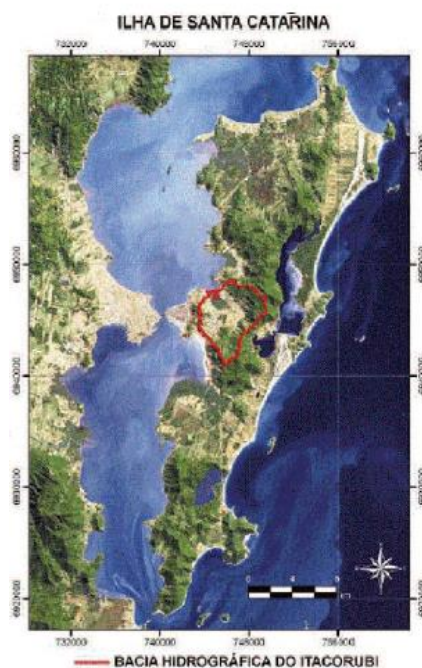
Figura 12 -Localização de Florianópolis no estado de Santa Catarina



Fonte: Rodrigues (2006).

O bairro Pantanal fica inserido na Bacia Hidrográfica do Itacorubi, demarcado em vermelho na Figura 13, região central da capital entre a Carvoeira, Trindade, Córrego Grande e Saco dos Limões, e a cerca de 6 km do centro da cidade. É um bairro em sua maioria de característica residencial, muito procurado pelos estudantes por ser nas proximidades da UFSC.

Figura 13 - Demarcação da Bacia Hidrográfica do Itacorubi



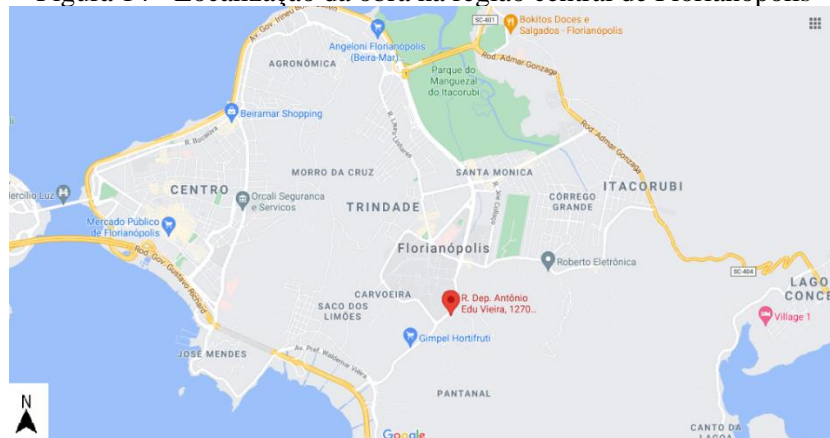
Fonte: Silva (2010).

3.2 LOCALIZAÇÃO DA OBRA

A obra em estudo fica mais precisamente localizada na Rua Deputado Antônio Edu Vieira, nº 1270, no bairro Pantanal (coordenadas: 27°36'21" S – 48°31'4" O). Como a obra está dentro da Bacia do Itacorubi, foram extraídos dos Anexos A e B presentes no final deste trabalho, dados e parâmetros do solo de pontos de dentro dessa Bacia para ajudar nas estimativas

A Figura 14 é uma captura do Google Maps da região central de Florianópolis, e o alfinete vermelho marcado indica a localização exata da obra.

Figura 14 - Localização da obra na região central de Florianópolis



Fonte: Google Maps (2021).

A Figura 15 é uma representação gráfica em 3D do local do estudo através do programa Google Earth Pro, onde é possível visualizar mais detalhes da região próxima, como o Campus da Universidade Federal de Santa Catarina e a rótula do bairro Pantanal.

Figura 15 - Localização da obra e suas proximidades vista em satélite



Fonte: Google Earth Pro, editado pelo autor (2021).

O presente trabalho trata de um estudo de caso de uma obra em um terreno com aproximadamente 600 m², no qual será construído um edifício residencial multifamiliar, com previsão de finalização, segundo o cronograma, para o mês de outubro de 2022. A Figura 16 é uma representação em 3D de como ficará o empreendimento, disponibilizada no site da construtora.

Figura 16 - Visualização em 3D do futuro empreendimento



Fonte: Da Campos Construtora e Incorporadora (2021).

O futuro edifício encontra-se, durante a confecção deste trabalho, ainda na sua fase inicial, contando com algumas atividades de escavação, execução de estruturas de fundação e também de contenção.

Na Figura 17 é possível visualizar a obra em sua fase inicial na preparação do terreno, contando com a escavação de solo e a perfuração de rocha, que pelas características e pelo local se assemelham ao Granito Ilha presente na região, que gera solos mais granulares.

Figura 17 - Terreno da obra em seu estágio inicial



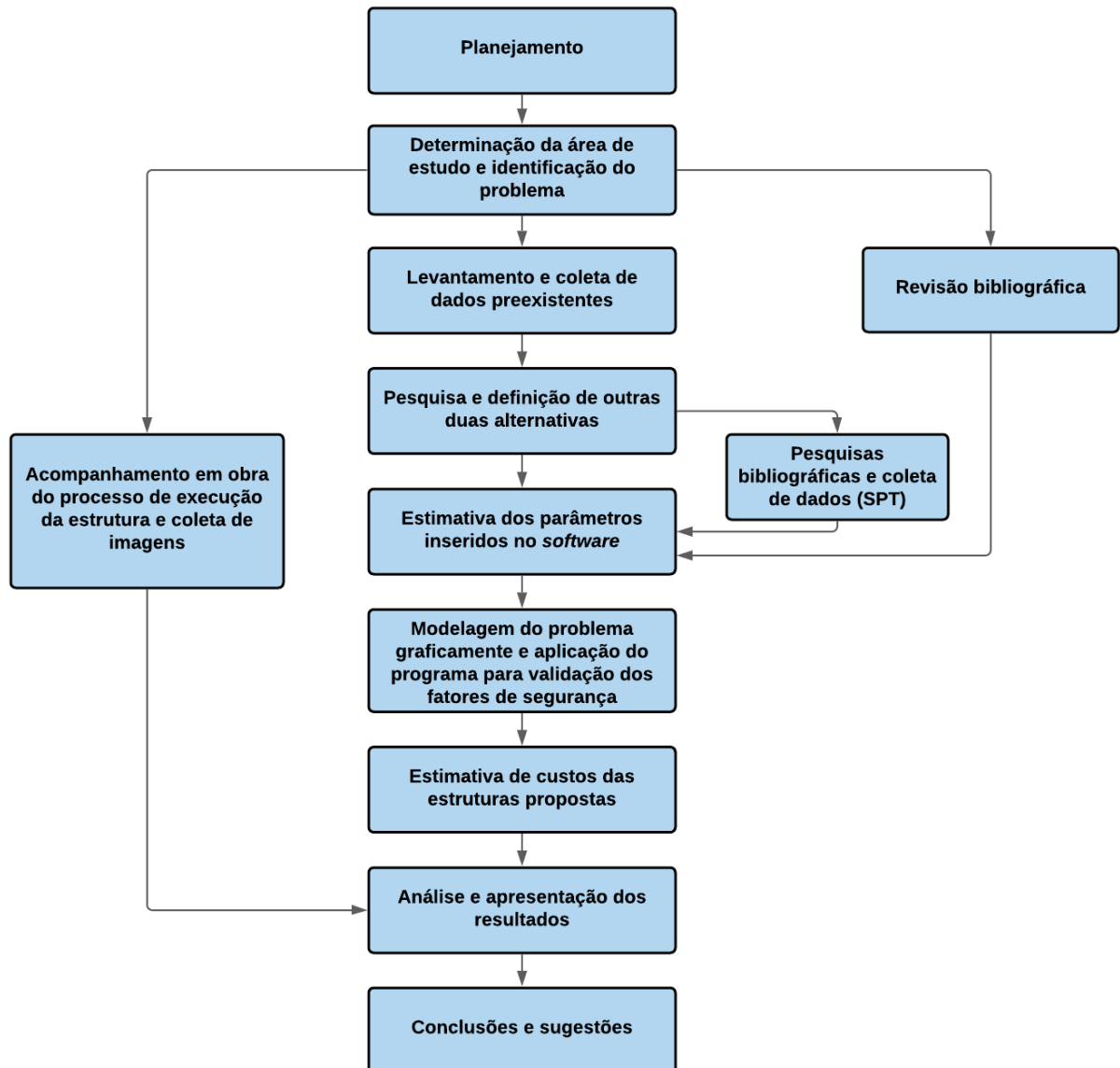
Fonte: Autor (2021).

4 MATERIAIS E MÉTODO

Neste capítulo, foram abordados com mais detalhes o progresso de alguns passos para a realização do presente trabalho.

A Figura 18 representa o fluxograma da metodologia que foi adotada.

Figura 18 - Fluxograma do método de trabalho



Fonte: Autor (2021).

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Consiste em uma das etapas iniciais do trabalho, onde o local foi analisado e posteriormente foi escolhido um talude em específico para realizar o estudo, devido a necessidade de investigar a estabilidade desse maciço, visto que seriam executadas obras de escavação no mesmo para preparar o terreno para o futuro empreendimento. Com isso, o estudo organizou-se com a proposta de encontrar e comparar a estrutura já predefinida em projeto com outras duas alternativas, nos quesitos segurança e custo. Na Figura 19 é possível visualizar o talude em estudo que foi escavado para a construção de uma estrutura de contenção.

Figura 19 - Talude em estudo



Fonte: Autor (2021).

4.2 COLETA DE DADOS PREEXISTENTES

Para auxiliar no desenvolvimento do presente trabalho e o entendimento completo do problema, foram coletados arquivos e projetos que abrangem a área de estudo junto a empresa D'Campos Construtora e Incorporadora. Dentre esses arquivos, tem-se:

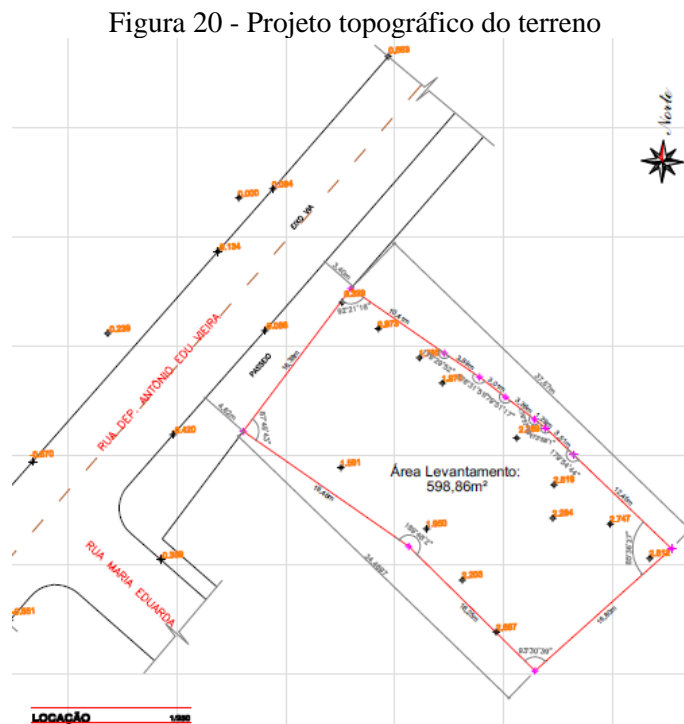
- Fotos capturadas do local de estudo;
- Projeto arquitetônico;

- Cronograma de obra;
- Boletins de sondagem e croqui indicativo dos furos;
- Levantamento topográfico (planialtimétrico georreferenciado);
- Planta de locação e fundação com sapatas;
- Projeto estrutural de detalhamento das sapatas.

4.3 DEFINIÇÃO DE OUTRAS DUAS ALTERNATIVAS

Com o levantamento de dados a partir dos arquivos disponíveis, foi possível obter uma visão mais clara do terreno para começar a caracterizar seus parâmetros geotécnicos e conseguir definir as outras duas alternativas de estrutura de contenção para a comparação.

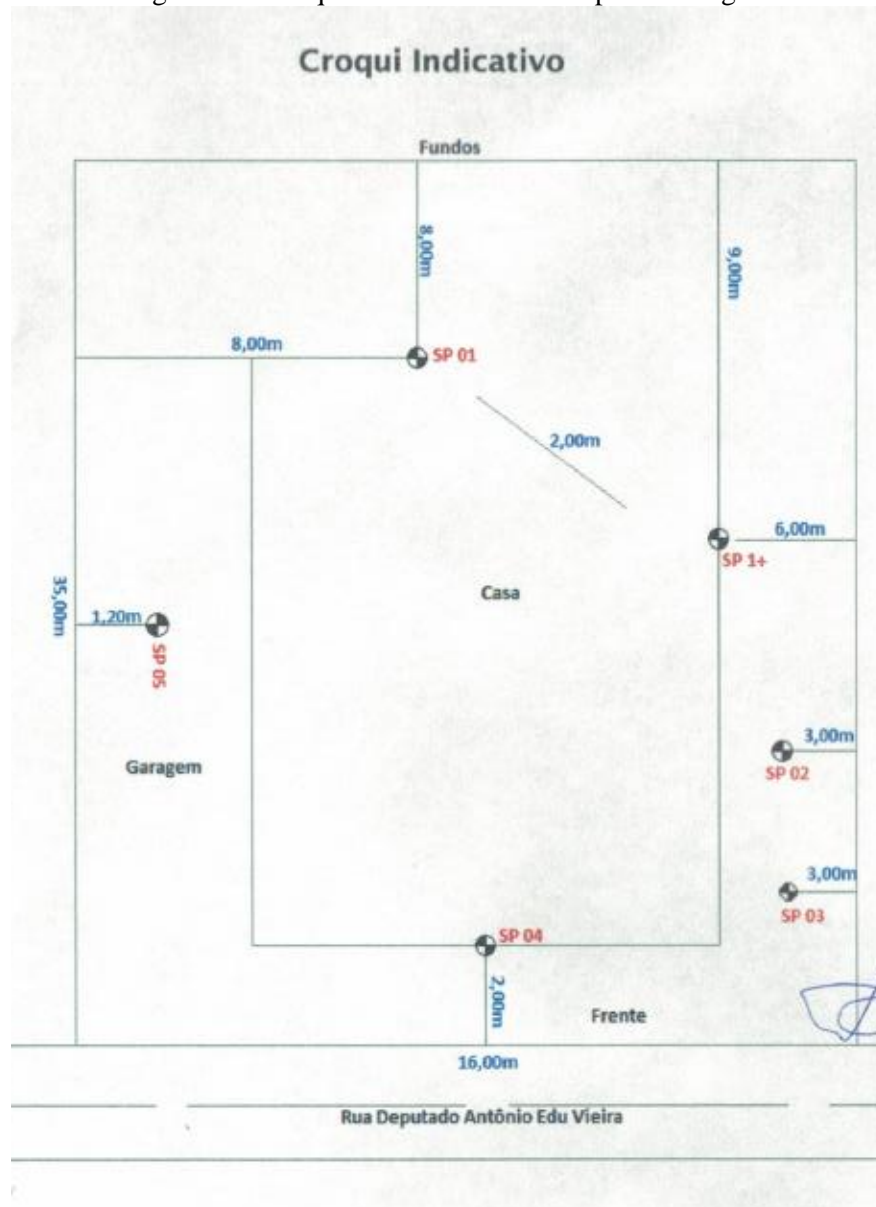
Na Figura 20 é possível visualizar um recorte do projeto topográfico do terreno, obter algumas dimensões e idealizar com mais clareza alguns pontos do terreno e as limitações do mesmo.



Fonte: Da Campos Construtora e Incorporadora, modificado pelo autor (2021).

Além do projeto topográfico, o relatório da sondagem SPT e o croqui indicativo traz informações do solo necessárias para a escolha das estruturas na região de estudo, como: descrição do tipo de solo com o auxílio do perfil geológico, nível do lençol freático e a presença ou não de rocha no local.

Figura 21 - Croqui indicativo dos furos para sondagem



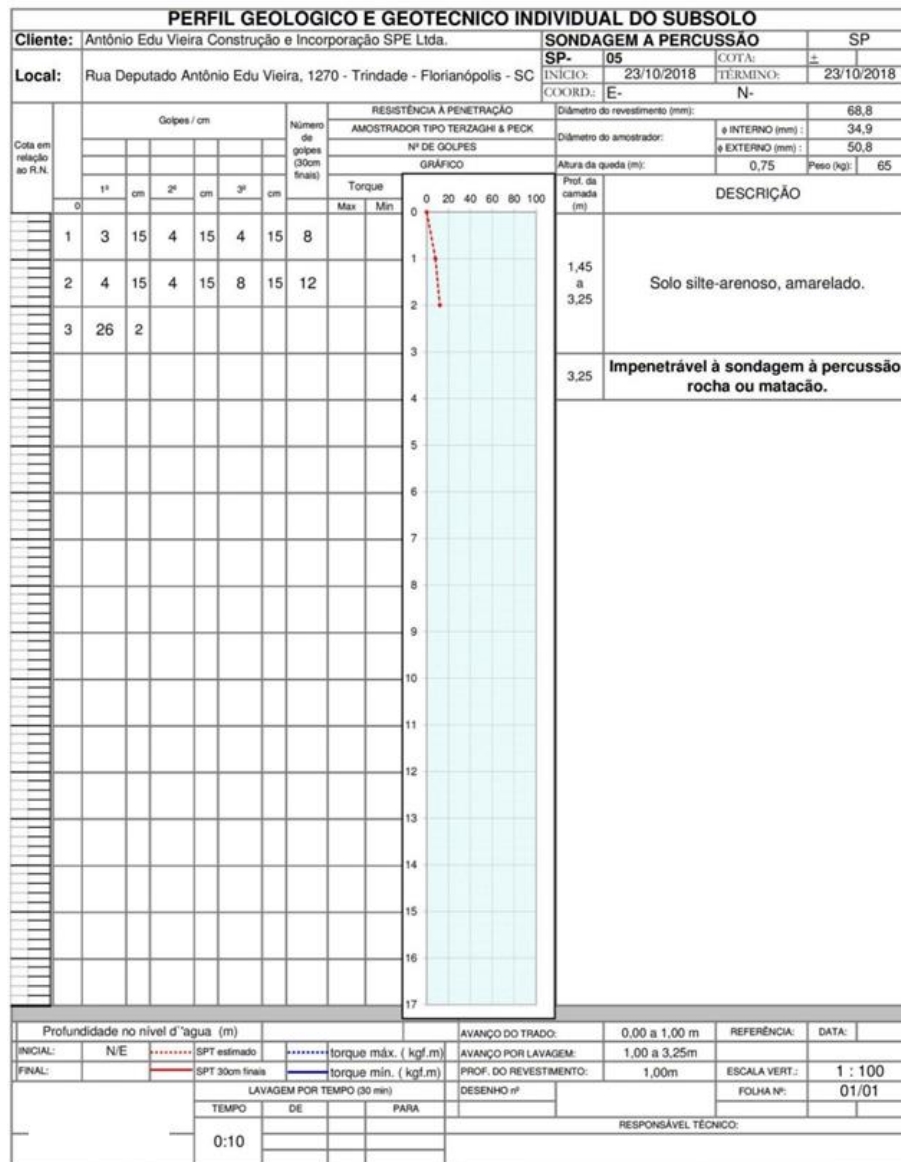
Fonte: D'Campos Construtora e Incorporadora, modificado pelo autor (2021).

O furo de interesse para este trabalho consiste no SP 05 representado na Figura 21, o mais próximo que abrange a área de estudo onde será construída a estrutura de contenção.

A seguir, na Figura 22 pode-se observar o relatório de sondagem SPT (SP 05), também presente no Anexo E, onde foi possível extrair dados úteis para a estimativa dos parâmetros de solo como:

- Descrição do solo: Solo silte-arenoso, amarelado;
- Presença de rocha já na profundidade 3,25m;
- Sem interferência do lençol freático na sondagem.

Figura 22 - Relatório de sondagem SPT



Fonte: Da Campos Construtora e Incorporadora (2021).

Através dos furos SP 01 e SP 04 da sondagem, é possível extrair também algumas características do local próximo ao talude em estudo. O Quadro 2 representa alguns dados fornecidos pelo relatório de sondagem SPT de cada furo.

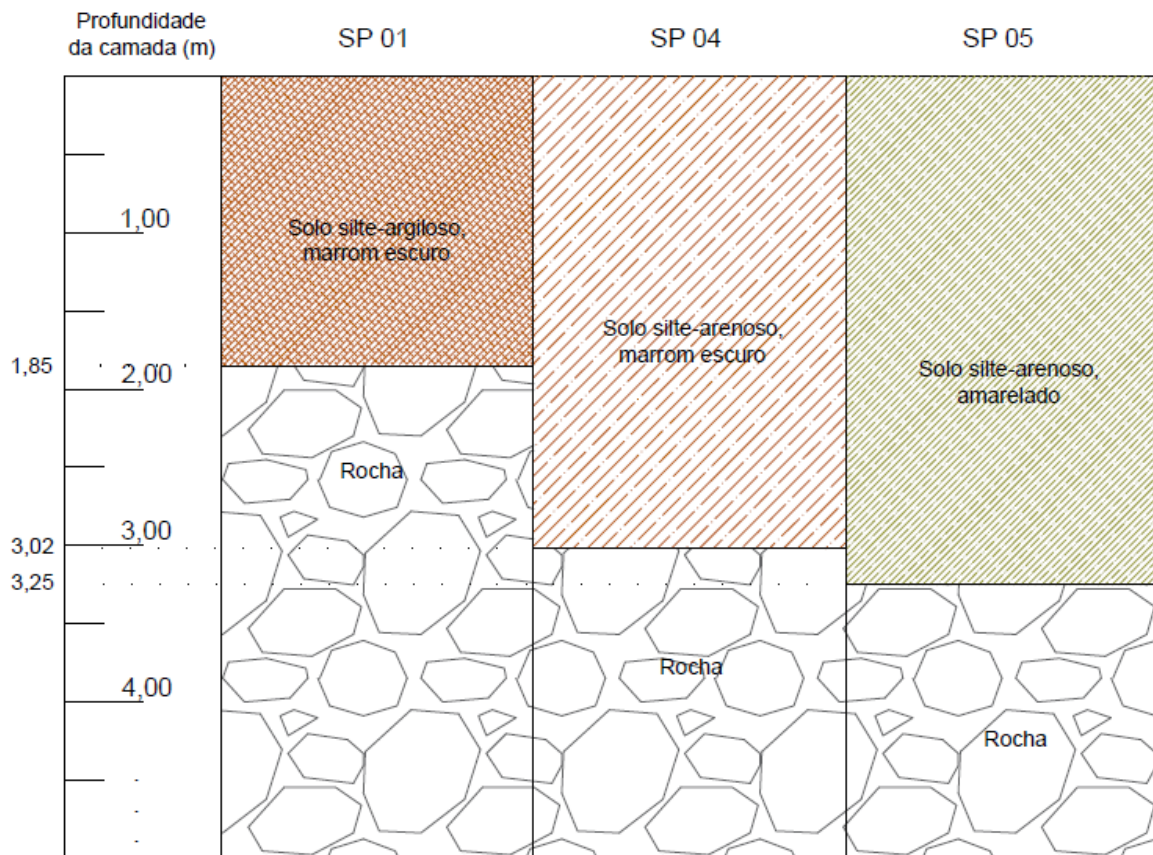
Quadro 2 - Resumo das características dos relatórios de sondagem

Relatório de Sondagem	SP 01	SP 04	SP 05
Lençol Freático	Sem interferência	Sem interferência	Sem interferência
Solo Característico	Solo silte-argiloso, marrom escuro	Solo silte-arenoso, marrom escuro	Solo silte-arenoso, amarelado
Prof. da rocha	1,85 m	3,02 m	3,25 m

Fonte: Autor (2021).

Com base no croqui indicativo dos furos das sondagens, a Figura 23 representa um perfil geológico do terreno, constituído pelos SP 01, SP 04 e SP 05, que são os mais próximos do local da execução do muro de contenção. Os relatórios de sondagens referentes ao SP 01 e SP 04 também estão incluídos no final desse trabalho, presentes nos Anexos C e D, respectivamente.

Figura 23 - Perfil geológico



Fonte: Autor (2021).

A partir da obtenção desses dados e com um refinamento de estruturas que são mais usuais e de possíveis construções, definiu-se para complementar este estudo, além do muro de flexão já previamente adotado pela empresa, um muro de gravidade de concreto ciclópico e um muro de gabião.

4.4 PARÂMETROS E DADOS INSERIDOS NO *SOFTWARE*

Para a modelagem das estruturas de contenção no *Software* GEO5, foi necessário a inserção de alguns dados para o seu correto funcionamento.

4.4.1 Dados em comum dos módulos

Os fatores a seguir são parâmetros em comum inseridos nos 3 módulos: Muro de Flexão, Muro de Gravidade e Muro de Gabião.

4.4.1.1 Configurações iniciais de projeto

Para efeitos de padronização, os primeiros dados inseridos nos módulos do programa foram a respeito das configurações iniciais de projeto.

Quanto aos cálculos de empuxo de terra, o ativo estaria de acordo com Coulomb e o passivo segundo Caquot-Kerisel. Já quanto aos requisitos de estabilidade de muros de contenção, observou-se os fatores indicados na NBR 11682 (2009) como cita Senes (2018) em seu trabalho e ficaram estabelecidos, como é possível observar na Figura 24, os seguintes fatores de segurança de acordo com a literatura:

- Tombamento: 2,0;
- Deslizamento na base: 1,5;
- Capacidade de carga da fundação: 3,0.

Figura 24 - Configurações iniciais do *software* (análise do muro)

Materiais e Normas		Análise de muro		Ancoragem	
Cálculo do empuxo de terra ativo :		Coulomb			
Cálculo do empuxo de terra passivo :		Caquot-Kerisel			
Análise sísmica :		Mononobe-Okabe			
Forma da cunha de terra :		Calcular como inclinação			
Excentricidade permitida :		0,333	[-]		
Metodologia de verificação :		Fatores de segurança			
<input type="checkbox"/> Reduzir parâmetros de contacto base-solo					
Situação permanente do projeto		Situação transitória do projeto		Situação accidental do projeto	
Situação sísmica do projeto					
— Fatores de segurança					
Fator de segurança para tombamento :		SF _o =	2,00	[-]	
Fator de segurança para a resistência ao deslizamento :		SF _z =	1,50	[-]	
Fator de segurança para a capacidade de carga :		SF _c =	3,00	[-]	

Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

Além disso, para o critério de estabilidade global do talude foi considerado o valor usual de 1,50 para o fator de segurança.

Por fim, foi considerado um fator de pressão mínima de 0,2 para dimensionamento para estar a favor da segurança e considerando situações piores. A despeito disso, para maior esclarecimento, o menu “Ajuda” do *Software* GEO5 explica:

Na determinação da distribuição de empuxos, é difícil quantificar efeitos individuais. Esta situação leva a incertezas na determinação da distribuição do diagrama de pressões. No dimensionamento, deve ser considerada a pior situação, de forma a garantir a segurança da estrutura. Por exemplo, no caso de estruturas reforçadas em solos coesivos, ao utilizar valores razoáveis para os parâmetros do solo, é possível verificar a existência de esforços de tração na parte superior da estrutura. No entanto, estes esforços de tração não podem ser exercidos na estrutura de contenção (consequência da separação do solo devido às tecnologias da construção, isolamento e camada drenante). Para favorecer a segurança no dimensionamento da estrutura, particularmente nas regiões abaixo da superfície do terreno, onde os esforços de tração se desenvolvem durante a computação de empuxos ativos, o programa permite acionar a opção "Pressão mínima para dimensionamento" durante a análise.

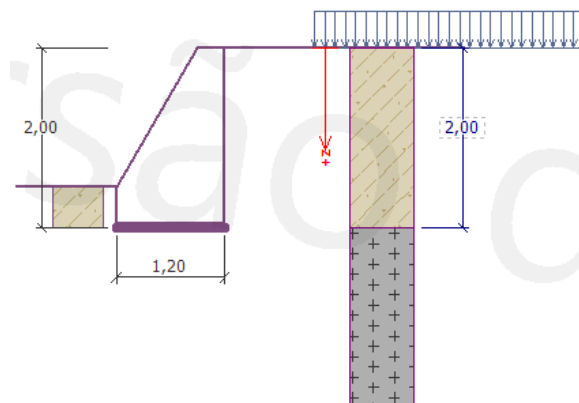
Para determinar a pressão mínima de dimensionamento, o programa define, para as camadas de solos coesivos, um valor alternativo para o coeficiente de empuxo ativo de $K_a = 0.2$.

4.4.1.2 Parâmetros do solo



Para a inserção dos parâmetros do solo no programa, foram realizadas buscas na literatura com base no que foi fornecido no relatório de sondagem, para encontrar dados coerentes com o perfil de solo deste estudo, representado pela Figura 25, que fidelizassem ainda mais a modelagem e os resultados.

A primeira faixa do perfil do solo, composta pelo solo silte-arenoso, possui 2 metros de espessura. A segunda faixa possui o restante da espessura, pelo fato de ser rocha e ter sido impenetrável à sondagem à percussão. Quanto ao lençol freático, este não foi interceptado pela sondagem e, além disso, pelo fato de as estruturas de contenção possuírem um sistema de drenagem eficiente na superfície, o lençol freático não foi considerado no programa.

Figura 25 - Perfil do solo



LEGENDA

-  Solo silte-arenoso
-  Rocha

Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

- Solo silte-arenoso

Primeiramente, quanto a camada de solo silte-arenoso, na procura por dados geotécnicos próximo ao terreno em estudo foi possível obter, através da pesquisa de Caraméz (2017), informações úteis a respeito de duas sondagens SPT presentes no seu laudo de sondagem, que são no bairro Pantanal e relativamente próximos a área de estudo. Em sua dissertação intitulada “Mapeamento geotécnico da Microbacia do Itacorubi – Florianópolis/SC – aplicação do modelo *Shalstab* para a confecção de mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos de encostas”, Caraméz (2017) propôs uma caracterização dos solos e o gerenciamento dos dados em ambiente SIG para a Microbacia do Itacorubi, com a criação de mapas temáticos a partir de laudos de sondagens coletados.

Para esse trabalho foram utilizados dados de resultados de ensaios de cisalhamento de campo, além de mapas de correlações paramétricas SPT, onde é possível estimar com as coordenadas geográficas da área de estudo deste trabalho valores para interceptos coesivos, peso específico natural e ângulo de atrito interno.

Em uma de suas tabelas utilizadas, presente no Anexo A, Caraméz (2017) localiza os furos de sondagem SPT através de coordenadas UTM, identificando também o bairro representante de cada um. Para o vigente trabalho os pontos de utilidade foram o 18 e o 31, ambos representados na Tabela 1.

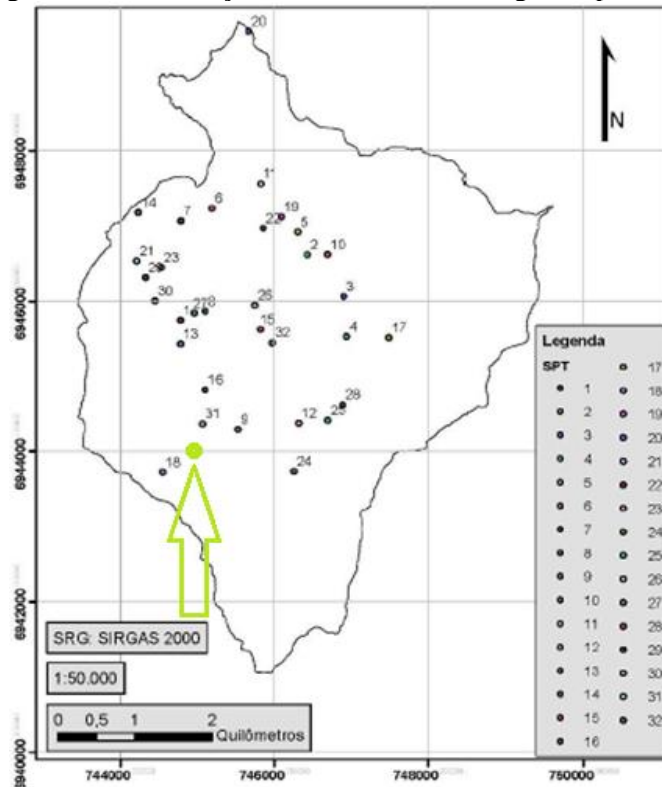
Tabela 1 - Dados básicos - Laudos de sondagens "SPT"

<i>SPT</i>	Coordenadas UTM (SIRGAS 2000 – 22S)		Bairro	Cota Ensaio (m)
	Norte (S)	Este (E)		
18	744.546,92	6.943.723,46	Pantanal	15,80
31	745.064,22	6.944.370,82	Pantanal	18,30

Fonte: Caraméz (2017), modificado pelo autor.

Na Figura 26 é possível visualizar a posição geográfica dos 31 pontos considerados na análise de Caraméz (2017) dentro da Microbacia do Itacorubi e, demarcado em verde, o ponto estimado do local de estudo do presente trabalho.

Figura 26 - Localização dos ensaios de sondagens à percussão



Fonte: Caraméz (2017), modificado pelo autor.

Em outra tabela, presente no Anexo B, Caraméz (2017) representa os parâmetros de solos estimados referentes a cada ponto SPT. O recorte dos pontos em utilidade neste trabalho encontra-se representado na Tabela 2.

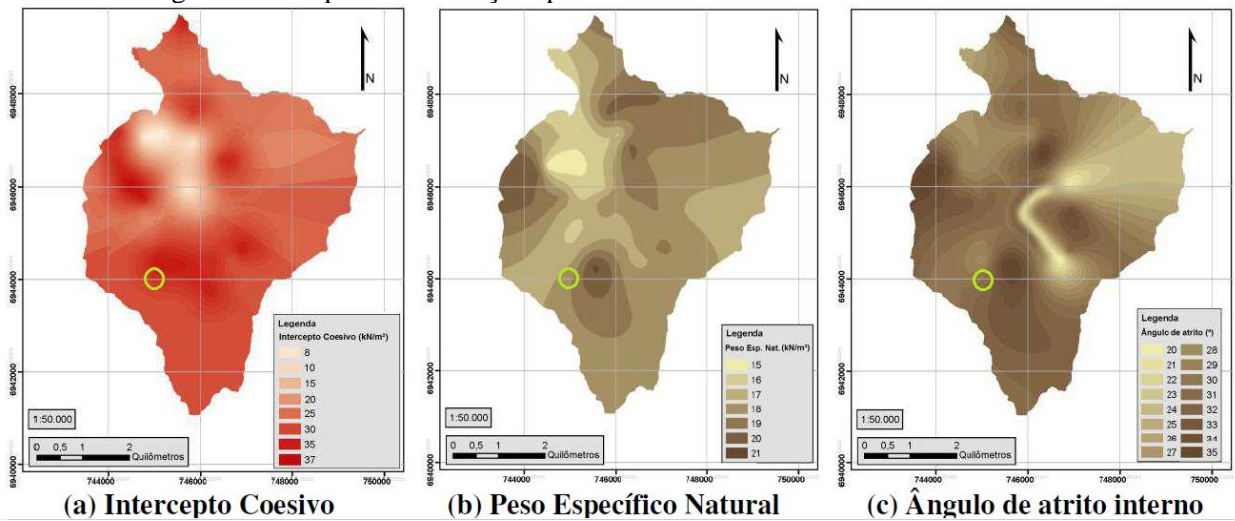
Tabela 2 - Parâmetros de solos estimados

Ud Geot.	SPT	N_{SPT} (5m)	Peso esp. nat. " γ_n " (kN/m ³)	Âng. atrito int. " ϕ " (°)	Int. coesivo " c " (kPa)
Gsq	31	6	18	29	36
Cgt	18	11	18	31	-

Fonte: Caraméz (2017), modificado pelo autor.

Com esse banco de dados geotécnicos coletados, Caraméz (2017) utilizou as ferramentas de geoprocessamento do *software* SIG, incluindo interpolações geoestatísticas por Krigagem, e delimitou as áreas de influência através de mapas gerados pelo programa. Na Figura 27 é possível observar os mapas de correlações paramétricas tais como coesão, peso específico natural e ângulo de atrito interno. Além disso, demarcado em verde o ponto relacionado ao local da área de estudo.

Figura 27 - Mapas de correlações paramétricas SPT - Microbacia do Itacorubi



Fonte: Caraméz (2017), modificado pelo autor.

Além de Caraméz (2017), para contribuir na estimativa dos parâmetros desse solo, foi utilizada uma tabela encontrada na literatura de autoria de Joppert (2007). A Tabela 3 indica os parâmetros médios do solo e em verde está demarcado o solo de interesse para esse trabalho.

Tabela 3 - Parâmetros médio do solo

Tipo de solo	Faixa N _{spt}	Módulo de elasticidade (t/m ²)	Peso específico		Ângulo de atrito φ°	Coesão efetiva (t/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco silteosa / pouco argilosa	0-4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	-
	5-8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	-
	9-18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	-
	19-41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	-
	≥41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	-
Areia média e fina muito argilosa	0-4	2000	1,7	1,8	25°	0,0
	5-8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
	9-18	5000	1,9	2,0	30°	0,8
	19-41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0-2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,8
	3-5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6-10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila silteosa pouco arenosa	0-2	100	1,7	1,8	20°	0,8
	3-5	100 - 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6-10	250 - 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11-19	500 - 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20-30	3000 - 10000	2,0	2,0	25°	4,0
≥30	10000 - 15000	2,0	2,0	25°	5,0	
Argila arenosa pouco silteosa	0-2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3-5	500 - 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6-10	1500 - 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11-19	2000 - 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥20	3500 - 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa/argila orgânica	0-1	40 - 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2-5	100 - 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso	5-8	800	1,8	1,9	25°	1,5
	9-18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19-41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

Fonte: Joppert (2007), modificado pelo autor.

Quanto ao ângulo de fricção entre os materiais, dentro da base de dados do *software* está disponibilizada uma tabela, representada pela Tabela 4, com o valor desses ângulos para diferentes interfaces de acordo com a NAVFAC (*Naval Facilities Engineering Systems Command*).

Tabela 4 - Valores de ângulo de fricção para diferentes interfaces

Material da interface	Fator de fricção $tg(\delta)$	Ângulo de fricção δ [°]
Concreto assente nos seguintes materiais de fundação:		
Rocha pura	0.70	35
Cascalho, mistura de cascalho e areia, areia grossa	0.55 - 0.6	29 - 31
Areia fina a média, silte médio a areia grossa, cascalho siltoso ou argiloso	0.45 - 0.55	
Areia fina, areia siltosa ou argilosa fina a areia média	0.35 - 0.45	19 - 24
Silte arenoso fino, silte não plástico	0.30 - 0.30	17 - 19
Argila muito rígida e dura ou pré-consolidada	0.40 - 0.50	22 - 26
Argila mediamente rígida e rígida ou argila siltosa	0.30 - 0.35	17 - 19
Cortinas de estacas metálicas com os seguintes solos:		
Cascalho puro, mistura cascalho-areia, rocha bem graduada	0.40	22
Areia pura, mistura cascalho-areia siltosa, enchimento de rocha dura de tamanho único	0.30	17
Areia siltosa, cascalho ou mistura de areia com silte ou argila	0.25	14
Silte arenoso fino, silte não plástico	0.20	11
Blocos de concreto ou cortinas de estacas em concreto com os seguintes solos:		
Cascalho puro, mistura cascalho-areia, rocha bem graduada	0.40 - 0.50	22 - 26
Areia pura, mistura cascalho-areia siltosa, enchimento de rocha dura de tamanho único	0.30 - 0.40	17 - 22
Areia siltosa, cascalho ou mistura de areia com silte ou argila	0.30	17
Silte arenoso fino, silte não plástico	0.25	14
Diferentes materiais estruturais:		
Rocha mole revestida com rocha mole revestida	0.70	35
Rocha dura revestida com rocha mole revestida	0.65	33
Rocha dura revestida com rocha dura revestida	0.55	29
Alvenaria em madeira (granulação grossa)	0.50	26
Aço com aço em ligações de estacas	0.30	17

Fonte: *Software* GEO5 (2021).

Por fim, a base de dados do *software* também disponibiliza uma seção no programa onde ele indica uma faixa aproximada para os parâmetros de determinados tipos de solos. Na Figura 28 está representado para o solo em estudo.

Figura 28 - Características padrões do solo

Classificação dos solos

— Classificação, consistência, densidade

Tipo de classificação: Padrão

Classificação dos solos: MS - Silte arenoso

Consistência: Consistência firme (difícil de deformar por aperto de mão)

— Características padrões dos solos

Silte arenoso (MS), consistência firme			
Parâmetros do solo	Marca	Unidade	Valor
Coefficiente de Poisson	ν	[-]	0,35
Peso específico	γ	[kN/m ³]	18,0
Módulo de deformação	E_{def}	[MPa]	5 - 8
Parâmetros efetivos:			
Ângulo de atrito interno	ϕ_{ef}	[°]	24 - 29
Coesão do solo	c_{ef}	[kPa]	8 - 16

Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

Porém, como o solo do local em estudo tem um caráter mais granular e pelo fato de ser uma região que está, aparentemente, sob a rocha do tipo Granito Ilha, responsável por desenvolver solos mais granulares, foi considerado o valor nulo para coesão, o que resultaria em valores mais favoráveis à segurança.

Portanto, com todas as referências citadas anteriormente, sendo o mais fiel possível na inserção desses dados e seguindo uma linha a favor da segurança, estimou-se os seguintes parâmetros para o solo silte-arenoso, representados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros do solo silte-arenoso em estudo

Parâmetro	Peso específico	Ângulo de atrito interno	Coesão	Ângulo de fricção	Peso específico saturado
Símbolo	γ	φ_{ef}	c_{ef}	δ	γ_{sat}
Unidade	kN/m ³	°	kPa	°	kN/m ³
Valor	18,00	25	0	14	19,00

Fonte: Autor (2021).

- Rocha

Para os valores dos parâmetros da rocha, foram estimados valores genéricos para uma rocha do tipo granito, porém coerentes com alguns dados observados na literatura.

Quanto a coesão, Orige (2016) apresenta um valor de coesão de 40,0 kPa para rocha alterada. Também foram encontrados valores na literatura de cerca de 200 kPa para este parâmetro no caso de uma rocha sã do tipo granito. Logo, para estar a favor da segurança utilizou-se o valor de 40,0 kPa. A respeito do ângulo de fricção, foi possível encontrar valores na base de dados apresentados na Tabela 4. A seguir a Tabela 6 mostra os valores estimado para a camada representada pela rocha.

Tabela 6 - Parâmetros da rocha

Parâmetro	Peso específico	Ângulo de atrito interno	Coesão	Ângulo de fricção	Peso volúmico saturado
Símbolo	γ	φ_{ef}	c_{ef}	δ	γ_{sat}
Unidade	kN/m ³	°	kPa	°	kN/m ³
Valor	26,00	40	40,00	35	26,00

Fonte: Autor (2021).

4.4.1.3 Sobrecarga

Para a determinação da sobrecarga foi utilizado um cenário bastante conservador, considerando a situação de um caminhão passando pela estrada do condomínio vizinho, que está localizada logo atrás do local de estudo.

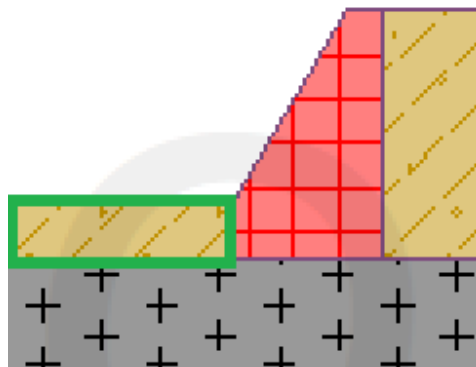
Orige (2016) em seu trabalho, o qual analisou a estabilidade de um talude também no bairro Pantanal, considerou uma sobrecarga (q) de 17 kN/m^2 para a situação de um caminhão estacionado no topo do talude. No entanto, Bonissoni (2017), que analisou em seu trabalho o dimensionamento e a execução de muros de arrimo em alvenaria estrutural, considerou para situação de um caminhão o valor de $2,5 \text{ t/m}^2$ para fins comparativos.

Logo, para este estudo, estimou-se uma sobrecarga contínua com o valor de 25 kN/m^2 e com $3,0$ metros de comprimento, para representar um caminhão e também estar a favor da segurança.

4.4.1.4 Solo da face frontal

De acordo com o projeto fornecido do Muro de Flexão, infere-se uma camada de solo silte-arenoso de 45 cm na face frontal e com isso, adotou-se esse dado para as 3 modelagens. Na Figura 29 é possível visualizar, demarcado em verde, um exemplo dessa camada inserida no módulo de muro de gravidade.

Figura 29 – Camada de solo da face frontal das estruturas



Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

4.4.2 Dados específicos para cada módulo

Na sequência desta seção, estão apresentados os dados específicos para cada módulo, como a sua geometria e o seu material.

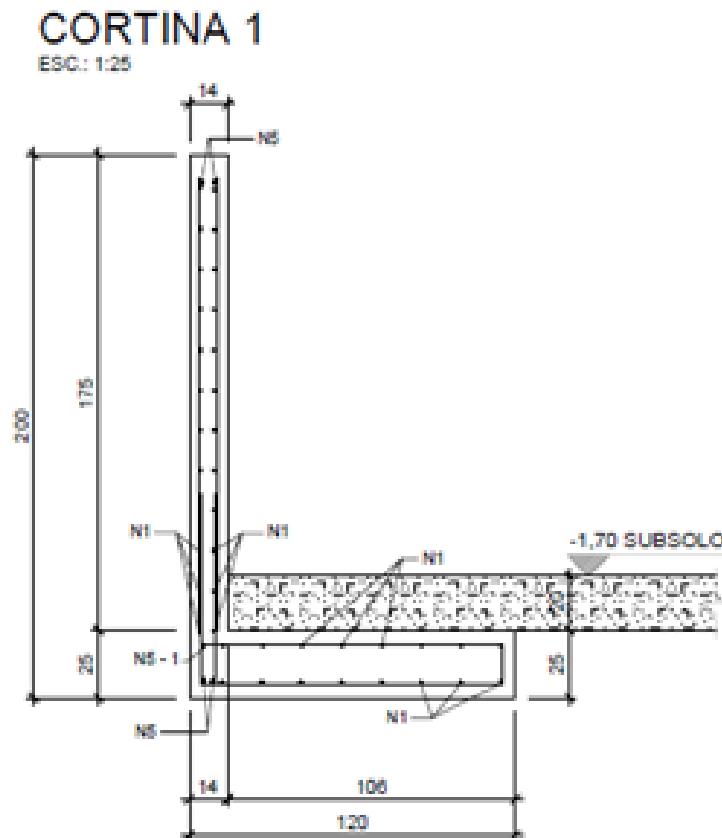
4.4.2.1 Muro de Flexão

Para ajudar no detalhamento dos dados do Muro de Flexão, por ser o projeto original e já definido, foi possível obter o auxílio de materiais e projetos para a sua modelagem.

- Geometria

Para a definição da geometria do Muro de Flexão, seguiu-se o projeto obtido no levantamento de dados preexistentes, representado pela Figura 30.

Figura 30 - Projeto de detalhamento do Muro de Flexão

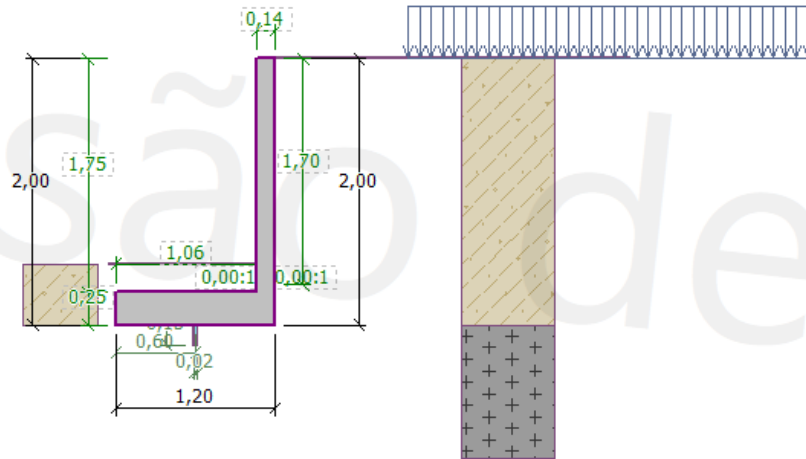


Fonte: Da Campos Construtora e Incorporadora, modificado pelo autor (2021).

Dentro do módulo “Muro de Flexão” na seção “Geometria”, foi possível especificar esses dados através de um modelo fornecido pelo programa, onde você tem a liberdade de

alterar as suas dimensões para deixar de acordo com a sua preferência. Na Figura 31 está representado o desenho do Muro de Flexão no *software*.

Figura 31 - Geometria do Muro de Flexão inserida no *software*



Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

O Muro de Flexão possui uma altura de 2,00 m, com uma espessura de 0,14 m. A sua base possui 1,20 m de largura e uma altura de 0,25 m. Além disso, o seu comprimento total é de 15,40 metros e o seu volume total é 8,47 m³.

- Material

Os materiais do Muro de Flexão estão descritos nas observações e nas notas do projeto. O concreto possui um f_{ck} (Resistência característica do concreto) de 30 MPa e quanto ao aço é um CA-50 ou seja, possui um f_{yk} (Resistência característica do aço) de 500 MPa. O peso específico deste muro segue o valor usual na literatura para concreto armado de 25,00 kN/m³. Na Figura 32 está representada a janela do programa a qual foi inserida os valores desses materiais.

Figura 32 - Parâmetros dos materiais do Muro de Flexão

Peso volúmico da parede: $\gamma =$ <input type="text" value="25,00"/> [kN/m ³]	
— Concreto	— Armadura longitudinal
<input type="button" value="Catálogo"/> <input type="button" value="Personalizado"/>	<input type="button" value="Catálogo"/> <input type="button" value="Personalizado"/>
C30 $f_{ck} = 30,00$ MPa $f_{ctm} = 2,90$ MPa	CA-50 $f_{yk} = 500,00$ MPa

Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

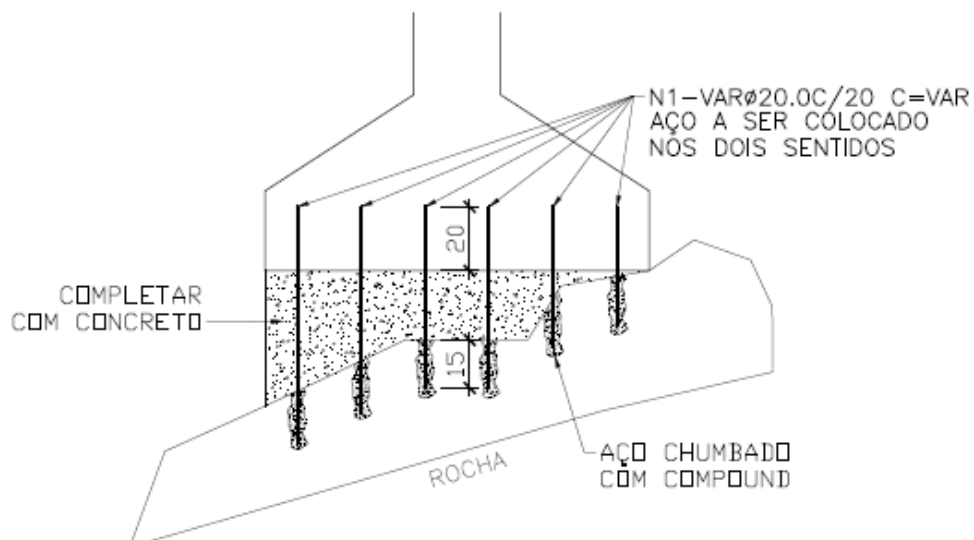
- Ancoragem

De acordo com a “Planta de locação e fundação com sapatas” obtida na coleta de materiais, é possível observar que está determinado em projeto a ancoragem da base da “Cortina 1”, Muro de Flexão em estudo.

Para a aplicação desse dado no programa, foi necessário a inserção dos valores do diâmetro da barra, da resistência última do aço e da ligação limite para o cálculo da resistência ao arrancamento e à tração da ancoragem. Esses valores foram obtidos na literatura através das características do aço CA-50 e também com o apoio da base de dados do *software* GEO5, que tem uma tabela com valores aproximados para ligação limite e resistência última de acordo com o material envolvido. Para esses cálculos o programa utiliza um fator de segurança de 1,50.

Na Figura 33 está representado esse detalhamento, onde infere-se que são barras de aço de 20 mm de diâmetro a cada 20 cm (em ambos os sentidos), além disso são 20 cm dessa barra no interior da sapata e mais uma profundidade de 15 cm a partir do momento que inicia a perfuração na rocha. Para corrigir o espaçamento causado pelo desnível entre a base e a rocha, este espaço livre foi completado com concreto.

Figura 33 - Detalhamento ancoragem da base da cortina



Fonte: Da Campos Construtora e Incorporadora, modificado pelo autor (2021).

Na Figura 34 é possível visualizar uma imagem real que foi capturada em campo para um maior esclarecimento a respeito do detalhamento da ancoragem.

Figura 34 - Imagem real do detalhamento da ancoragem na base da cortina



Fonte: Autor (2021).

4.4.2.2 Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico

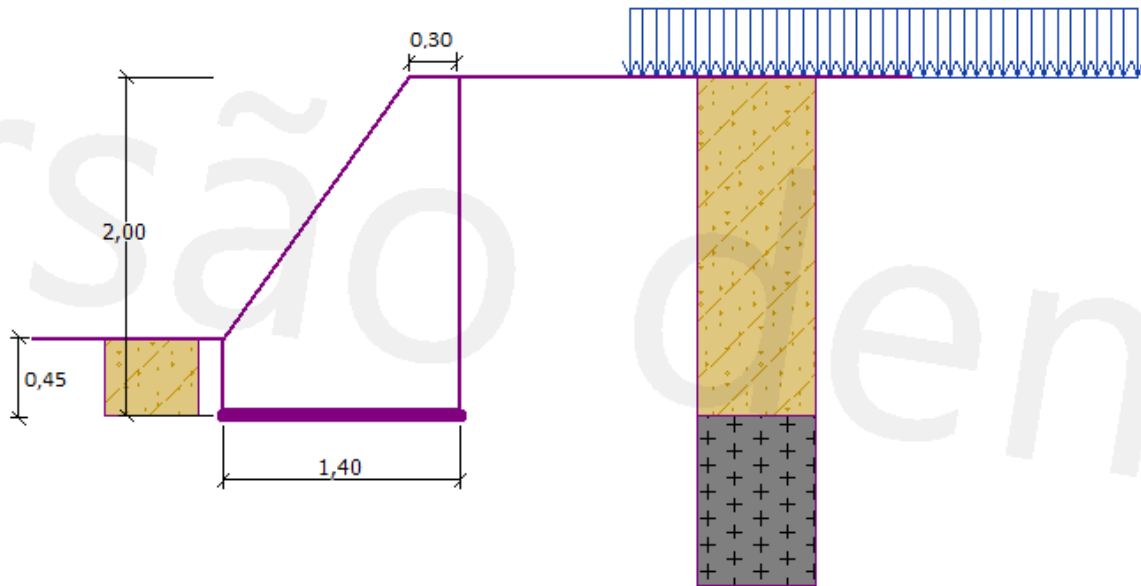
Para a modelagem desse muro de arrimo, foi necessário a introdução de dados específicos a respeito da sua geometria e dos materiais constituintes.

- Geometria

Quanto a sua geometria, além do comprimento de 15,40 metros da estrutura, adotou-se a mesma altura de 2,0 metros do Muro de Flexão original. Para o topo optou-se por uma medida usual de 0,30 metros. Já para a base, após algumas tentativas com medidas de 1,00 metro e 1,20 metros de largura, foi admitida uma base com 1,40 de largura, já que as tentativas anteriores não passaram na verificação de alguns critérios de segurança. Com isso, a estrutura resultou em um volume de 30,03 m³.

Na Figura 35 é possível visualizar a representação gráfica de sua geometria no *software* com suas medidas em metros.

Figura 35 – Geometria do Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico inserida no *software*



Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

- Material

O concreto ciclópico utilizado para este muro de gravidade possui as características usuais de um f_{ck} de 15 MPa e constituído por 30% de pedra de mão em volume real, além de um peso específico de 22 kN/m³, valor também usado por Andrade (2018) em sua análise comparativa de estruturas de contenções.

4.4.2.3 Muro de Gabião

Como o item anterior, para esse muro também foi necessário a introdução de dados específicos a respeito da sua geometria e seus materiais constituintes.

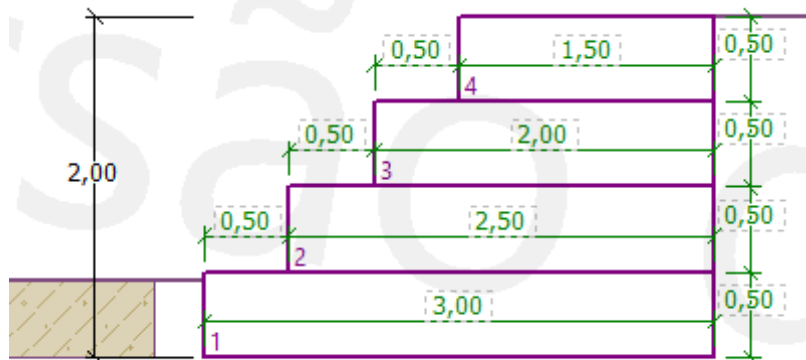
- Geometria

Primeiramente, continuou-se com os 2 metros de altura e 15,40 de comprimento como nas outras estruturas para um melhor efeito comparativo. Para as outras dimensões, observou-se o catálogo de algumas empresas que vendem esse produto, como a Maccaferri, para ter uma base no dimensionamento da estrutura. Com isso, após algumas tentativas verificando os critérios de tombamento e deslizamento, optou-se por uma estrutura com 4 camadas de 0,50 metros de altura cada, uma base de 3,00 metros e os degraus entre as camadas com um recuo de 0,50 metros.

Logo a 1ª camada (base) tem 3,00 metros de largura e 0,5 metros de altura, a 2ª camada tem 2,50 de largura e 0,50 metros de altura, a 3ª camada tem 2,00 metros de largura e 0,50 metros de altura e a 4ª camada tem 1,50 metros de largura e 0,50 metros de altura. Seu volume total é de 69,30 m³.

A Figura 36 representa as dimensões graficamente através do *software*.

Figura 36 - Geometria do Muro de Gabião inserida no *software*



Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

- Materiais

Para o uso desse módulo, é necessário especificar os parâmetros do material de enchimento e da malha da caixa do gabião.

Os dados da malha foram extraídos do catálogo com especificações técnicas da Maccaferri. Os valores de resistência à tração da malha e de resistência da conexão, de 40 kN/m e 27 kN/m, respectivamente, estão demarcados em verde no recorte do catálogo utilizado, representado pela Figura 37.

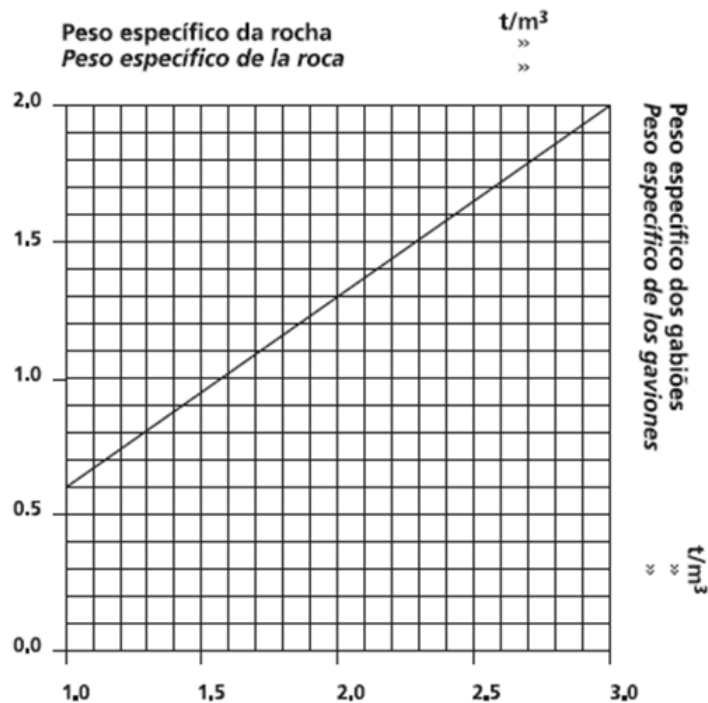
Figura 37 - Catálogo com as propriedades mecânicas e físicas da malha

Propriedades mecânicas e físicas		
Resistência à tração da malha ⁽¹⁾	kN/m	40
Resistência da conexão na borda ⁽²⁾	kN/m	27
Tensão de ruptura do arame ⁽³⁾	MPa	380 a 500 - Classe A
Alongamento na ruptura do arame ⁽³⁾	%	13 - Classe A
Tipo de malha		8x10
Diâmetro do arame da malha	mm	2,4
Diâmetro do arame de borda	mm	3,0

Fonte: Maccaferri (2020), modificado pelo autor.

Quanto aos parâmetros de enchimento do gabião, para determinar o seu peso específico foi utilizado um ábaco extraído do manual técnico de Barros (2017). O peso específico dos gabiões que formam o muro é considerado em função do peso específico das pedras e da porosidade do gabião, que normalmente varia de 30% a 40% por conta da curva granulométrica do material de enchimento, da sua forma e também do cuidado na execução do enchimento. Com isso, considerando uma rocha usual que possui um peso específico de 26 kN/m^3 , após essa redução infere-se do ábaco, representado na Figura 38, que o novo valor seria algo em torno de 17 kN/m^3 .

Figura 38 - Ábaco para o peso específico do Muro de Gabião



Fonte: Barros (2017).

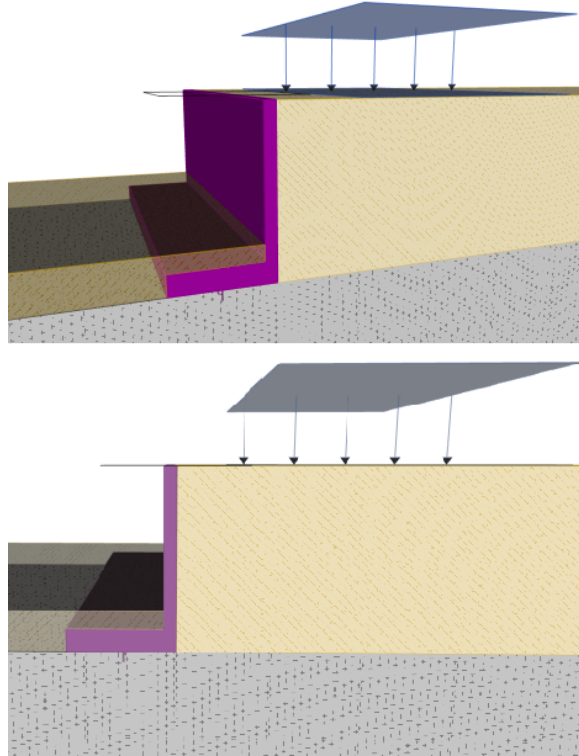
Com relação ao ângulo de atrito, Stasiak (2019) cita o valor de 32° para o ângulo de atrito típico em seu estudo sobre possíveis soluções de reparo para a restauração de uma rua no município de Caçador-SC.

4.5 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA NO SOFTWARE

A seguir será apresentado uma visualização 3D de cada muro extraída do *software* após a inserção de todos os dados necessários.

- Muro de Flexão

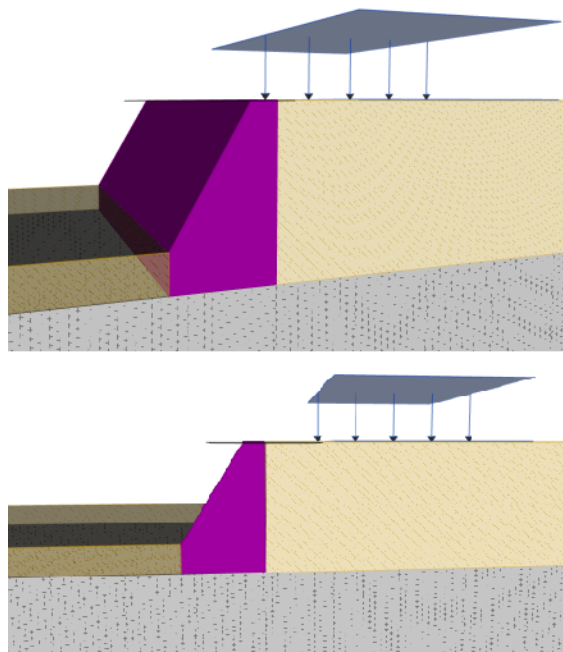
Figura 39 - Visualização em 3D do modelo do Muro de Flexão



Fonte: *Software* GEO5, elaborado pelo autor (2021).

- Muro de Gravidade de Concreto Ciclóptico

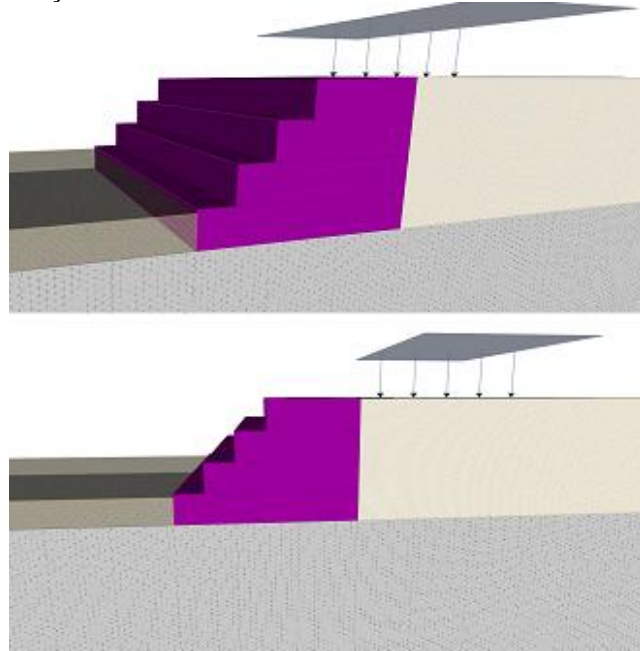
Figura 40 - Visualização em 3D do modelo do Muro de Gravidade de Concreto Ciclóptico



Fonte: *Software* GEO5, elaborado pelo autor (2021).

- Muro de Gabião

Figura 41 - Visualização em 3D do modelo do Muro de Gravidade de Concreto Ciclóptico



Fonte: *Software* GEO5, elaborado pelo autor (2021).

4.6 VALIDAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a modelagem dos 3 muros de contenção, nesta etapa eles foram verificados pelos critérios de segurança contra o tombamento, deslizamento e a estabilidade global do talude. Os fatores de segurança para esses critérios, como já citados na subseção 4.4.1.1, são de 2,0, 1,5 e 1,5, respectivamente. Pela fundação desses muros ser rocha, não foi necessário o cálculo da capacidade de carga do solo de fundação.

4.7 QUANTITATIVO E ORÇAMENTO

Nesta etapa foi realizado o quantitativo de materiais para cada muro de contenção e o seu custo correspondente para efeitos comparativos entre eles, com o auxílio da Tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) disponibilizada pela Caixa Econômica Federal.

5 RESULTADOS

No presente capítulo foram apresentados os resultados das verificações de estabilidade para as 3 estruturas de contenção de solo em estudo. Dentro de cada módulo específico no *software* é possível verificar os resultados dos critérios de segurança relacionados ao tombamento e ao deslizamento. Para a verificação da estabilidade global, o programa faz uma conexão do módulo de cada muro em específico com o módulo “Estabilidade de Taludes”.

No módulo “Estabilidade de Taludes”, é possível definir ainda alguns outros detalhes como reforços, grampos ou até mesmo estacas antideslizantes. Dentro deste módulo, na janela “Análises”, o primeiro passo é selecionar o tipo de superfície de deslizamento, podendo ser poligonal ou circular. Após selecionar a superfície de deslizamento, é definido o método de análise (Fellenius/Petterson, Bishop, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price) e o tipo de análise (Normal, Otimização, Buscar Grelha).

Para este trabalho optou-se pela superfície de deslizamento circular. Para efeitos comparativos foi considerado na tabela final o método de Bishop por uma análise de otimização.

A seguir, foi representado para cada estrutura de contenção de solo em estudo, tabelas e capturas de imagem do programa da verificação contra o tombamento e o deslizamento, e também da parte de análise de estabilidade, tanto pelo método de Bishop por otimização, bem como a ilustração da Grelha (Bishop) e também a análise padrão utilizando todos os métodos.

No final deste capítulo, está representado uma tabela com um resumo de todos os critérios de segurança verificados com seus respectivos fatores para cada muro de contenção.

5.1 MURO DE FLEXÃO

Nesta subseção estão representadas as verificações aos critérios de segurança do Muro de Flexão. Na Tabela 7, pode-se inferir que a estabilidade do muro tanto ao tombamento quanto ao deslizamento é satisfatória. Para o tombamento, o fator de segurança obtido foi de 3,57 e para o deslizamento foi 1,86.

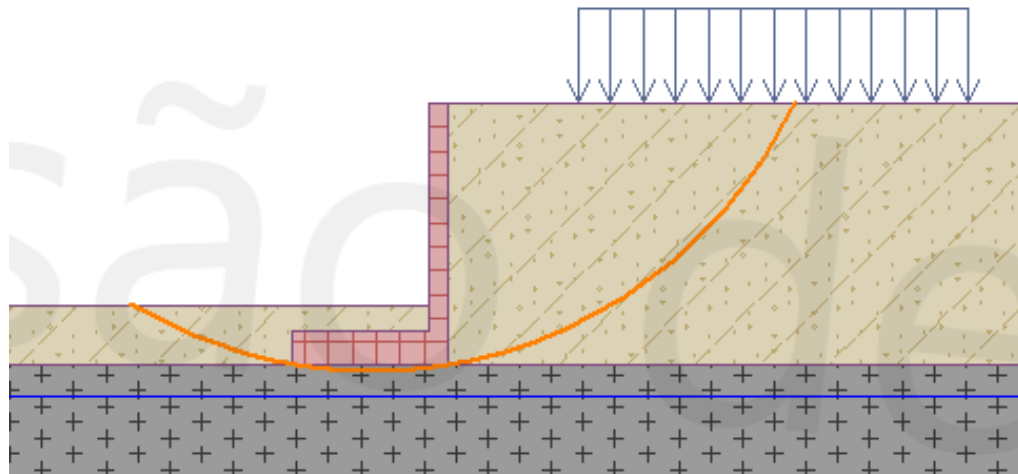
Tabela 7 - Verificação da estabilidade ao tombamento e ao deslizamento (Muro de Flexão)

Verificação da estabilidade ao tombamento		Verificação da estabilidade ao deslizamento	
Momento resistente	$M_{res} = 66,27 \text{ kNm/m}$	Reação horizontal	$H_{res} = 45,98 \text{ kN/m}$
Momento de tombamento	$M_{ovr} = 18,57 \text{ kNm/m}$	Força horizontal ativa	$H_{act} = 24,74 \text{ kN/m}$
Fator de segurança	$3,57 > 2,00$	Fator de segurança	$1,86 > 1,50$
Resistência do muro ao tombamento é SATISFATÓRIA (56,0%)		Resistência do muro ao deslizamento é SATISFATÓRIA (80,7%)	

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 42, está representada a verificação quanto a estabilidade global do talude pelo método de Bishop numa análise otimizada, onde pode-se inferir que a estabilidade do talude se verifica com um fator de segurança de 2,17.

Figura 42 - Verificação da estabilidade global por otimização e método de Bishop (Muro de Flexão)



Verificação da estabilidade de talude (Bishop)

Soma de forças ativas : $F_a = 55,56 \text{ kN/m}$

Soma de forças passivas : $F_p = 120,72 \text{ kN/m}$

Momento de deslizamento : $M_a = 199,46 \text{ kNm/m}$

Momento resistente : $M_p = 433,40 \text{ kNm/m}$

Fator de segurança = $2,17 > 1,50$

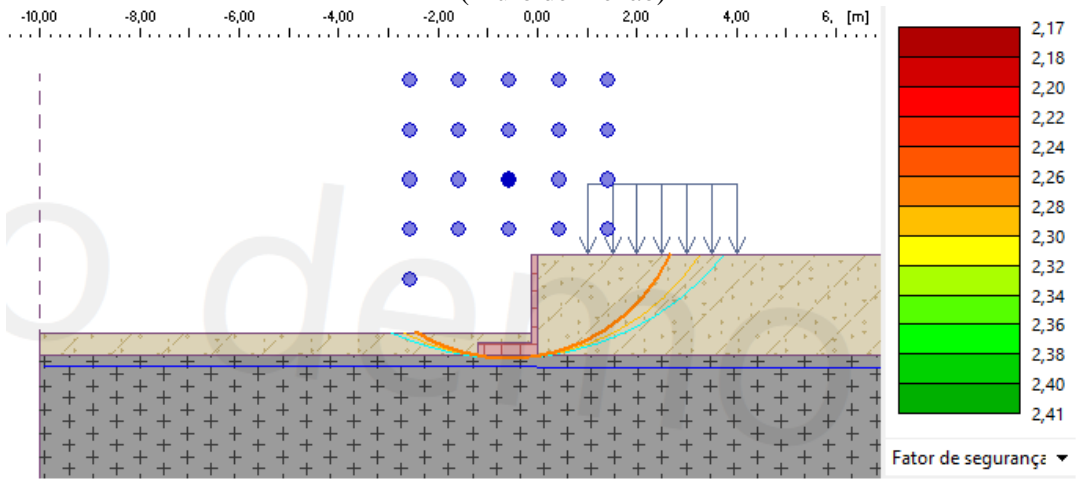
Estabilidade do talude **VERIFICA**

Otimização da superfície de deslizamento circular (Bishop)

Fonte: *Software* GEO5, modificado pelo autor (2021).

A Figura 43 representa graficamente a ilustração do tipo de análise grelha e logo abaixo os fatores de segurança obtidos pela análise padrão para todos os métodos disponíveis.

Figura 43 - Verificação da estabilidade global ilustrada na grelha e verificada por todos os métodos (Muro de Flexão)



Verificação da estabilidade de talude (Todos os métodos)

Bishop : FS = 2,17 > 1,50 VERIFICA
 Fellenius / Petterson : FS = 1,90 > 1,50 VERIFICA
 Spencer : FS = 2,23 > 1,50 VERIFICA
 Janbu : FS = 3,78 > 1,50 VERIFICA
 Morgenstern-Price : FS = 2,31 > 1,50 VERIFICA

Fonte: Software GEO5, modificado pelo autor (2021).

5.2 MURO DE GRAVIDADE DE CONCRETO CICLÓPICO

Nesta subsecção estão representadas as verificações aos critérios de segurança do Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico. Na Tabela 8, pode-se inferir que a estabilidade do muro tanto ao tombamento quanto ao deslizamento é satisfatória. Para o tombamento, o fator de segurança obtido foi de 2,42 e para o deslizamento foi 1,67.

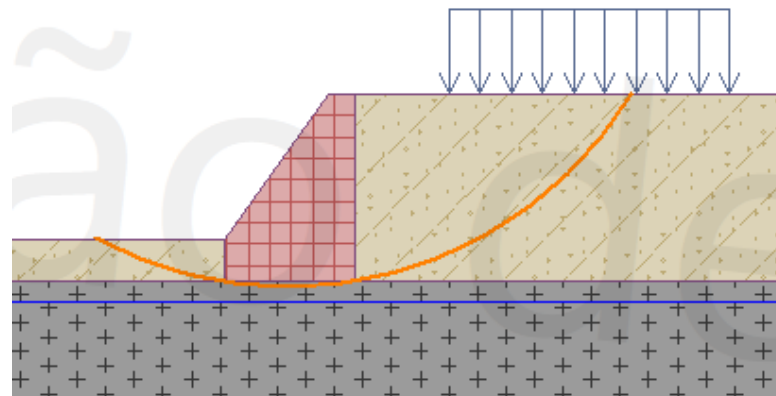
Tabela 8 - Verificação da estabilidade ao tombamento e ao deslizamento (Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico)

Verificação da estabilidade ao tombamento		Verificação da estabilidade ao deslizamento	
Momento resistente	$M_{res} = 45,25 \text{ kNm/m}$	Reação horizontal	$H_{res} = 43,12 \text{ kN/m}$
Momento de tombamento	$M_{ovr} = 18,72 \text{ kNm/m}$	Força horizontal ativa	$H_{act} = 25,79 \text{ kN/m}$
Fator de segurança	2,42 > 2,00	Fator de segurança	1,67 > 1,50
Resistência do muro ao tombamento é SATISFATÓRIA (82,8%)		Resistência do muro ao deslizamento é SATISFATÓRIA (89,7%)	

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 44, está representada a verificação quanto a estabilidade global do talude pelo método de Bishop numa análise otimizada, onde pode-se inferir que a estabilidade do talude se verifica com um fator de segurança de 2,63.

Figura 44 - Verificação da estabilidade global por otimização e método de Bishop (Muro de Gravidade de Concreto Ciclóptico)



Verificação da estabilidade de talude (Bishop)

Soma de forças ativas : $F_a = 60,42 \text{ kN/m}$

Soma de forças passivas : $F_p = 159,02 \text{ kN/m}$

Momento de deslizamento : $M_a = 259,19 \text{ kNm/m}$

Momento resistente : $M_p = 682,19 \text{ kNm/m}$

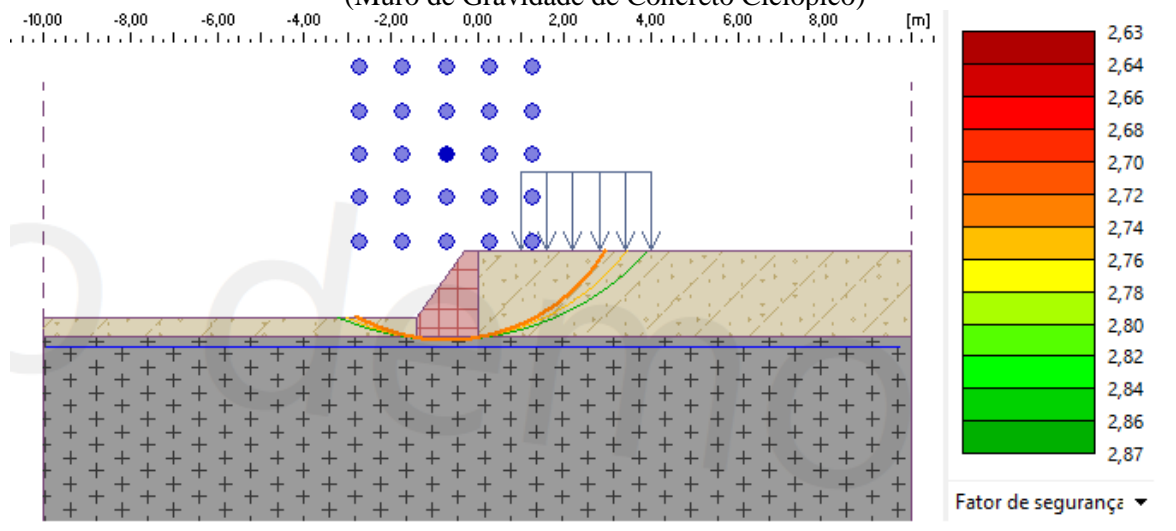
Fator de segurança = $2,63 > 1,50$

Estabilidade do talude VERIFICA

Fonte: Software GEO5, modificado pelo autor (2021).

A Figura 45 representa graficamente a ilustração do tipo de análise grelha e logo abaixo os fatores de segurança obtidos pela análise padrão para todos os métodos disponíveis.

Figura 45 - Verificação da estabilidade global ilustrada na grelha e verificada por todos os métodos (Muro de Gravidade de Concreto Ciclóptico)



Verificação da estabilidade de talude (Todos os métodos)

Bishop : FS = $2,63 > 1,50$ VERIFICA

Fellenius / Petterson : FS = $2,38 > 1,50$ VERIFICA

Spencer : FS = $2,69 > 1,50$ VERIFICA

Janbu : FS = $2,75 > 1,50$ VERIFICA

Morgenstern-Price : FS = $2,75 > 1,50$ VERIFICA

Fonte: Software GEO5, modificado pelo autor (2021).

5.3 MURO DE GABIÃO

Nesta subseção estão representadas as verificações aos critérios de segurança do Muro de Gabião. Na Tabela 9, pode-se inferir que a estabilidade do muro tanto ao tombamento quanto ao deslizamento é satisfatória. Para o tombamento, o fator de segurança obtido foi de 8,48 e para o deslizamento foi 1,56.

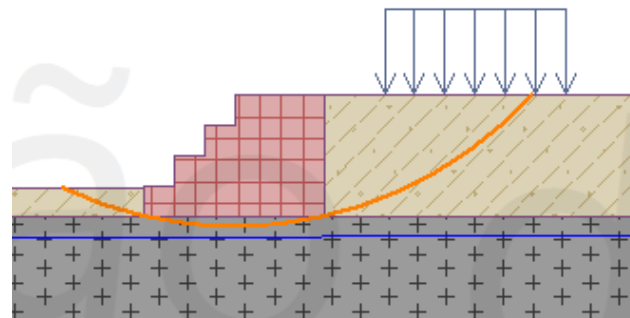
Tabela 9 - Verificação da estabilidade ao tombamento e ao deslizamento (Muro de Gabião)

Verificação da estabilidade ao tombamento		Verificação da estabilidade ao deslizamento	
Momento resistente	$M_{res} = 157,42 \text{ kNm/m}$	Reação horizontal	$H_{res} = 38,67 \text{ kN/m}$
Momento de tombamento	$M_{ovr} = 18,57 \text{ kNm/m}$	Força horizontal ativa	$H_{act} = 24,74 \text{ kN/m}$
Fator de segurança	$8,48 > 2,00$	Fator de segurança	$1,56 > 1,50$
Resistência do muro ao tombamento é SATISFATÓRIA (23,6%)		Resistência do muro ao deslizamento é SATISFATÓRIA (96,0%)	

Fonte: Autor (2021).

Na Figura 46, está representada a verificação quanto a estabilidade global do talude pelo método de Bishop numa análise otimizada, onde pode-se inferir que a estabilidade do talude se verifica com um fator de segurança de 3,94.

Figura 46 - Verificação da estabilidade global por otimização e método de Bishop (Muro de Gabião)



Verificação da estabilidade de talude (Bishop)

Soma de forças ativas : $F_a = 67,32 \text{ kN/m}$

Soma de forças passivas : $F_p = 264,97 \text{ kN/m}$

Momento de deslizamento : $M_a = 449,00 \text{ kNm/m}$

Momento resistente : $M_p = 1767,34 \text{ kNm/m}$

Fator de segurança = $3,94 > 1,50$

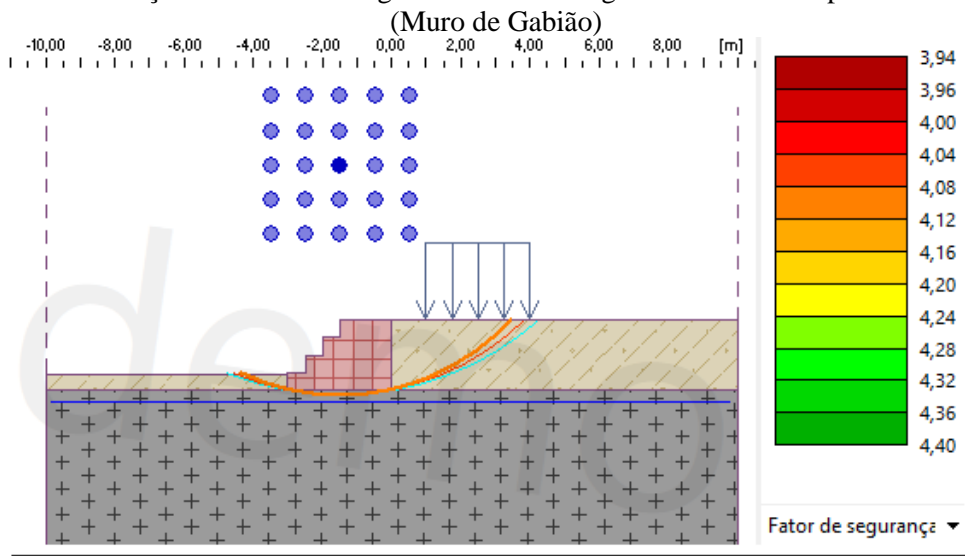
Estabilidade do talude **VERIFICA**

Otimização da superfície de deslizamento circular (Bishop)

Fonte: Software GEO5, modificado pelo autor (2021).

A Figura 47 representa graficamente a ilustração do tipo de análise grelha e logo abaixo os fatores de segurança obtidos pela análise padrão para todos os métodos disponíveis.

Figura 47 - Verificação da estabilidade global ilustrada na grelha e verificada por todos os métodos

**Verificação da estabilidade de talude (Todos os métodos)**

Bishop : FS = 3,94 > 1,50 VERIFICA
 Fellenius / Petterson : FS = 3,71 > 1,50 VERIFICA
 Spencer : FS = 4,00 > 1,50 VERIFICA
 Janbu : FS = 4,04 > 1,50 VERIFICA
 Morgenstern-Price : FS = 4,04 > 1,50 VERIFICA

Fonte: Software GEO5, modificado pelo autor (2021).

5.4 RESUMO DOS RESULTADOS

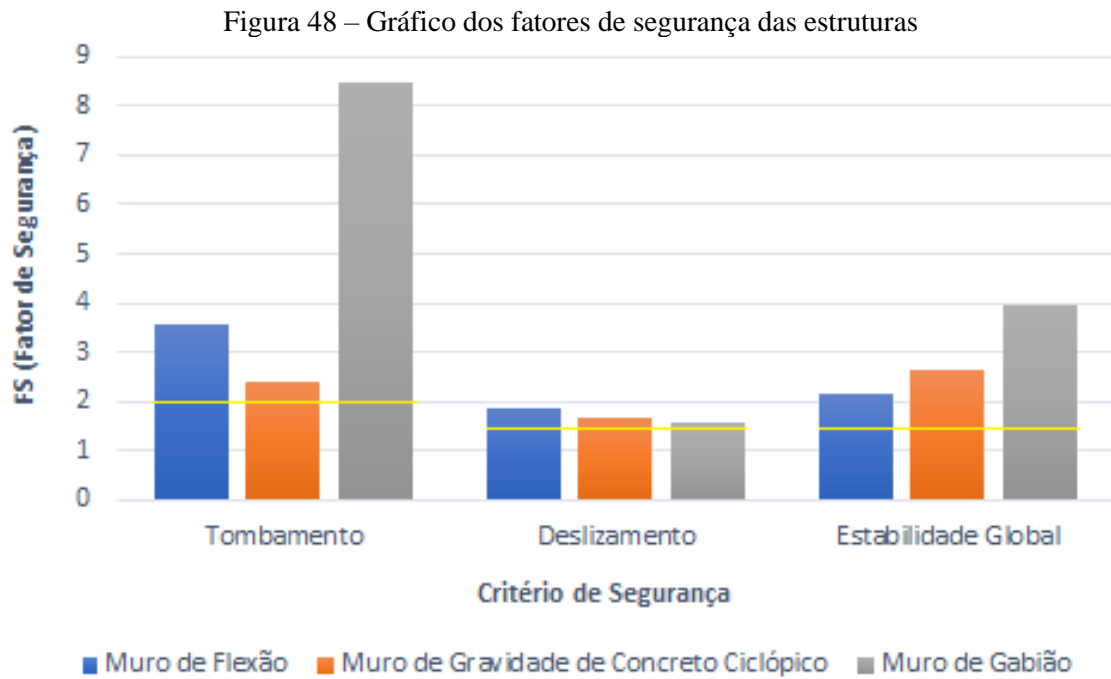
Na Tabela 10, estão exemplificados os resultados das verificações de segurança dos muros de contenção em estudo, e também, destacados em amarelo o menor valor para cada critério de segurança dentre as estruturas propostas. Todas as estruturas foram dimensionadas para cumprir os requisitos de segurança e por isso algumas resultaram em estruturas mais volumosas que as outras.

Tabela 10 - Resumo dos resultados

	Muro de Flexão	Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico	Muro de Gabião
Tombamento	3,57	2,42	8,48
Deslizamento	1,86	1,67	1,56
Estabilidade Global	2,17	2,63	3,94

Fonte: Autor (2021).

Através da Figura 48 é possível visualizar mais claramente a diferença dos fatores de segurança entre as estruturas. A linha amarela representa o fator de segurança mínimo estabelecido pela norma.



Fonte: Autor (2021).

6 QUANTITATIVO E ORÇAMENTO

Para complementar a comparação entre as estruturas estudadas, fez parte deste presente trabalho a quantificação de materiais e o cálculo do valor final de cada solução geotécnica. Para cada sistema foram realizados levantamentos para especificar o material utilizado e as quantidades unitárias de cada serviço para a realização de 1,00 m³ da estrutura.

Para auxiliar no orçamento, os valores de cada serviço foram extraídos da Tabela SINAPI, utilizando a versão mais atualizada até o dado momento da elaboração deste trabalho, que seria referente ao mês de julho de 2021. Além disso, foi utilizada a tabela pertinente ao estado de Santa Catarina para a maioria dos itens, com algumas exceções que não foram encontradas e com isso foram retirados da base de referência do estado de São Paulo.

Dentro da composição de cada serviço, já estão incluídos os custos de material, equipamento e mão de obra. No final de cada quadro de composição de custo encontra-se o valor para 1,00 m³ da estrutura e também o valor final considerando sua totalidade, que também estão presentes no final deste capítulo.

6.1 MURO DE FLEXÃO

Para a composição do Muro de Flexão foram considerados os seguintes aspectos: as atividades de movimentação de terra relacionadas a sapata da base da estrutura; as fôrmas utilizadas tanto para sapata quanto para a cortina em si; o material drenante da estrutura; a armadura com as barras de 6,3 mm e 10 mm de diâmetro para a estrutura em si e a barra de 20 mm para a ancoragem da base na rocha; concretagem com concreto de classe de resistência C30.

O Quadro 3 apresenta a composição de custo do Muro de Flexão, onde infere-se que a maior parcela do valor desta estrutura é referente ao serviço de armação, incluindo a mão de obra do armador e o material utilizado na armadura e na ancoragem. Na linha logo abaixo de cada item está descrito o que está incluído no serviço.

Quadro 3 - Composição de custo - Muro de Flexão
MURO DE FLEXÃO EM "L" DE CONCRETO ARMADO

Área da seção: 0,55 m²
 Volume total: 8,47 m³

Composição de Preço (referente a 1 m³ do muro de contenção)

Código SINAPI / Base de ref.	Serviço	Unid.	Quant.	Preço unit.	Preço total	%
96521 SC_21	Escavação mecanizada para sapata <i>máquinário e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m ³	0,97	R\$ 34,95	R\$ 33,97	0,97%
93382 SC_21	Reaterro manual com compactação mecanizada <i>maquinário e mão de obra de servente</i>	m ³	0,97	R\$ 28,00	R\$ 27,22	0,8%
100341 SC_21	Fôrma em chapa de madeira para cortina de contenção, reutilizável (fabricação, montagem e desmontagem) <i>equipamento, material e mão de obra de carpinteiro e ajudante</i>	m ²	7,90	R\$ 33,83	R\$ 267,26	7,6%
96535 SC_21	Fôrma em chapa de madeira para sapata, reutilizável (fabricação, montagem e desmontagem) <i>equipamento, material e mão de obra de carpinteiro e ajudante</i>	m ²	4,86	R\$ 150,48	R\$ 731,33	20,9%
73881 SC_21	Dreno vertical com manta geotêxtil <i>material e mão de obra de servente</i>	m ²	3,60	R\$ 6,56	R\$ 23,62	0,7%
102723 SP_21	Dreno em muro de contenção (executado no pé do muro) <i>material e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m	1,80	R\$ 43,39	R\$ 78,10	2,2%
100342 SC_21	Armação com aço CA-50 de 6,3 mm <i>material e mão de obra de armador</i>	kg	28,20	R\$ 16,93	R\$ 477,43	13,6%
100344 SC_21	Armação com aço CA-50 de 10,0 mm <i>material e mão de obra de armador</i>	kg	47,38	R\$ 14,61	R\$ 692,22	19,8%
100347 SC_21	Armação com aço CA-50 de 20,0 mm <i>material e mão de obra de armador</i>	kg	53,35	R\$ 13,49	R\$ 719,69	20,5%
100349 SC_21	Concretagem com concreto de classe de resistência C30 (inclusive lançamento, adensamento e acabamento) <i>material, equipamento e mão de obra de pedreiro</i>	m ³	1,00	R\$ 452,38	R\$ 452,38	12,9%

TOTAL: R\$ 3.503,21

CUSTO TOTAL PARA O MURO DIMENSIONADO (8,47 m³): R\$ 29.672,23

Fonte: Autor (2021).

6.2 MURO DE GRAVIDADE DE CONCRETO CICLÓPICO

Para a composição do Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico foram considerados os seguintes aspectos: as atividades de movimentação de terra relacionadas a base da estrutura; as fôrmas utilizadas para a concretagem; o material drenante da estrutura; concretagem com o concreto ciclópico.

O Quadro 4 apresenta a composição de custo do Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico, onde infere-se que a cerca de 87% do valor desta estrutura é referente aos serviços de montagem das fôrmas e de concretagem, onde já estão incluídos o material, o equipamento e a mão de obra.

Quadro 4 - Composição de custo - Muro de Gravidade de Concreto Ciclóptico

MURO DE GRAVIDADE DE CONCRETO CICLÓPTICO

Área da seção: 1,95 m²
 Volume total: 30,03 m³

Composição de Preço

(referente a 1 m³ do muro de contenção)

Código SINAPI / Base de ref.	Serviço	Unid.	Quant.	Preço unit.	Preço total	%
96521 SC_21	Escavação mecanizada para sapata <i>máquinário e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m ³	0,32	R\$ 34,95	R\$ 11,18	0,93%
93382 SC_21	Reaterro manual com compactação mecanizada <i>maquinário e mão de obra de servente</i>	m ³	0,32	R\$ 28,00	R\$ 8,96	0,7%
92413 SC_21	Fôrma em madeira para pilares e estruturas similares (fabricação, montagem e desmontagem) <i>equipamento, material e mão de obra de carpinteiro e ajudante</i>	m ²	4,61	R\$ 124,61	R\$ 574,45	47,7%
73881 SC_21	Dreno vertical com manta geotêxtil <i>material e mão de obra de servente</i>	m ²	1,03	R\$ 6,56	R\$ 6,73	0,6%
102723 SP_21	Dreno em muro de contenção (executado no pé do muro) <i>material e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m	0,51	R\$ 43,39	R\$ 22,26	1,8%
102725 SP_21	Dreno barbacã com material drenante <i>material e mão de obra de servente</i>	unid.	4,00	R\$ 26,58	R\$ 106,32	8,8%
102487 SC_21	Concreto ciclóptico fck = 15 MPa, 30% pedra de mão em volume real (inclusive lançamento) <i>material, equipamento e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m ³	1,00	R\$ 475,64	R\$ 475,64	39,5%

TOTAL: R\$ 1.205,55

CUSTO TOTAL PARA O MURO DIMENSIONADO (30,03 m³): R\$ 36.202,54

Fonte: Autor (2021).

6.3 MURO DE GABIÃO

Para a composição do Muro de Gabião foram considerados os seguintes aspectos: as atividades de movimentação de terra relacionadas a base da estrutura; o material drenante da estrutura; Gabião do tipo caixa (malha e enchimento).

O Quadro 5 apresenta a composição de custo do Muro de Gabião, onde infere-se que praticamente a totalidade de seu valor é referente ao serviço do gabião em si, onde já estão incluídos o material, o equipamento e a mão de obra para a sua montagem.

Quadro 5 - Composição de custo - Muro de Gabião

MURO DE GABIÃO

Área da seção: 4,50 m²
 Volume total: 69,30 m³

Composição de Preço(referente a 1 m³ do muro de contenção)

Código SINAPI / Base de ref.	Serviço	Unid.	Quant.	Preço unit.	Preço total	%
96521 SC_21	Escavação mecanizada para sapata <i>máquinário e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m ³	0,30	R\$ 34,95	R\$ 10,47	1,89%
93382 SC_21	Reaterro manual com compactação mecanizada <i>maquinário e mão de obra de servente</i>	m ³	0,30	R\$ 28,00	R\$ 8,39	1,5%
73881 SC_21	Dreno vertical com manta geotêxtil <i>material e mão de obra de servente</i>	m ²	0,44	R\$ 6,56	R\$ 2,91	0,5%
102723 SP_21	Dreno em muro de contenção (executado no pé do muro) <i>material e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m	0,22	R\$ 43,39	R\$ 9,63	1,7%
92743 SC_21	Muro de gabião tipo caixa, malha hexagonal 8x10 cm e fio de 2,7 mm, enchimento com pedra de mão tipo rachão (fornecimento e execução) <i>material, equipamento e mão de obra de pedreiro e servente</i>	m ³	1,00	R\$ 522,00	R\$ 522,00	94,3%

TOTAL: R\$ 553,41

CUSTO TOTAL PARA O MURO DIMENSIONADO (69,30 m³): R\$ 38.351,41

Fonte: Autor (2021).

6.4 RESUMO DOS ORÇAMENTOS

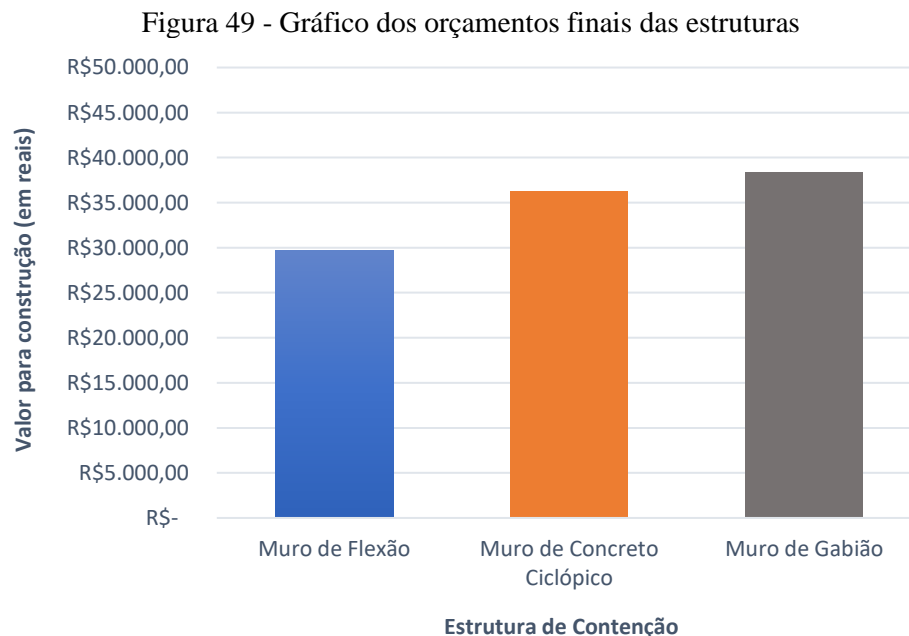
Na Tabela 11, estão exemplificados os resultados dos orçamentos dos muros de contenção em estudo.

Tabela 11 - Resumo dos orçamentos para a construção total de cada muro

Muro de Flexão	R\$ 29.672,23
Muro de Concreto Ciclópico	R\$ 36.202,54
Muro de Gabião	R\$ 38.351,41

Fonte: Autor (2021).

Com base na Figura 49, é possível visualizar graficamente e ter mais clareza quanto a diferença de custo das estruturas. Comparados ao Muro de Flexão, o Muro de Concreto Ciclópico e o Muro de Gabião são, aproximadamente, 22% e 29% mais caros, respectivamente.

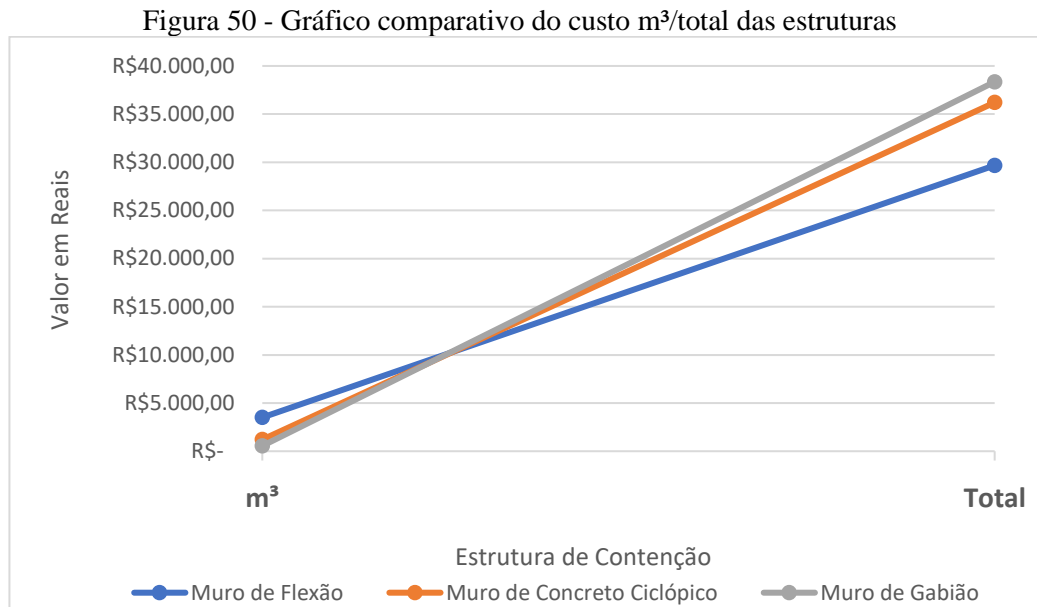


Fonte: Autor (2021).

Nota-se ainda, através dos Quadros 3, 4 e 5, que o custo por m³ do Muro de Flexão é o maior entre as três estruturas propostas devido a todos os processos e a quantidade de materiais envolvidos, porém como seu volume total é menor em relação as outras estruturas por possuir uma geometria mais esbelta, o seu valor total para a construção é menor. O Muro de Gabião, apesar de possuir um custo total mais alto, tem um custo por m³ menor com relação ao outros, o que se deve ao fato de ser um processo mais simples, ágil e de certa forma até mais ecológico

com a utilização de menos materiais e sem a necessidade de concreto e barras de aço para a construção.

A Figura 50 representa essa diferença de valor entre as estruturas e a mudança do cenário do custo por m^3 e o custo para o volume total.



Fonte: Autor (2021).

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O desenvolvimento deste estudo de caso possibilitou com que os objetivos propostos fossem cumpridos com êxito.

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente, a partir da coleta e do levantamento de dados a respeito das condições geotécnicas do local de estudo, com o apoio da empresa responsável, foi possível realizar pesquisas mais precisas para a seleção das outras duas alternativas, além da autorização para o acompanhamento da obra em alguns momentos, para a coleta de dados e registro de imagens. Em seguida, para a correta modelagem dessas estruturas no *Software* GEO5, se fez necessário pesquisas bibliográficas juntamente com os dados previamente coletados para uma maior exatidão nas estimativas dos parâmetros de solo e dados a respeito dos materiais das estruturas. Desse modo, foi capaz de dimensionar as estruturas para que cumprissem as exigências de segurança requeridas e, em seguida, realizar o orçamento dessas estruturas para efeitos comparativos e por fim escolher a melhor solução.

Para a escolha da estrutura mais adequada dentre as três alternativas em estudo, o custo não pode ser o fator decisivo, pois ainda é levado em consideração outros fatores, como por exemplo o tempo de execução e o tamanho da estrutura, algo muito importante para a empresa já ela quer aproveitar o máximo possível do terreno disponibilizado.

Com relação ao Muro de Gravidade de Concreto Ciclópico, o dimensionamento proporcionou um muro com uma geometria relativamente robusta. Como esse tipo de muro possui uma capacidade drenante praticamente nula, é necessário a implementação de sistemas drenantes eficazes, como representa o quantitativo do mesmo.

No caso do Muro de Gabião, apesar da certa facilidade e agilidade para a execução do mesmo, além de sua permeabilidade e flexibilidade, o seu dimensionamento também resultou em uma estrutura muito volumosa quando comparada ao Muro de Flexão, o que acabaria limitando o terreno consideravelmente para a empresa. Além disso, Muro de Gabião pode sofrer certo “vandalismo” em um meio urbano e acabar perdendo de certa forma sua resistência inicial.

O Quadro 6 representa a comparação, em custo e em fatores de segurança, das estruturas estudadas tendo como base o Muro de Flexão.

Quadro 6 - Quadro comparativo das estruturas em função do Muro de Flexão

QUADRO COMPARATIVO	Critérios de Segurança						Custo	
	Tombamento		Deslizamento		Estabilidade global		Valor total da estrutura	
	FS	%	FS	%	FS	%	\$	%
Muro de Flexão	3,57	100,00%	1,86	100,00%	2,17	100,00%	R\$ 29.672,23	100,00%
Muro de C. Ciclópico	2,42	67,79%	1,67	89,78%	2,63	121,20%	R\$ 36.202,54	122,01%
Muro de Gabião	8,48	237,54%	1,56	83,87%	3,94	181,57%	R\$ 38.351,41	129,25%

Fonte: Autor (2021).

Por fim, o Muro de Flexão originalmente definido pela empresa responsável se mostrou a melhor opção para este estudo de caso, além de demonstrar valores de segurança satisfatórios com um bom sistema de drenagem e um custo menor que as outras duas alternativas nessas circunstâncias, é uma estrutura que agrada mais por permitir uma ocupação mais completa da área em que está sendo construído o empreendimento.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Comparar outras estruturas de contenção em outros desníveis e circunstâncias;
- Realizar o cronograma de obra de execução de pelo menos duas estruturas de contenção para comparar o tempo de construção;
- Comparativo de custo de uma estrutura de contenção em concreto armado com o muro de gabião e analisar a partir de qual altura o muro de gabião se torna mais oneroso.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. O. **Análise comparativa de custos entre estruturas de contenção**. 119p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) em Engenharia Civil - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de encostas**. Rio de Janeiro, 2009.
- BARROS, Persio L. A. **Obras de contenção - Manual técnico**. São Paulo, 2017.
- BASTOS, J. B. DOS S.; FARIAS, T. R. L. **Análise de Estabilidade de uma Contenção em Concreto Armado**. Fortaleza, 2010.
- BELGO BEKAERT. **5 benefícios do uso de gabiões em obras**. BELGO BEKAERT ARAMES, 2020. Disponível em: <https://blog.belgobekaert.com.br/geotech/gabioes-em-obras-de-beira-de-estrada/>. Acesso em: 13/09/2021
- BONISSONI, L. **Dimensionamento e execução de muros de arrimo em alvenaria estrutural**. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.
- CAPUTO, H. P., NEGREIROS, C. A. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações – Fundamentos**. Vol. 1. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen – LTC, 1988.
- CARAMEZ, M. L. **Mapeamento geotécnico da microbacia do Itacorubi - Florianópolis/SC - Aplicação do modelo SHALSTAB para confecção de mapa de suscetibilidade a deslizamentos rasos de encostas**. 2017. Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Orientador: Rafael Augusto dos Reis Higashi.
- CARDOSO, Francisco F. **Sistemas de Contenção**. Disponível em: http://www.geocities.ws/apostilasedikk/sistemas_contencao.pdf. Acesso em: 08/05/2021.
- CASOTTI, L. A. **Estruturas de contenção: muro de arrimo**. GUIDE ENGENHARIA, 2018. Disponível em: <https://guideengenharia.com.br/estruturas-de-contencao-muro-de-arrimo/>. Acesso em: 13/09/2021

CHAVES, H.; VICTOR, C. **Tipos de muros de contenção de solo**. NEOIPSUM, 2020. Disponível em: <https://neoipsum.com.br/tipos-de-muros-de-contencao-de-solo/>. Acesso em: 13/09/2021

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. 2ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GERSCOVICH, D.; DANZIGER, B. R.; SARAMAGO, R. **Contenções: teoria e aplicações em obras**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo**. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>. Acesso em: 08/05/2021.

GGE - Grupo de Gestão do Espaço - UFSC. **Atlas Ambiental Municipal - Florianópolis, SC - Brasil**. (P. FUNCITEC, Ed.) Florianópolis, 2006

GRANADO, A. **Identificação, análise e mapeamento de áreas de risco de escorregamentos**. IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/3019057/>. Acesso em: 15/06/2021

HARRIS, Frank. **Ground engineering equipment and methods**. London, Granada, 1983.

HERMANN, M.L. de P. **Aspectos Ambientais da Porção Central da Ilha de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis-SC, 1989.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. 486p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

IPUF Gerência de Planejamento: Instituto de planejamento Urbano de Florianópolis – SC, 1998.

JOPPERT JR, IVAN. **Fundações e Contenções de Edifícios**. 221p. – São Paulo: Pini ISBN 978-85-7266-177-5, 2007.

MACCAFERRI DO BRASIL LTDA. **Gabião caixa – GALMAC 4R-P em malha hexagonal de dupla torção com revestimento GALMAC 4R e Polímero**. Especificação Técnica, 2020.

MARANGON, Marcio. **Geotecnia de Fundações e Obras de Terra**. Disponível em: <https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/OT-03-Estabilidade-de-Taludes-2018-1.pdf>. Acesso em: 08/05/2021.

NAVFAC. **Foundations and earth structures. Design Manual 7.2**, U.S. Department of the Navy, Alexandria, 1982.

ORIGE, L. P. **Análise de estabilidade e proposta de solução de um talude no bairro Pantanal/Florianópolis – SC.** 82p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos.** São Paulo, Oficina de Textos, 2000.

RODRIGUES, Cícero H. **Map locator of Santa Catarina's Florianópolis city,** 2006.

Disponível em:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SantaCatarina_Municip_Florianopolis.svg. Acesso em: 14/05/2021

SANTOS, A. A. **Avaliação de solo reforçado – estudo de caso.** 172p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997

SBROGLIA, R. M. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC.** 2015. 187f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. 2ª edição.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012.

SENES, J. **Estudo de caso: análise da estabilidade de um muro de contenção com patologias.** 109p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) em Engenharia de Infraestrutura - Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2018.

SILVA, E. **Análise comparativa dos resultados de dimensionamento de sapatas isoladas entre a teoria de terzaghi e o software GEO5.** Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Rio grande do Norte, 2018.

SILVA, R. C. **Vulnerabilidade socioambiental a desastres na bacia hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, SC.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2010.

STASIAK, M. **Recuperação da Rua Brasília- Caçador -SC.** 59p. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) em Engenharia Civil - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Caçador, 2019.

ANEXO A – Dados básicos - Laudo de sondagens “SPT”

<i>SPT</i>	Coordenadas UTM (SIRGAS 2000 – 22S)		Bairro	Cota Ensaio (m)
	Norte (S)	Este (E)		
01	744.780,08	6.945.746,61	Trindade	5,90
02	746.429,51	6.946.616,37	Itacorubi	10,20
03	746.901,67	6.946.062,67	Itacorubi	5,50
04	746.939,51	6.945.529,65	Itacorubi	3,80
05	746.303,13	6.946.918,86	Itacorubi	9,50
06	745.192,09	6.947.234,85	Itacorubi	2,80
07	744.785,20	6.947.069,70	Itacorubi	3,20
08	745.101,89	6.945.864,46	Santa Mônica	2,80
09	745.526,91	6.944.293,96	Córrego Grande	53,50
10	746.694,69	6.946.619,37	Itacorubi	18,50
11	745.821,88	6.947.562,26	Itacorubi	30,40
12	746.315,88	6.944.379,30	Córrego Grande	9,50
13	744.780,36	6.945.433,41	Trindade	7,90
14	744.231,72	6.947.178,68	Agronômica	3,20
15	745.818,15	6.945.624,27	Santa Mônica	3,10
16	745.098,88	6.944.820,95	Trindade	7,10
17	747.489,04	6.945.513,06	Trindade	7,90
18	744.546,92	6.943.723,46	Pantanal	15,80
19	746.087,54	6.947.123,12	Itacorubi	9,00
20	745.665,46	6.949.589,12	João Paulo	31,50
21	744.210,75	6.946.534,75	Trindade	9,30
22	745.854,62	6.946.970,46	Itacorubi	2,80
23	744.529,43	6.946.449,95	Agronômica	2,30
24	746.255,02	6.943.733,54	Córrego Grande	20,00
25	746.696,17	6.944.416,26	Córrego Grande	7,00
26	745.745,52	6.945.945,82	Santa Mônica	2,00
27	744.961,94	6.945.840,36	Trindade	3,80
28	746.889,07	6.944.622,36	Córrego Grande	14,65
29	744.324,28	6.946.315,48	Agronômica	9,47
30	744.450,13	6.946.005,16	Trindade	7,19
31	745.064,22	6.944.370,82	Pantanal	18,30
32	745.973,44	6.945.447,13	Santa Mônica	3,00

ANEXO B – Parâmetros de solos estimados - Laudos “SPT”

<i>SPT</i>	N_{SPT} (5m)	Peso esp. nat. “ γ_n ” (kN/m ³)	Âng. atrito int. “ ϕ ” (°)	Int. coesivo “ c ” (kPa)
10	11	19	31	34
11	14	20	32	32
20	22	20	34	36
21	20	20	34	35
24	12	19	32	35
29	19	20	34	35
01	15	19	33	36
02	22	20	35	33
03	9	19	21	28
04	14	19	34	-
05	18	20	35	-
08	5	17	32	-
12	10	18	29	34
13	5	18	-	23
14	6	18	29	34
15	8	19	31	-
16	6	17	30	-
17	7	18	29	-
19	6	17	29	-
22	2	17	-	8
23	5	15	29	-
25	9	18	20	29
27	7	18	31	-
28	12	19	32	36
30	12	19	32	38
31	6	18	29	36
32	6	18	-	18
09	27	21	36	36
06	1	16	-	8
07	1	17	-	8
26	1	17	-	8
18	11	18	31	-

ANEXO D – Laudo de sondagem para o furo SP04

PERFIL GEOLOGICO E GEOTECNICO INDIVIDUAL DO SUBSOLO														
Cliente:		Antônio Edu Vieira Construção e Incorporação SPE Ltda.					SONDAGEM A PERCUSSÃO			SP				
Local:		Rua Deputado Antônio Edu Vieira, 1270 - Trindade - Florianópolis - SC					SP- 04		COTA: +					
							INÍCIO: 23/10/2018		TÉRMINO: 23/10/2018					
							COORD.: E-		N-					
Cota em relação ao R.N.	Golpes/ cm						RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		Diâmetro do revestimento (mm):		68,8			
							AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK		Diâmetro do amostrador:		φ INTERNO (mm): 34,9			
							Nº DE GOLPES		φ EXTERNO (mm):		50,8			
							GRÁFICO		Altura da queda (m):		0,75 Peso (kg): 65			
							Torque		Prof. da camada (m)			DESCRIÇÃO		
							Max	Min						
	0	1ª	cm	2ª	cm	3ª	cm			0	1,45 a 3,02 Solo silte-arenoso, marrom escuro.			
	1	2	15	4	15	2	15	6		1				
	2	4	15	4	15	4	15	8		2				3,02 Impenetrável à sondagem à percussão.
	3	26	2							3				
	4									4				
	5									5				
	6									6				
	7									7				
	8									8				
	9									9				
	10									10				
	11									11				
	12									12				
	13									13				
	14									14				
	15									15				
	16									16				
	17									17				
Profundidade no nível d'água (m)						AVANÇO DO TRADO:			0,00 a 1,00 m		REFERÊNCIA:		DATA:	
INICIAL:	NE		SPT estimado		torque máx. (kgf.m)		AVANÇO POR LAVAGEM:			1,00 a 3,02m				
FINAL:			SPT 30cm final		torque mín. (kgf.m)		PROF. DO REVESTIMENTO:			1,00m		ESCALA VERT.: 1 : 100		
LAVAGEM POR TEMPO (30 min)						DESENHO #					FOLHA Nº:		01/01	
		TEMPO		DE		PARA		RESPONSÁVEL TÉCNICO:						
		0:10												

ANEXO E – Laudo de sondagem para o furo SP05

PERFIL GEOLOGICO E GEOTECNICO INDIVIDUAL DO SUBSOLO												
Cliente: Antônio Edu Vieira Construção e Incorporação SPE Ltda.						SONDAGEM A PERCUSSÃO			SP			
Local: Rua Deputado Antônio Edu Vieira, 1270 - Trindade - Florianópolis - SC						SP- 05		COTA: ±				
						INICIO: 23/10/2018		TERMINO: 23/10/2018				
						COORD: E-		N-				
Cota em relação ao R.N.	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						Diâmetro do revestimento (mm):		68,8			
	AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK						Diâmetro do amostrador:		± INTERNO (mm): 34,9			
	Nº DE GOLPES						Altura da queda (m):		0,75		Peso (kg): 65	
	GRÁFICO											
Golpes/cm						Torque		Prof. da camada (m)		DESCRIÇÃO		
						Max Min						
0 1 ^a cm 2 ^a cm 3 ^a cm						0 20 40 60 80 100		0				
1 3 15 4 15 4 15 8								1		1,45 a 3,25		
2 4 15 4 15 8 15 12								2		Impenetrável à sondagem à percussão, rocha ou matacão.		
3 26 2								3				
								4				
								5				
								6				
								7				
								8				
								9				
								10				
								11				
								12				
								13				
								14				
								15				
								16				
								17				
Profundidade no nível d'água (m)						AVANÇO DO TRADO:		0,00 a 1,00 m		REFERÊNCIA: DA TA:		
INICIAL: N/E						SPT estimado		torque máx. (kgf.m)		AVANÇO POR LAVAGEM:		
FINAL:						SPT 30cm finais		torque mín. (kgf.m)		1,00 a 3,25m		
						LAVAGEM POR TEMPO (30 min)		PRCF. DO REVESTIMENTO:		1,00m		
						TEMPO DE PARA		DESENHO nº		ESCALA VERT.: 1 : 100		
						0:10		FOLHA Nº: 01/01				
								RESPONSÁVEL TÉCNICO:				