



**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**  
**GABRIEL RECH DE OLIVEIRA**  
**GUSTAVO DE OLIVEIRA GHISI**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES PARA  
ESTABILIZAÇÃO DE UM TALUDE NA RODOVIA SC-390 EM ORLEANS**

Tubarão  
2020

**GABRIEL RECH DE OLIVEIRA  
GUSTAVO DE OLIVEIRA GHISI**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES PARA  
ESTABILIZAÇÃO DE UM TALUDE NA RODOVIA SC-390 EM ORLEANS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Ismael Medeiros, Esp.

Tubarão  
2020

**GABRIEL RECH DE OLIVEIRA  
GUSTAVO DE OLIVEIRA GHISI**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE E DIMENSIONAMENTO DE SOLUÇÕES PARA  
ESTABILIZAÇÃO DE UM TALUDE NA RODOVIA SC-390 EM ORLEANS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 05 de agosto de 2020.

---

Professor e orientador Ismael Medeiros, Esp.

Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Prof. Gercino Preve, Esp.

Universidade do Sul de Santa Catarina

---

Eng. Fabricio Carlos Gabriel Oliveira

Universidade do Sul de Santa Catarina

## RESUMO

Atualmente, a situação dos taludes rodoviários e encostas geram uma certa preocupação, principalmente à quem transita ou desloca-se pelas proximidades, sendo que a maioria destes maciços de solo não apresenta nenhum tipo de monitoramento ou controle tecnológico, visto que qualquer fator anômalo externo pode interferir em sua forma física, provocando sua instabilidade e contribuindo com o seu rompimento. Para isso, existem diversos tipos de métodos e controles tecnológicos com determinados estudos e ensaios com dimensões reais em softwares para auxiliar no trabalho, desta forma é possível testar e analisar quais serão as adaptações mais favoráveis ao ambiente de estudo. Este trabalho tem como foco principal apresentar possíveis soluções para a estabilização de um talude rodoviário localizado na cidade de Orleans, estado de Santa Catarina, utilizando ensaios com amostras do solo, obtendo dados para uma análise minuciosa, analisando diversos fatores, buscando os motivos de sua instabilidade e indicando as soluções que melhor se enquadram.

Palavras-chave: Talude. Soluções. Estabilidade.

## **ABSTRACT**

Currently, the situation of road embankments and slopes generates a certain concern, especially for those who transit or move around, and most of these soil massifs do not present any type of monitoring or technological control, since any anomalous external factor can interfere in his physical form, causing their instability, reaching the critical point and contributing to its breakdown. For this, there are several types of methods and technological controls, with a specific study and tests with real dimensions in software to assist in the work, in this way it is possible to test and analyze which will be the most favorable adaptations to the study environment. This work has as main focus to present possible solutions for the stabilization of a road embankment located in the city of Orleans, state of Santa Catarina, using tests with soil samples, obtaining data for a thorough analysis, analyzing several factors, looking for the reasons for instability and indicating the solutions it best fit.

Keywords: Slope. Solutions. Stability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Imagens aéreas da comunidade do Barro Branco, na Avenida San Martin.....	15
Figura 2- Elementos constituintes de um talude.....	19
Figura 3 - Força de atrito T impedindo o deslizamento .....	21
Figura 4 - Zona fraca, zona cisalhada e superfície de cisalhamento .....	22
Figura 5 - Grandezas envolvidas para o cálculo pelo método das lamelas .....	24
Figura 6 - Suavização do talude .....	27
Figura 7 - Drenagem da estabilização de encostas .....	28
Figura 8 - Ilustração geodreno.....	28
Figura 9 - Hidrossemeadura de uma encosta.....	29
Figura 10 - Muro de gravidade de pedra seca .....	30
Figura 11 - Muro de gravidade de pedra argamassada.....	31
Figura 12 - Muro de gravidade de concreto ciclópico.....	32
Figura 13 - Contenção com crib-wall - Perspectiva .....	33
Figura 14 - Contenção com crib-walls - Planta e corte .....	33
Figura 15 - Contenção com Gabiões .....	34
Figura 16 - Tipos de Gabiões .....	35
Figura 17 - Exemplo de aplicação de solo cimento ensacado .....	36
Figura 18 - Muros de concreto armado tipo flexão .....	37
Figura 19 - Exemplo de cortina cravada.....	38
Figura 20 - Detalhes de um tirante e exemplos de aplicação .....	39
Figura 21 - Exemplo de aplicação de uma cortina atirantada.....	40
Figura 22 - Sequência construtiva, simplificada, de cortinas atirantadas na contenção de cortes .....	41
Figura 23 - Sequência construtiva, simplificada, de cortinas atirantadas na contenção de aterros .....	42
Figura 24 - Exemplo de aplicação de estacas-raiz na estabilização de taludes .....	43
Figura 25 - Fluxograma dos procedimentos a serem utilizados para o desenvolvimento da pesquisa .....	44
Figura 26 - Trajeto de Tubarão à Orleans.....	47
Figura 27 - Localização do talude .....	48
Figura 28 - Perfil do talude.....	49
Figura 29 - Planta de corte do talude .....	49

Figura 30 - Gráfico de tensão cisalhante x deformação horizontal .....	51
Figura 31 - Gráfico de deformação vertical x deformação horizontal .....	52
Figura 32 - Gráfico de tensão cisalhante x tensão normal.....	52
Figura 33 - Talude .....	54
Figura 34 - Canaleta para drenagem do talude .....	54
Figura 35 - Ravinas devido a infiltração de água .....	55
Figura 36 - Presença de cicatrizes de escorregamentos.....	56
Figura 37 - Presença de cicatrizes de escorregamentos.....	56
Figura 38 - Cunha de ruptura.....	57
Figura 39 - Cunha de ruptura.....	57
Figura 40 - Indícios de movimentação de rastejo.....	58
Figura 41 - Análise de estabilidade global - Condição atual.....	59
Figura 42 - Terramesh System .....	60
Figura 43 - Corte no talude.....	61
Figura 44 - Resultado para solução com Terramesh System .....	62
Figura 45 - Análise de estabilidade global solução com tirantes .....	63
Figura 46 - Execução de hidrossemeadura .....	64

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Alguns acidentes importantes decorrentes de escorregamentos no Brasil.....	16
Quadro 2 - Exemplos de método de equilíbrio limite. ....	23

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

NBR – Norma Brasileira

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Força de atrito .....	21
Equação 2 - Cisalhamento dos solos .....	23
Equação 3 – Resistência mobilizada .....	25
Equação 4 – Fator de segurança no método de Fellenius.....	25
Equação 5 – Fator de segurança no método de Bishop Simplificado .....	26
Equação 6 – Resistência ao cisalhamento .....	50
Equação 7 – Ângulo de atrito interno .....	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	15
1.2 OBJETIVO .....	17
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 DEFINIÇÕES GERAIS.....	19
2.2 TALUDES .....	19
<b>2.2.1 Estabilidade de Taludes .....</b>	<b>20</b>
2.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES.....	20
<b>2.3.1 Coesão e ângulo de atrito.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2 Tensões cisalhante e atuante.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.3 Fator de segurança .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.4 Estabilidade de Taludes .....</b>	<b>23</b>
2.3.4.1 Método Sueco.....	24
2.3.4.1.1 <i>Método de Fellenius</i> .....	25
2.3.4.1.2 <i>Método de Bishop Simplificado</i> .....	26
2.4 MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES.....	26
<b>2.4.1 Diminuição da inclinação do talude.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2 Drenagem .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.3 Revestimento de taludes.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.4 Estruturas de contenção .....</b>	<b>29</b>
2.4.4.1 Muros de arrimo .....	29
2.4.4.1.1 <i>Muros tipo “Gravidade”</i> .....	30
2.4.4.1.2 <i>Muros de concreto armado</i> .....	36
2.4.4.1.3 <i>Cortinas cravadas</i> .....	37
2.4.4.2 Obras especiais de estabilização.....	38
2.4.4.2.1 <i>Tirantes e chumbadores</i> .....	38
2.4.4.2.2 <i>Cortinas atirantadas</i> .....	40
2.4.4.2.3 <i>Microestacas</i> .....	43
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>44</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>

4.1	APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	46
4.2	DADOS DA RODOVIA EM RELAÇÃO AO TALUDE .....	46
4.3	CARACTERÍSTICAS DO TALUDE E DA REGIÃO .....	47
4.4	FEIÇÕES TOPOGRÁFICAS DO TALUDE .....	48
4.5	ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO .....	50
4.6	INSPEÇÃO DE CAMPO .....	53
4.7	RETROANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE .....	58
<b>5</b>	<b>PROPOSTAS DE SOLUÇÕES .....</b>	<b>60</b>
5.1	TERRAMESH SYSTEM.....	60
5.2	CORTINA ATIRANTADA.....	62
5.3	REVESTIMENTO DO TALUDE .....	63
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes rodoviários ou encostas é frequentemente utilizada objeto de estudo entre os engenheiros que lidam com obras geotécnicas nas quais se fazem necessárias em diversas rodovias da região Sul do Estado de Santa Catarina.

Talude é um termo genérico, condizente a toda superfície inclinada de um maciço de terra, rocha ou ambos. Pode ser natural, no caso das encostas e alguns taludes rodoviários, ou artificial, sendo este construído pelo homem a partir de materiais de diferentes granulometrias e origens, podendo ser inclusive de rejeitos industriais, urbanos ou de mineração (CARMIGNANI; FIORI, 2009).

De forma teórica, um talude nada mais é do que uma massa de solo submetida à três forças distintas: forças oriundas do peso próprio dos materiais presentes, forças devido ao escoamento da água e forças devido à resistência ao cisalhamento, sendo esta última a responsável pela estabilização do talude, tornando nula a soma de todas as forças presentes (CARMIGNANI; FIORI, 2009).

Através do conhecimento dos parâmetros de resistência e características geotécnicas dos solos torna-se possível compreender e prevenir deslizamentos de terra, evitando acidentes que podem acarretar perdas de bens materiais e no pior caso, de vidas humanas. Por isso é de extrema importância o estudo de tais parâmetros e características a fim de investigar o melhor método a ser utilizado na estabilização, garantindo o equilíbrio destas forças que atuam sobre os taludes (AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998).

Pode-se afirmar que a deflagração das instabilizações de taludes e encostas é controlada por uma cadeia de eventos, muitas vezes de caráter cíclico, que tem sua origem com a formação da própria rocha e toda sua história geológica e geomorfológica subsequente, como movimentos tectônicos, intemperismo, erosão, ação antrópica, etc. (AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998, p. 245).

Guidicini e Nieble (1976) utilizam a terminologia de agentes e causas de instabilização para discutir esses condicionantes, entendendo como causa o modo de atuação de um determinado agente na instabilização de um talude ou encosta. Os agentes deflagradores são subdivididos em predisponentes e efetivos: os agentes predisponentes referem-se a um conjunto de características naturais intrínsecas dos terrenos, nos quais os movimentos vão ocorrer, e os agentes efetivos são diretamente responsáveis pelo desencadeamento das instabilizações do talude ou da encosta, incluindo a ação antrópica.

Levando em consideração a grande importância de se prever soluções adequadas para os taludes rodoviários e encostas na região, este presente trabalho tem o objetivo de investigar o talude rodoviário proposto com o intuito de levantar os parâmetros de resistência do solo, bem como suas características, possíveis agentes e causas, a fim de propor possíveis soluções para a estabilização do talude e analisar qual seria a melhor opção para o caso estudado, garantindo os parâmetros técnicos, executivos e financeiros.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Existem relatos tratando de deslizamentos nas encostas de Salvador (BA), datadas do Império (1671). Nas últimas décadas há relatos de diversas ocorrências de movimentos em taludes e encostas causando acidentes em várias cidades brasileiras, muitas vezes com mais de uma dezena de vítimas fatais, além milhares de desabrigados (Figura 1 e Quadro 1).

Figura 1 - Imagens aéreas da comunidade do Barro Branco, na Avenida San Martin



Fonte: Agecom, 2015.

O quadro a seguir apresenta casos de acidentes envolvendo escorregamentos no Brasil:

Quadro 1 - Alguns acidentes importantes decorrentes de escorregamentos no Brasil

<b>LOCAL</b>	<b>DATA</b>	<b>PERDAS SOCIOECONÔMICAS</b>
Santos, SP (Mont Serrat)	1928	60 mortes, destruição da Santa Casa de Santos
Vale do Paraíba (RJ/MG)	Dez/1948	250 mortes, destruição de centenas de casas
Santos, SP (Mont Serrat)	1956	43 mortes, destruição de 100 casas
Rio de Janeiro, RJ	Jan/1966	100 mortes
Serra das Araras, RJ	Jan/1967	1200 mortes, destruição de dezenas de casas, rodovias avariadas, destruição de uma usina hidrelétrica
Caraguatatuba, SP	Mar/1967	120 mortes, destruição de 400 casas
Salvador, BA	Abr/1971	104 mortes, milhares de desabrigados
Campos de Jordão, SP	Ago/1972	Mais de 10 mortes, destruição de 60 moradias
Maranguape, CE	Abr/1974	12 mortes, destruição de dezenas de casas
Lavrinhas, SP	Dez/1988	11 mortes, destruição de casas e pontes
Cubatão, SP	Jan/1988	10 mortes
Petrópolis, RJ	Fev/1988	171 mortes, 1100 moradias interditadas, 5000 desabrigados
Rio de Janeiro, RJ	Fev/1988	Mais de 30 mortes, destruição de dezenas de moradias
Salvador, BA	Jun/1989	Cerca de 100 mortes, destruição de dezenas de moradias
São Paulo, SP	Out/1989	14 mortes
Recife, PE	Jul/1990	Cerca de 10 mortes
Blumenau, SC	Out/1990	Cerca de 10 mortes, destruição de várias moradias, pontes e vias
São Paulo, SP	Out/1990	Cerca de 10 mortes
Belo Horizonte, MG	Jan/fev/1992	Mais de 10 mortes
Contagem, MG	Mar/1992	36 mortes, destruição de dezenas de moradias, centenas de desabrigados
Salvador, BA	Mar/1992	11 mortes
Petrópolis, RJ	Mar/2013	13 mortes, 20 pessoas feridas e 140 famílias desabrigadas
Salvador, BA	Mai/2015	11 mortes, dezenas de desabrigados
Niterói, RJ	Nov/2018	15 mortes, pelo menos 5 casas destruídas

Fonte: Adaptado de Augusto Filho e Virgili, 1998.

Segundo Azevedo e Ramalho (2017), em um levantamento feito com base em dados compilados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), cerca de 202 pessoas morreram em virtude de deslizamentos de terra na Grande São Paulo nos últimos 20 anos (1997 a 2016), sendo que apenas em 2016 foram 20 mortes, o dobro da média do período.

O deslizamento de terra pode ocorrer tanto em locais onde não há ocupação humana como também próximo à moradias, em maior parte em condições irregulares, onde algumas casas são construídas muito próximas de encostas e desta forma estão sujeitas a fenômenos da natureza que podem vir a alterar as condições físicas do solo, acarretando em deslizamentos e eventuais danos materiais e risco a vida.

Entretanto, não ocorre deslizamentos de terra apenas em taludes ou encostas naturais, um exemplo é o caso que ocorreu em Blumenau/SC ainda este ano. De acordo com G1 (2019), três pessoas foram soterradas, sendo que duas delas morreram, em um deslizamento de terra em uma área de obras onde um grupo de operários trabalhava para a construção de uma barreira de contenção.

Levando em consideração tais fatos e a extrema importância de manter a estabilidade dos taludes e/ou encostas, este trabalho tem a finalidade de analisar e dimensionar quais são os possíveis métodos e soluções que poderão ser empregadas na estabilização do talude rodoviário estudado e identificar qual é o mais adequado, visando garantir os parâmetros técnicos, executivos e econômicos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo verificar possíveis soluções para a estabilização do talude localizado na Rodovia SC-390 no município de Orleans, estado de Santa Catarina, considerando suas particularidades presentes (geometria, geomorfologia, etc.) a partir dos parâmetros normativos (NBR 11.682/2009), onde serão abordados os diferentes métodos e técnicas a serem aplicadas de forma a garantir os parâmetros técnicos e executivos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para se alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são estabelecidos:

- Realizar inspeções de campo para coleta de dados e composição de amostragens;

- Realizar ensaios de caracterização geotécnica e ensaios de Resistencia ao Cisalhamento direto dos solos;
- Determinar o grau de risco atual do talude rodoviário;
- Dimensionar soluções de estabilização do talude.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

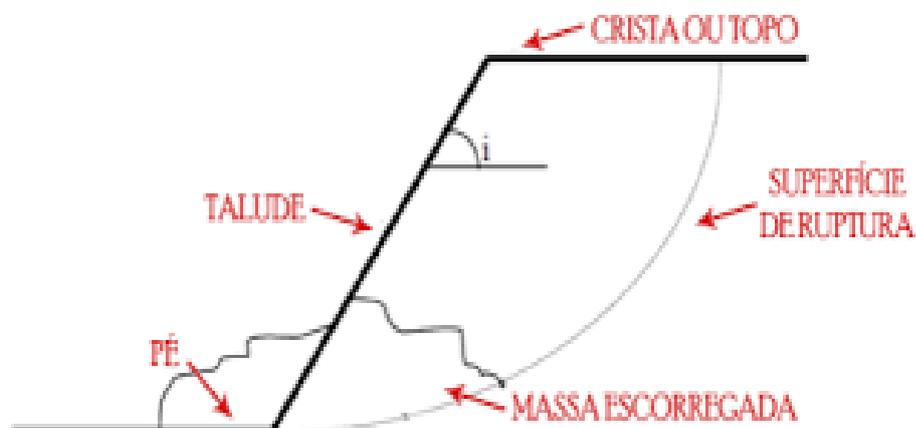
### 2.1 DEFINIÇÕES GERAIS

Segundo a NBR 11.682/2009, os taludes podem ser classificados como naturais e artificiais. Os naturais (encostas) são formados pela ação do tempo como erosão, intemperismo e sem intervenção humana, possuindo uma estrutura particular que só é conhecida por um criterioso programa de prospecção (MARANGON, 2009). Já os taludes artificiais (cortes e aterros) se formam pela ação antrópica, exibindo uma característica diferenciada dos maciços naturais. Segundo Marangon (2009), um talude natural constitui de vários fatores que atuam isolados ou em conjunto durante o processo de formação do maciço, respondendo pela estrutura característica de cada um, dividindo-se em fatores geológicos e fatores ambientais. Os geológicos são responsáveis pela constituição química, organização e modelagem do relevo (litologia, estruturação e geomorfologia), com isso, soma-se à ação dos fatores ambientais, podendo ser alterado pela erosão, fatores climáticos, topografia e vegetação.

### 2.2 TALUDES

O talude é descrito como uma superfície inclinada em relação a uma horizontal, sendo do tipo natural ou artificial, delimitando um maciço de solo, rocha e outros materiais. Sua composição principal se dá por 5 elementos como pode-se verificar na Figura 2.

Figura 2 - Elementos constituintes de um talude



Fonte: Caputo, 1988.

De acordo com a Figura 2, a crista é a parte mais alta do talude, em que segundo a NBR 11.682/2009 em obras contra a erosão, canaletas são instaladas para contribuir com a drenagem, a fim de proteger o solo para não ocorrer deformação, além de diminuir suas alterações físicas. A superfície de ruptura é o quanto o talude pode se deformar ao ponto de gerar sua instabilidade. O pé recebe este nome visto que está localizado na parte mais baixa do talude e a letra “i” se refere ao ângulo do talude, cuja inclinação não poderá ultrapassar 45°, pois um valor superior poderá comprometer a estrutura, acarretando deformações e até desabamentos.

### **2.2.1 Estabilidade de Taludes**

De acordo com Terzaghi (1925, *apud* MARANGON, 2009), o movimento dos maciços de terra depende, principalmente, da sua resistência interna ao escorregamento. Deste modo, os escorregamentos são ocasionados pela redução da resistência interna do solo, junto com as cargas aplicadas ao talude, atividades sísmicas, intemperismo, além de outras ações, fazendo com que este não suporte a força e cause deslizamento.

Ao longo de uma superfície chamada superfície de ruptura, uma porção do material de um talude pode deslocar-se em relação ao maciço restante, desencadeando o processo denominado de movimento de massa (BITTENCOURT, 2013). Ou seja, esta superfície significa o ponto crítico em que determinado talude possa se deformar ao ponto de gerar instabilidade e causar sua ruptura, sendo imprescindível a análise e cálculos para determinar a superfície de cada maciço de terra para não gerar problemas maiores nas proximidades. Atualmente o problema de instabilidade de taludes é discutido em maior escala, visto que aumentou o número de acidentes causados por deslizamentos, além de mortes e prejuízos à economia das cidades. Desta forma, a superfície de ruptura é um dentre os vários fatores a serem observados com cuidado na estabilidade de taludes.

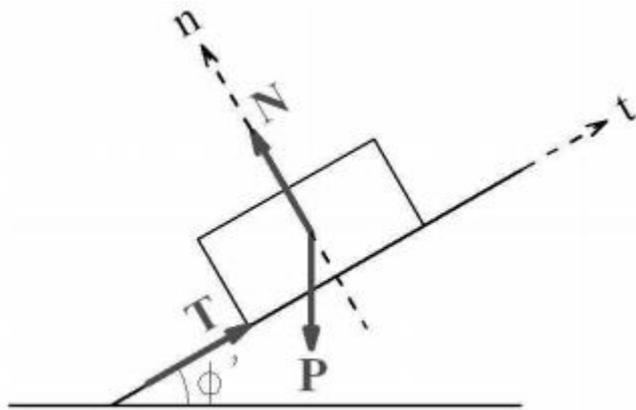
## **2.3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES**

### **2.3.1 Coesão e ângulo de atrito**

De acordo com a NBR 11.682/2009, a análise se inicia com o tipo de ruptura mais provável do talude – principalmente tendo referência à coesão – além de atender alguns termos, onde a superfície de ruptura é mais profunda em solos com predominância de coesão,

sendo inversamente proporcional aos solos que apresentam ausência de coesão, onde neste caso de ruptura encontra-se próxima ao talude.

Figura 3 - Força de atrito T impedindo o deslizamento



Fonte: Teles, 2013.

Para exemplificar um dos parâmetros de resistência dos solos, têm-se o ângulo de atrito (Figura 3), em que um corpo aplicando um peso P esteja apoiado sobre um plano inclinado e a força normal ao plano, em que o deslizamento será evitado pela força T com o atrito entre o corpo e o plano inclinado. Ou seja, no momento que ocorre o deslizamento, a equação 1 define o equilíbrio do corpo em relação ao solo.

$$T = N \cdot \text{tg}(\phi') \quad (1)$$

Onde:

T = força de atrito

N = força normal

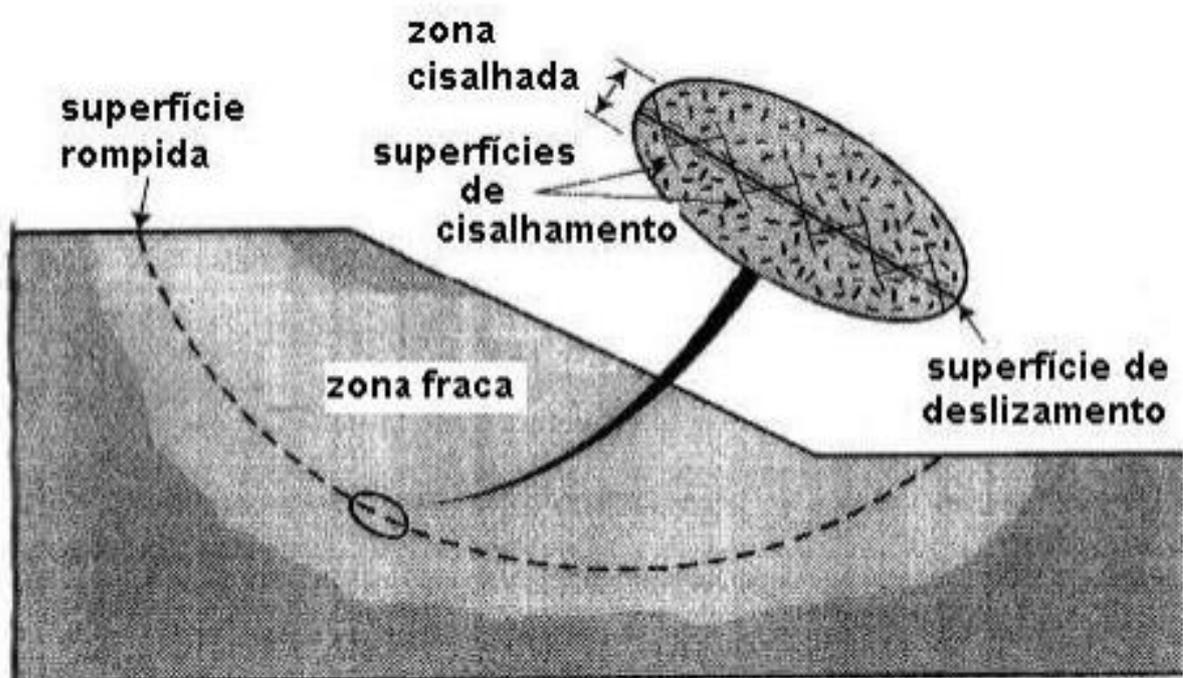
$\phi'$  = ângulo de atrito

### 2.3.2 Tensões cisalhante e atuante

De acordo com Gerscovich (2010), a resistência ao cisalhamento do solo é a tensão cisalhante que ocorre no plano de ruptura no instante em que acontece determinada ruptura, na qual é caracterizada por uma formação de uma superfície de cisalhamento contínua em um maciço de solo. Além disso, existe uma outra camada em torno da superfície de cisalhamento da qual perde suas características durante o processo de deformação e ruptura, formando uma zona cisalhada, conforme Figura 4. Quando este processo ocorre, inicia-se com a formação da

zona cisalhada e, a seguir, é formada a superfície de cisalhamento, processo caracterizado em deslizamentos e escorregamentos nos taludes (GERSCOVICH, 2010).

Figura 4 - Zona fraca, zona cisalhada e superfície de cisalhamento



Fonte: Lerouiel, 2001 *apud* Gerscovich, 2010.

Já as tensões atuantes, de acordo com Bittencourt (2013), são compostas por forças instabilizadoras que induzem o movimento de massa ao longo da superfície mediante as tensões cisalhantes e forças resistentes, as quais são contrárias à ação do movimento de massa, em função da resistência ao cisalhamento de determinado material.

### 2.3.3 Fator de segurança

Existem diversos métodos para a análise da estabilidade de taludes, em que se baseiam na hipótese de haver equilíbrio em determinada massa de solo, tomada em corpo rígido-plástico em um processo de escorregamento iminente, nisso são classificados como métodos de equilíbrio-limite (MASSAD, 2010). Segundo Massad (2010), para a estabilidade de taludes naturais e de barragens de terra, costuma-se definir o coeficiente de segurança ( $F_s$ ) como a relação entre a resistência ao cisalhamento do solo ( $s$ ) e a tensão cisalhante atuante ( $\tau$ ). Com isso, a Equação 2 determina se o maciço se encontra em estabilidade ou uma condição de ruptura.

$$FS = \frac{s}{\tau} \quad (2)$$

Onde:

s = resistência ao cisalhamento

$\tau$  = tensão cisalhante atuante

A análise da estabilidade de taludes tem como objetivo avaliar as possíveis ocorrências de deslizamento de terra, por meio de análises quantitativas, como métodos probabilísticos que são expressos em forma de probabilidade e por métodos determinísticos, como o cálculo do fator de segurança e entre outros meios.

### 2.3.4 Estabilidade de Taludes

Encontram-se diversas variantes na classe dos métodos de equilíbrio limite, conforme o Quadro 2:

Quadro 2 - Exemplos de método de equilíbrio limite.

Métodos de Equilíbrio Limite	Método do círculo de atrito
	Método de Fellenius
	Método Sueco      Método de Bishop Simplificado
	Método de Morgenstern-Price
	Método das cunhas

Fonte: Massad, 2010.

Como mostrado no quadro acima, existem outros métodos classificados dentro do Método Sueco, porém, destaca-se Fellenius e Bishop Simplificado, os quais resolvem grande parte dos problemas de estabilidade de taludes, comumente comparados com o Método de Morgenstern-Price que é tido como referência por ser mais rigoroso.

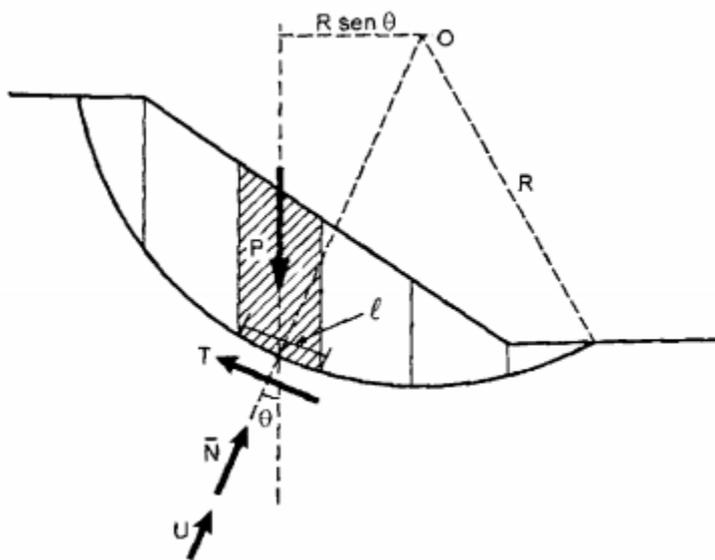
A eficiência destes métodos se diferencia pelas hipóteses a serem consideradas pelos seus autores para equilibrar a massa de solo, assim como o fator de segurança é definido de uma forma diferente entre cada autor.

### 2.3.4.1 Método Sueco

Desenvolvido por Fellenius (1936), baseia-se na análise estática do volume do material situado acima de uma superfície potencial de escorregamento de seção circular, dividindo este volume em fatias verticais (CARMIGNANI, 2009). Deste modo, segundo Marangon (2009), pode-se determinar o esforço normal sobre a superfície de ruptura, partindo de hipótese que o esforço venha determinado pelo peso do solo situado acima de tal superfície.

A Figura 5 abaixo descreve o esquema adotado na análise pelo método sueco, os esforços atuantes em uma fatia genérica com o equilíbrio das forças na mesma.

Figura 5 - Grandezas envolvidas para o cálculo pelo método das lamelas



Fonte: Massad, 2010, p. 65.

O equilíbrio das forças envolve outros fatores, como o peso das fatias, forças resultantes de pressões na base e na face de cada fatia, além de forças horizontais e verticais que atuam em cada face (MASSAD, 2010).

Segundo Massad (2010), a força  $T$  é calculada para determinar a resistência mobilizada, sendo uma parte da resistência total ao cisalhamento, conforme a Equação 3 abaixo.

$$T = \frac{1}{F_s} \cdot s \cdot L \quad (3)$$

Onde:

T = resistência mobilizada

F<sub>s</sub> = Fator de segurança

s = resistência ao cisalhamento

L = comprimento da base de uma lamela

#### 2.3.4.1.1 Método de Fellenius

Após observações de escorregamentos ocorridos em regiões da Suécia, onde apresentaram superfícies de ruptura de forma cilíndrica ou esférica, foi apresentado o método das fatias com análise bidimensional (BITTENCOURT, 2013).

Segundo Higashi (2004), este método simplificado consiste em admitir que as reações das fatias anterior e posterior são iguais, com a mesma direção e sentidos opostos, desprezando a ação mútua entre as fatias. Deste modo, é estipulado um erro de 15% a mais no valor do Fator de segurança, além de quando as pressões neutras forem elevadas, este método pode induzir ao erro.

Neste método, o Fator de segurança é definido como a relação entre o momento das forças resistentes e o momento das forças atuantes baseados no número total de fatias do círculo de ruptura adotado. Além disso, é feito também por tentativas, analisando vários círculos com centros diferentes e para cada centro é necessário calcular o fator de segurança para cada raio (BITTENCOURT, 2013).

Com isso, a Equação 4 demonstra como o Fator de segurança é calculado no método de Fellenius.

$$F_s = \frac{\sum Mr}{\sum Ma} \quad (4)$$

Onde:

Mr = momento resistente

Ma = momento atuante

### 2.3.4.1.2 Método de Bishop Simplificado

Segundo Massad (2010), neste método o cálculo do Fator de segurança inicia-se arbitrando um valor para  $Fs_1$ , após isso calcula-se um novo coeficiente de segurança  $Fs_2$ , comparando o valor obtido na Equação 5 com o fator arbitrado. Deste modo, os valores são comparados para a obtenção da precisão desejada. Caso necessário, em que a precisão não seja atingida com a primeira comparação entre os valores, é repetido o processo, iniciando um novo cálculo para  $Fs_3$  com a finalidade de comparar com o  $Fs_2$  (MASSAD, 2010). Geralmente três ciclos são suficientes para encontrar a precisão desejada, mas em situações em que os resultados obtidos não determinam tal precisão, necessita-se recorrer a outros métodos para acelerar o processo.

$$Fs = \frac{\sum \left[ c' \cdot l + \frac{P - \mu \cdot \Delta x - c' \cdot \Delta x \cdot \frac{tg\theta}{F}}{\cos\theta + tg\varphi' \cdot \frac{sen\theta}{F}} \cdot tg\varphi' \right]}{\sum (P \cdot sen\theta)} \quad (5)$$

Onde:

$c'$  = coesão efetiva

$l$  = largura das fatias

$P$  = pressão vertical

$\mu$  = coeficiente de Poisson

$\Delta x$  = comprimento da base da sessão

$\theta$  = ângulo entre o centroide da figura e o raio

$F$  = fator de segurança arbitrado

$\varphi'$  = ângulo de atrito interno

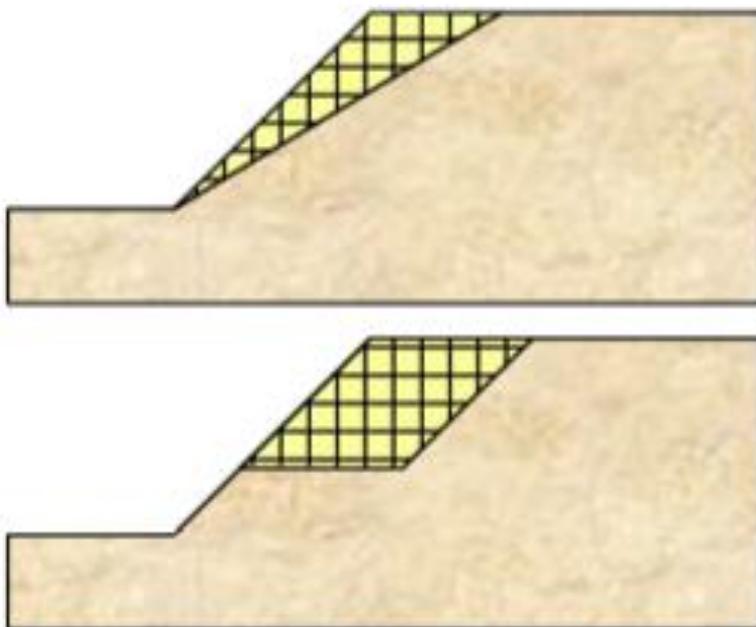
## 2.4 MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Atualmente, devido a constante evolução da tecnologia, existem diversos métodos de estabilização de taludes e encostas, dentre eles, os mais comuns serão apresentados em seguida.

### 2.4.1 Diminuição da inclinação do talude

Consiste basicamente em diminuir o ângulo de inclinação do talude ou na execução de um ou mais patamares (formando escadarias) com o objetivo de diminuir o peso do talude (Figura 6), sendo esta, a forma mais simples de estabilização (HIGASHI, 2004).

Figura 6 - Suavização do talude



Fonte: Higashi, 2004, p. 25.

### 2.4.2 Drenagem

Nada mais é do que a execução de canaletas (drenagem superficial) e/ou furos horizontais (drenagem profunda) a fim de evitar a influência da água de infiltração e/ou superficiais em sua estabilidade (HIGASHI, 2004). A Figura 7 ilustra os dois exemplos.

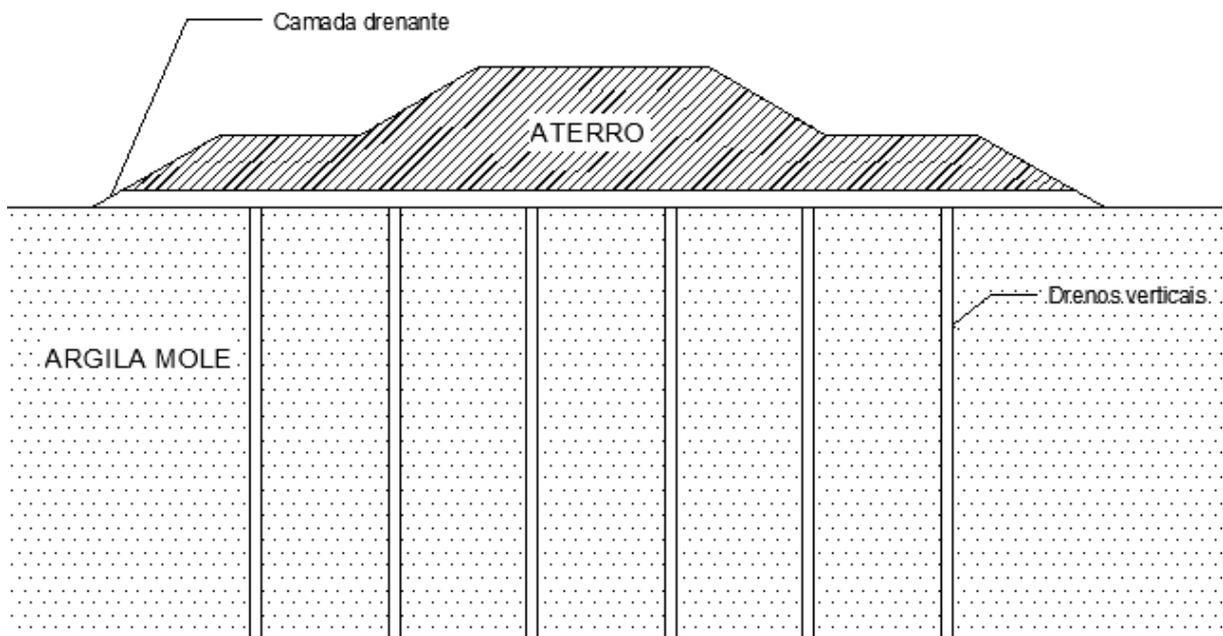
Figura 7 - Drenagem da estabilização de encostas



Fonte: Higashi 2004, p. 25.

A drenagem pode, ainda, ser feita por geodrenos verticais (Figura 8), que são fitas drenantes longitudinais e flexíveis, sendo cravadas no terreno e servem para criar um caminho preferencial de percolação da água (HIGASHI, 2004).

Figura 8 - Ilustração geodreno



Fonte: Adaptado de Almeida e Marques, 2010.

### 2.4.3 Revestimento de taludes

Este método consiste em revestir o talude com plantas (Figura 9) adequadas ao clima local a fim de evitar erosão superficial (HIGASHI, 2004).

A erosão superficial é uma das formas mais comuns de instabilidade e depende das condições geológicas, topográficas e climáticas do local. Altas precipitações pluviométricas podem acarretar alterações intensas no talude, causando erosões mais profundas (HIGASHI, 2004).

O plantio de vegetação possuidora de raízes mais profundas contribui significativamente para a estabilidade do talude devido a transferência de parte das tensões cisalhantes atuantes no solo para as raízes, bem como pela resistência que as raízes exercem contra o arrancamento (HIGASHI, 2004).

Figura 9 - Hidrossemeadura de uma encosta



Fonte: Higashi, 2004, p. 25.

#### 2.4.4 Estruturas de contenção

Dentre os principais métodos de estabilização de taludes que mais evoluíram em razão de pesquisa tecnológica, estão os que utilizam obras de contenção (IPT, 1991).

Obras de contenção são aquelas que, uma vez implantadas no talude, oferecem resistência à movimentação deste ou a sua ruptura, ou ainda, reforçam uma parte do maciço, de modo a resistir aos esforços que tendem a desestabilizá-lo (IPT, 1991).

##### 2.4.4.1 Muros de arrimo

São estruturas de alvenaria, concreto ou elementos especiais em forma de parede vertical ou quase vertical, apoiadas em uma fundação rasa ou profunda que servem para conter os esforços causados pela encosta/talude, podendo ser de gravidade, de flexão e com ou sem tirantes (GERSCOVICH, 2010).

#### 2.4.4.1.1 Muros tipo “Gravidade”

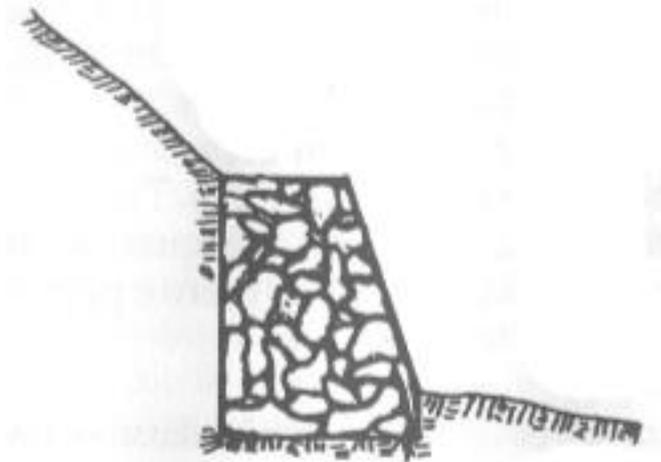
São estruturas geralmente formadas por concreto ciclópico ou pedras rejuntadas com argamassa de cimento que têm a função de absorver os esforços causados pelo empuxo do solo, por meio da gravidade e do atrito em sua fundação.

##### 2.4.4.1.1.1 Muro de pedra seca

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT (1991), muros de pedra seca são compostos de pedras de dimensões regulares, arrumadas manualmente, onde a resistência resulta unicamente do imbricamento dessas pedras. Devido a necessidade de blocos regulares, o que acarreta a diminuição do atrito entre as pedras, este tipo de muro é recomendado apenas para taludes de até 1,5 metros de altura.

A base do muro deve estar em plano horizontal abaixo do terreno a ser protegido e ter no mínimo 0,5 metro de espessura. A Figura 10 mostra um exemplo de um muro de gravidade de pedra seca.

Figura 10 - Muro de gravidade de pedra seca



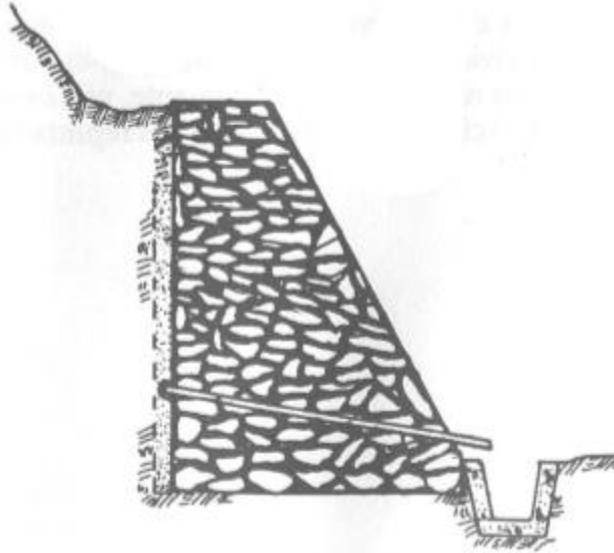
Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 198.

##### 2.4.4.1.1.2 Muro de pedra argamassada

Semelhante ao muro de pedra seca, o muro de pedra argamassada apresenta dimensões irregulares das pedras e seus espaçamentos são preenchidos com argamassa de cimento e areia, o que confere maior rigidez ao muro e possibilita seu uso em taludes de até 3 metros de

altura. Além disso, devido ao menor espaçamento entre as pedras é necessário ser implantado drenagem através de barbacãs (IPT, 1991). A Figura 11 mostra um exemplo deste tipo de muro.

Figura 11 - Muro de gravidade de pedra argamassada

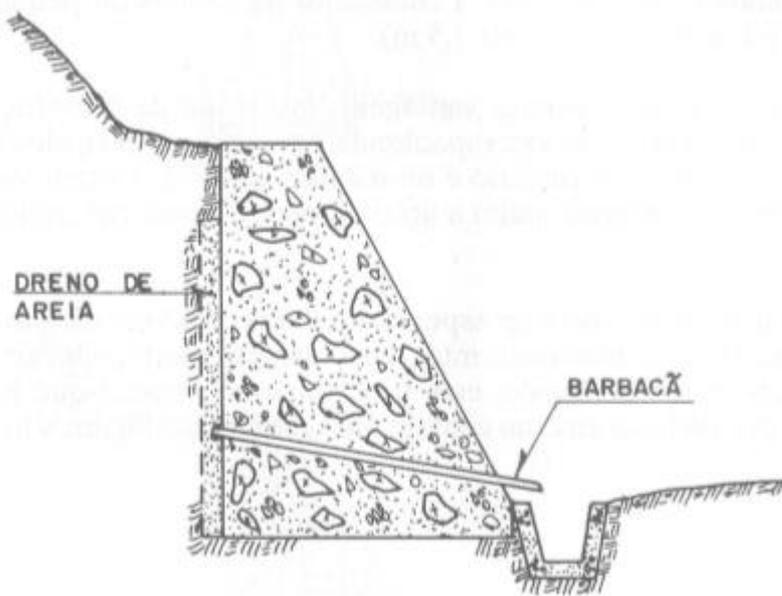


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, 1991, p. 198.

#### 2.4.4.1.1.3 Muro de concreto ciclópico

Diferente dos dois muros citados anteriormente, este é constituído de concreto e agregado de grandes dimensões, dando maior rigidez a estrutura e, por isso, pode ser utilizado para contenção de taludes com altura superior a 3 metros. Assim como o muro de pedra argamassada, deve-se prever drenagem por meio de barbacãs, além de dreno de areia. A Figura 12 mostra em detalhes.

Figura 12 - Muro de gravidade de concreto ciclópico



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 200.

#### 2.4.4.1.1.4 Crib-walls

É um sistema de peças de concreto armado que são encaixadas entre si formando uma espécie de “gaiola” ou “caixa”, onde o interior é preenchido com material terroso ou blocos de rocha, entulhos ou seixos de dimensões maiores, desenvolvidos visando baratear as obras de contenção reduzindo o uso de materiais como aço e concreto que fazem o custo ser alto (IPT, 1991).

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT (1991), essas estruturas se adaptaram muito bem à execução de estradas pioneiras em regiões serranas por serem estruturas bem drenadas e pouco sensíveis a movimentações e recalques. Em obras definitivas, se faz necessário o uso de um filtro entre o crib-wall e o aterro, como por exemplo, as mantas geotêxteis (Figuras 13 e 14).



#### 2.4.4.1.1.5 Gabiões

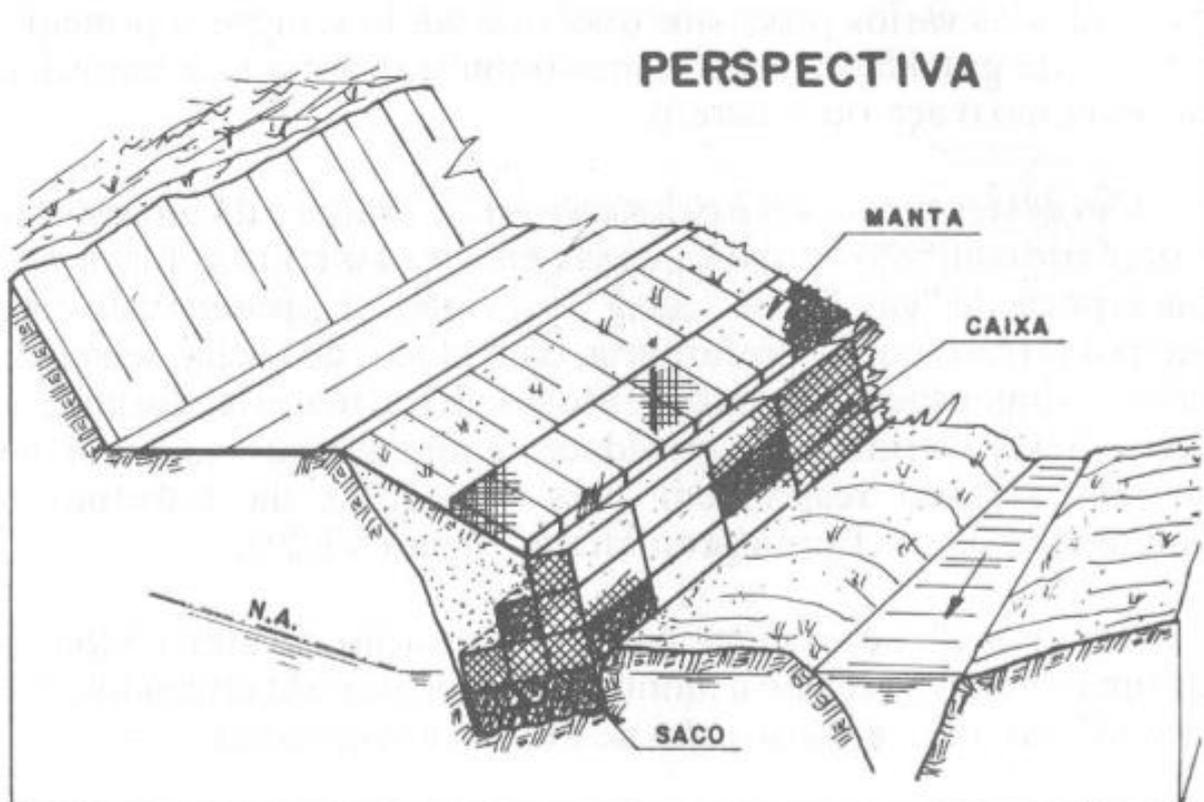
São muros formados por caixas ou “gaiolas” feitas de arame galvanizado e preenchidas com pedra britada ou seixos, colocadas justapostas e unidas uma a outra por meio de arames e são utilizados para proteção superficial de encostas, proteção de margens de rios e riachos e, ainda, como muro de contenção (IPT, 1991).

Esse tipo de estrutura vem sendo muito utilizado como contenção de aterros e de encostas de maneira provisória e de menor responsabilidade devido a sua simplicidade construtiva e baixo custo, sendo que para uso em obras mais importantes, torna-se necessário tomar cuidados especiais com o arame, utilizando PVC ou argamassa na superfície externa para evitar a corrosão (IPT, 1991).

Para sua execução, deve-se regularizar e nivelar o terreno antes de colocar a primeira camada. Também é necessário utilizar geotêxtil ou areia grossa como elemento de transição entre os gabiões e o material de corte ou aterro (IPT, 1991).

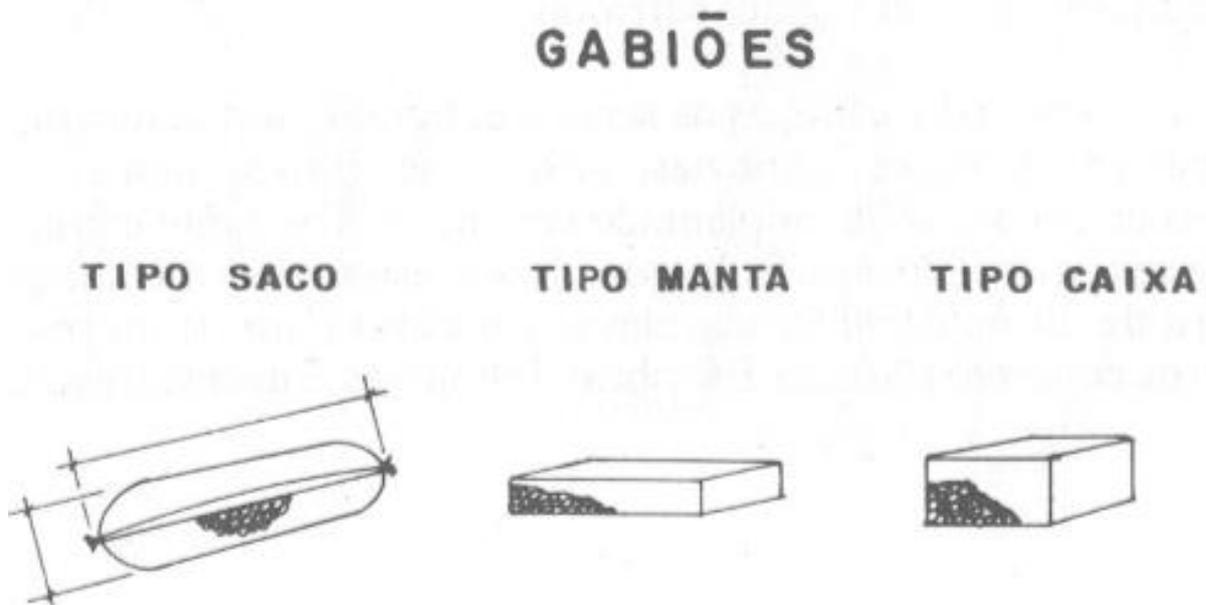
As Figura 15 e 16 mostram em detalhes uma contenção com Gabiões e os tipos existentes, respectivamente.

Figura 15 - Contenção com Gabiões



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 204.

Figura 16 - Tipos de Gabiões



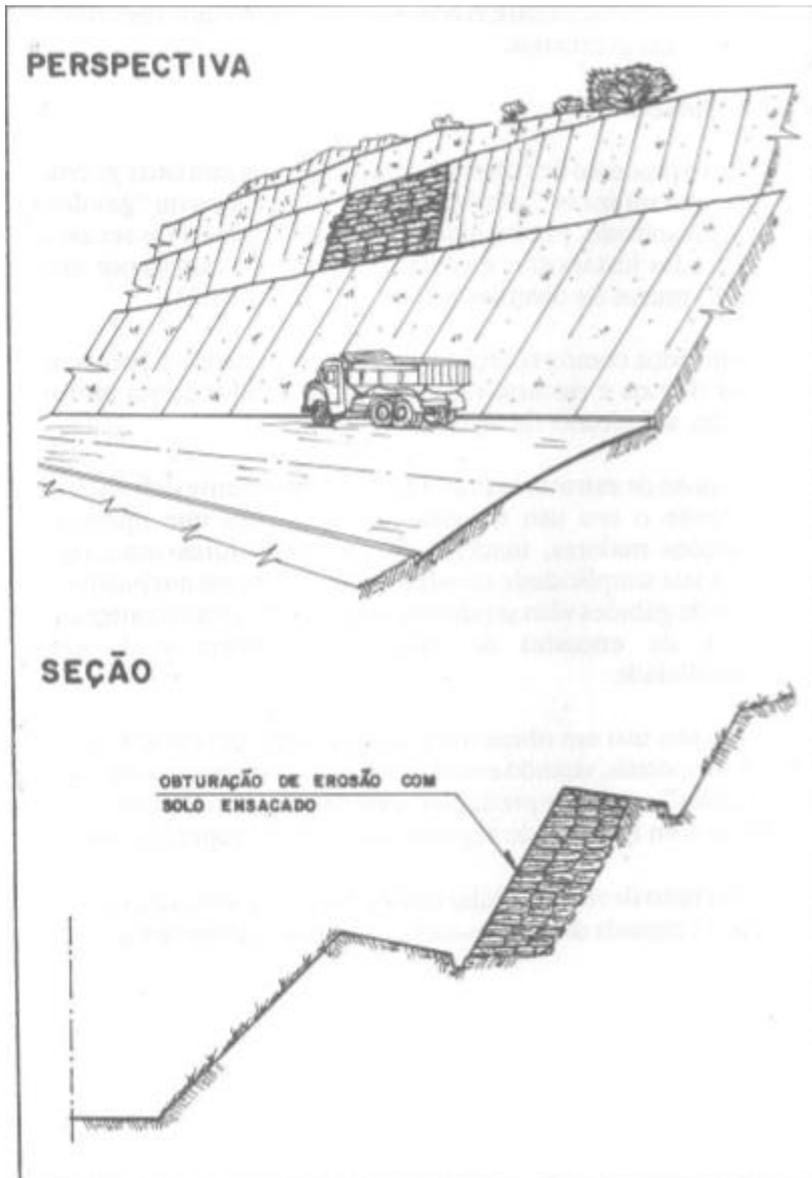
Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT 1991, p. 204.

#### 2.4.4.1.1.6 Muros de arrimo de solo-cimento ensacado

É uma técnica alternativa para contenção de encostas que utiliza solo estabilizado com cimento acondicionado em sacos de aniagem ou de geossintéticos. Este tipo de muro apresenta como vantagens o seu baixo custo e o fato de não exigir mão-de-obra ou equipamentos especializados.

Pode ser utilizado para proteger superficialmente o talude ou para construir muros de arrimo de gravidade. Muitas vezes são utilizados como proteção superficial e contenção, como obturação de pequenas rupturas causadas por erosão em taludes de grande extensão (Figura 17) (IPT, 1991).

Figura 17 - Exemplo de aplicação de solo cimento ensacado

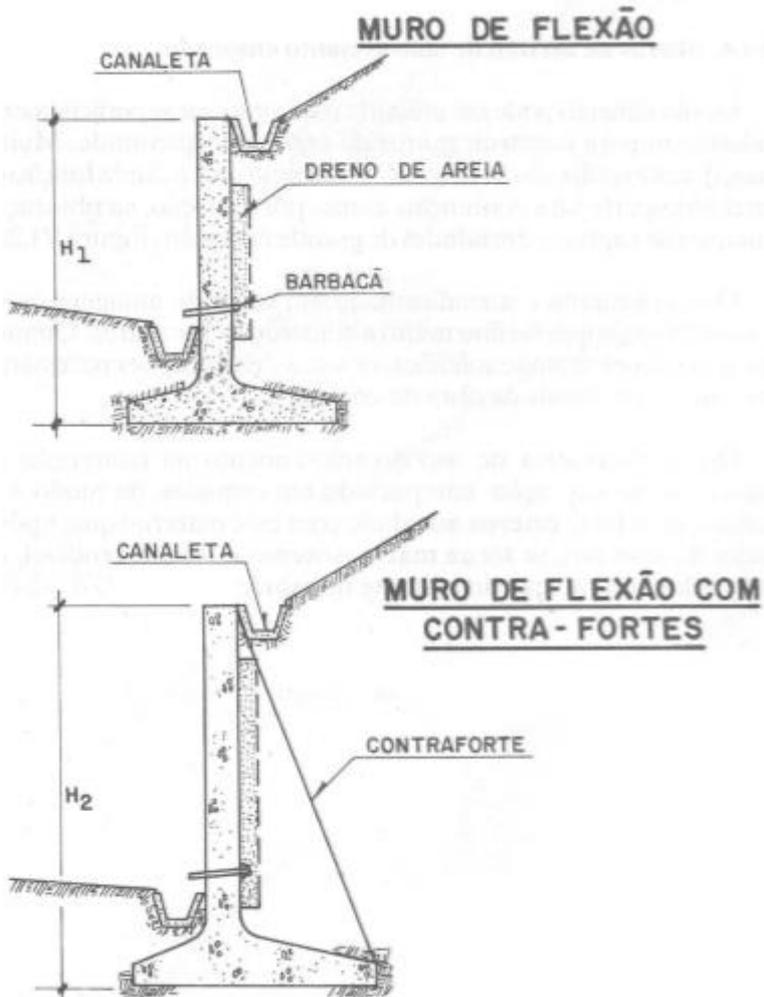


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 206.

#### 2.4.4.1.2 Muros de concreto armado

Com o surgimento do concreto armado, surgiram diversas modalidades de muros de arrimo que o empregam em sua confecção. Os “muros de flexão” tradicional, com alturas relativamente pequenas, são formados por uma laje de fundo e outra vertical ou subvertical, tendo ou não vigas de enrijecimento, que são submetidas a flexão. Para alturas maiores que 5 metros, torna-se antieconômica a execução de uma estrutura formada apenas por duas lajes, utilizando-se então nervuras (ou contrafortes) de tração, para aumentar sua estabilidade contra tombamento (Figura 18) (IPT, 1991).

Figura 18 - Muros de concreto armado tipo flexão

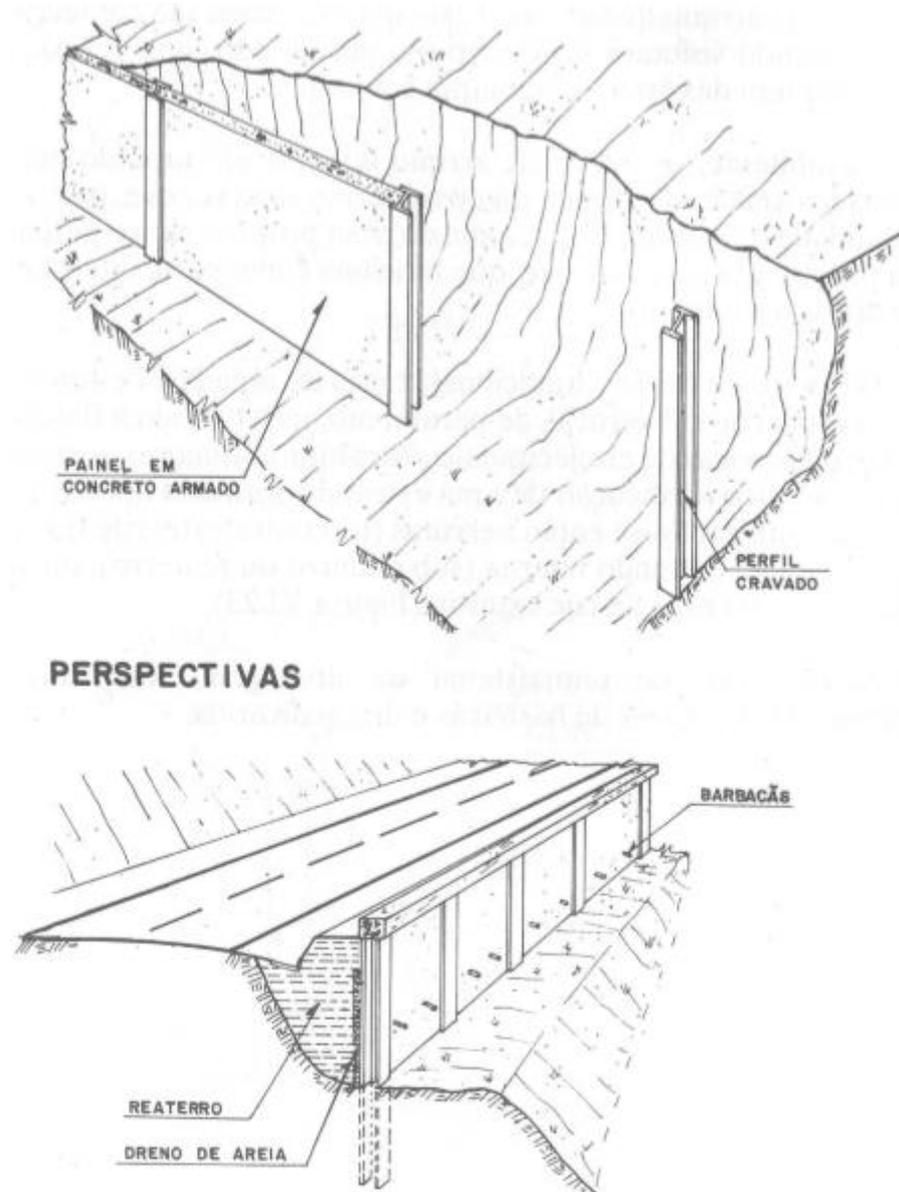


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 208.

#### 2.4.4.1.3 Cortinas cravadas

Conhecidas como cortinas ancoradas, são contenções que, através de tirantes, se ligam a estruturas mais rígidas e apresentam ancoragem ativa, o que confere pequena deslocabilidade. São constituídas por estacas ou perfis cravados no terreno, trabalhando a flexão e resistindo pelo apoio da ficha (parte enterrada do perfil). Possuem grande destaque devido a sua utilização em quaisquer situações geométricas, sendo muito utilizado em obras de contenção provisórias, apesar de possuírem um elevado custo. Em obras definitivas, os perfis metálicos devem ser protegidos contra corrosão (IPT, 1991). A Figura 19 mostra em detalhes este tipo de contenção.

Figura 19 - Exemplo de cortina cravada



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 210.

#### 2.4.4.2 Obras especiais de estabilização

##### 2.4.4.2.1 Tirantes e chumbadores

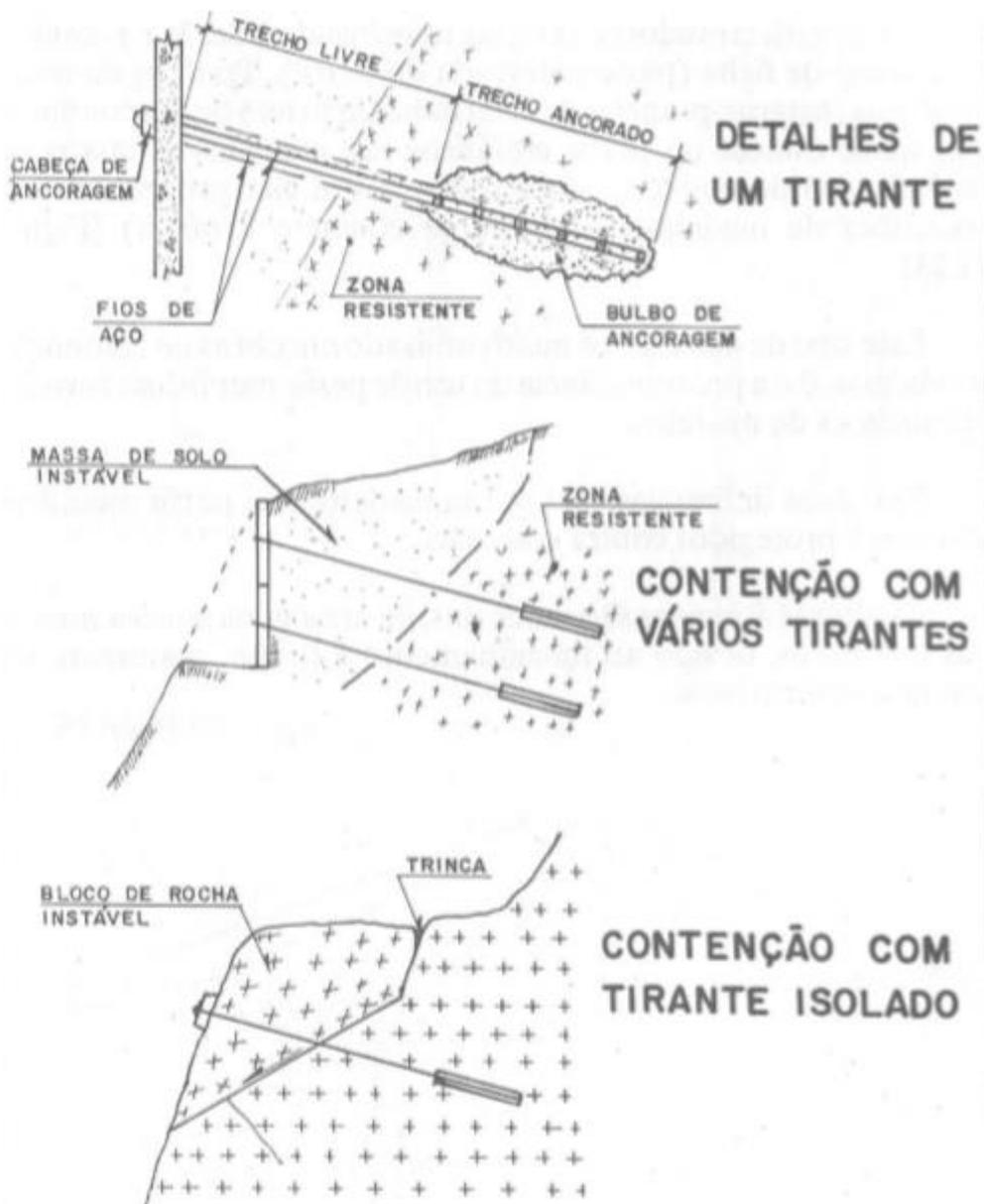
É um dos métodos mais modernos de contenção e recomendado para cortes em terrenos com grande carga a ser contida.

Os tirantes têm como objetivo ancorar massas de solo ou blocos de rocha, que através de fios, barras ou cordoalhas de aço, transmitem os esforços diretamente a uma zona mais resistente do maciço. Já os chumbadores são barras de aço fixados com calda de cimento ou

resina e servem para conter blocos isolados, fixar obras de concreto armado, sem o uso de protensão (IPT, 1991).

É comum o uso de tirantes isolados em encostas rochosas onde se pretende a fixação de blocos de rochas instáveis ou na contenção de rochas muito fraturadas. No caso de blocos ou lascas de rochas precariamente apoiados em encostas, a principal função dos tirantes será a de aumentar a tensão normal através da protensão (Figura 20) (IPT, 1991).

Figura 20 - Detalhes de um tirante e exemplos de aplicação

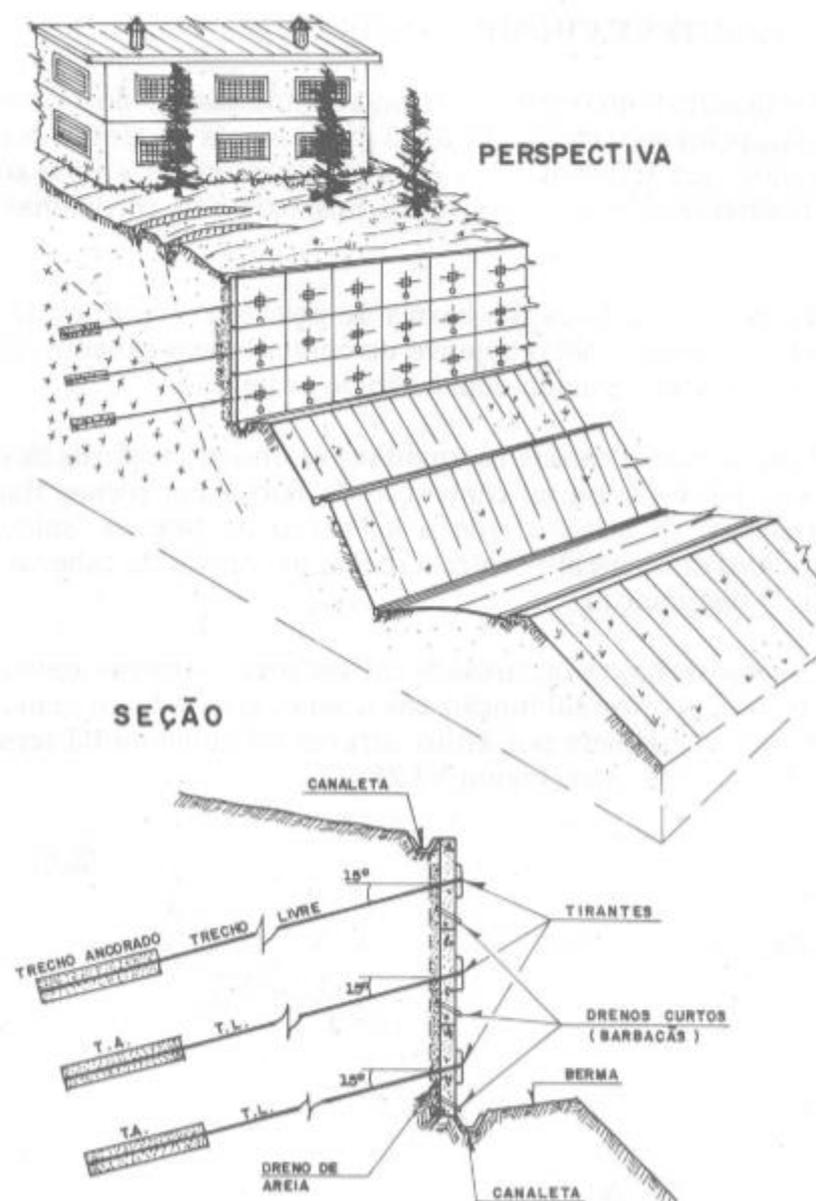


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 212.

#### 2.4.4.2.2 Cortinas atirantadas

A cortina atirantada é um dos métodos mais eficaz, versátil e seguro que existe atualmente (Figura 21). São elementos verticais ou subverticais de concreto armado ancorados no substrato resistente do maciço por meio de tirantes protendidos, e podem ser constituídos de placas isoladas para cada tirante, de placas englobando dois ou mais tirantes ou de cortina única incorporando todos os tirantes.

Figura 21 - Exemplo de aplicação de uma cortina atirantada

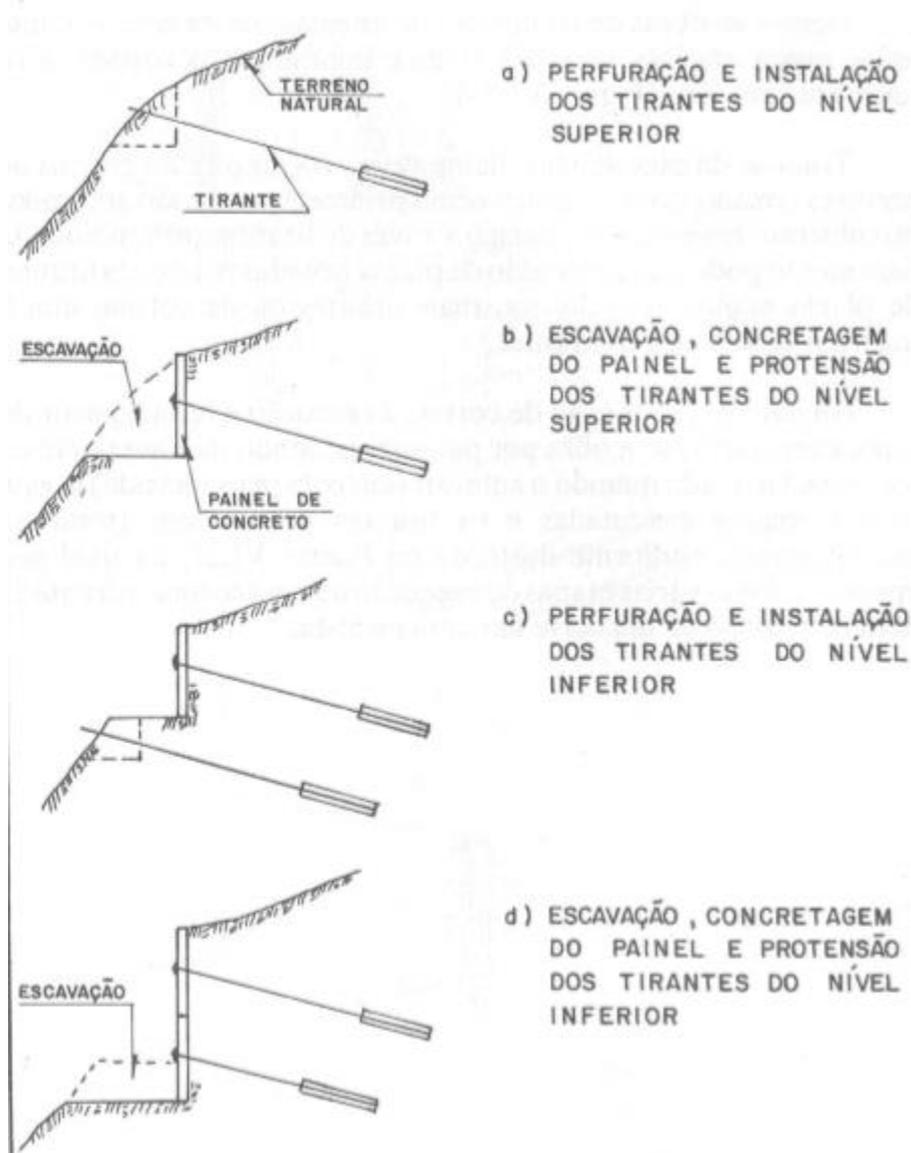


Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 214.

No caso de contenção de cortes, a execução é feita por patamares, de cima para baixo, onde um patamar só é executado após o anterior estar com as placas executadas e os tirantes protendidos (IPT, 1991), conforme ilustrado na Figura 22.

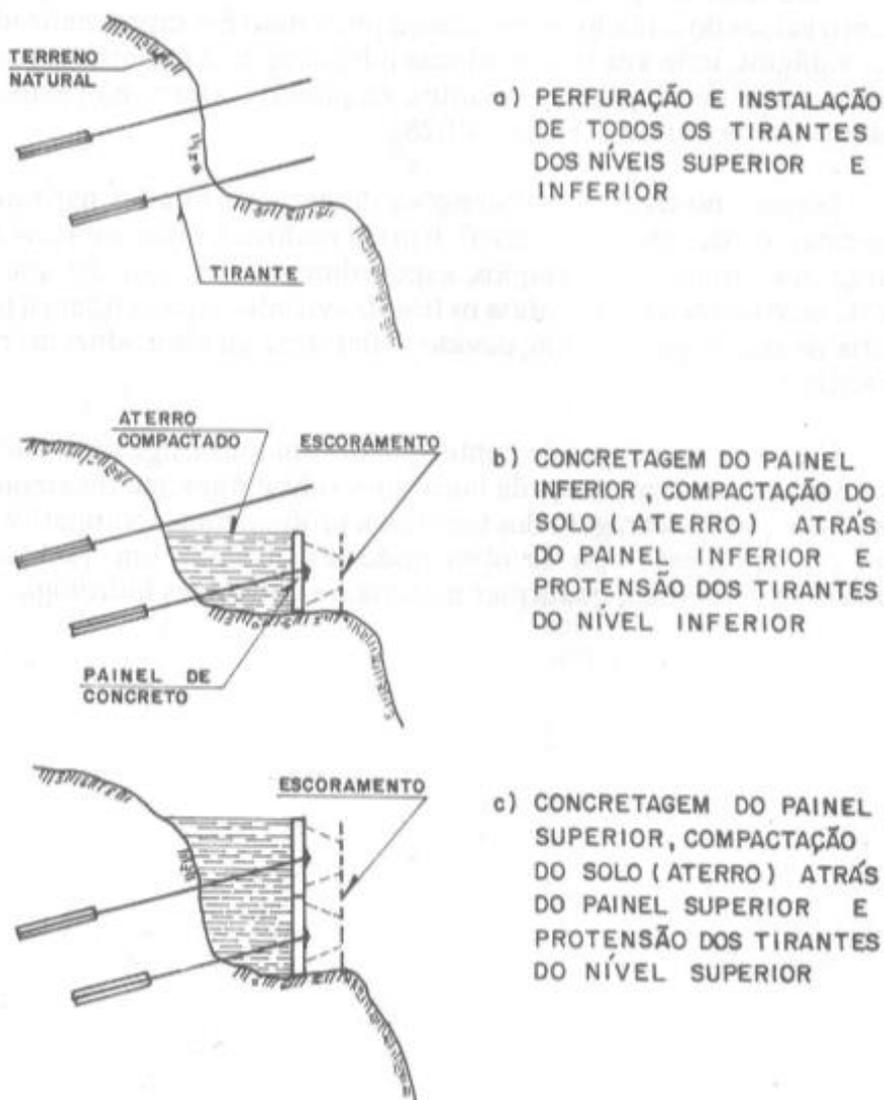
Já no caso de contenção de aterros em encostas, o processo construtivo é o inverso, sendo executado de baixo para cima, porém nesse caso a protensão é sempre realizada por estágios, uma vez que as placas inferiores não podem receber toda a carga de projeto dos tirantes enquanto o aterro não estiver totalmente executado (Figura 23) (IPT, 1991).

Figura 22 - Sequência construtiva, simplificada, de cortinas atirantadas na contenção de cortes



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 216.

Figura 23 - Sequência construtiva, simplificada, de cortinas atirantadas na contenção de aterros



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 218.

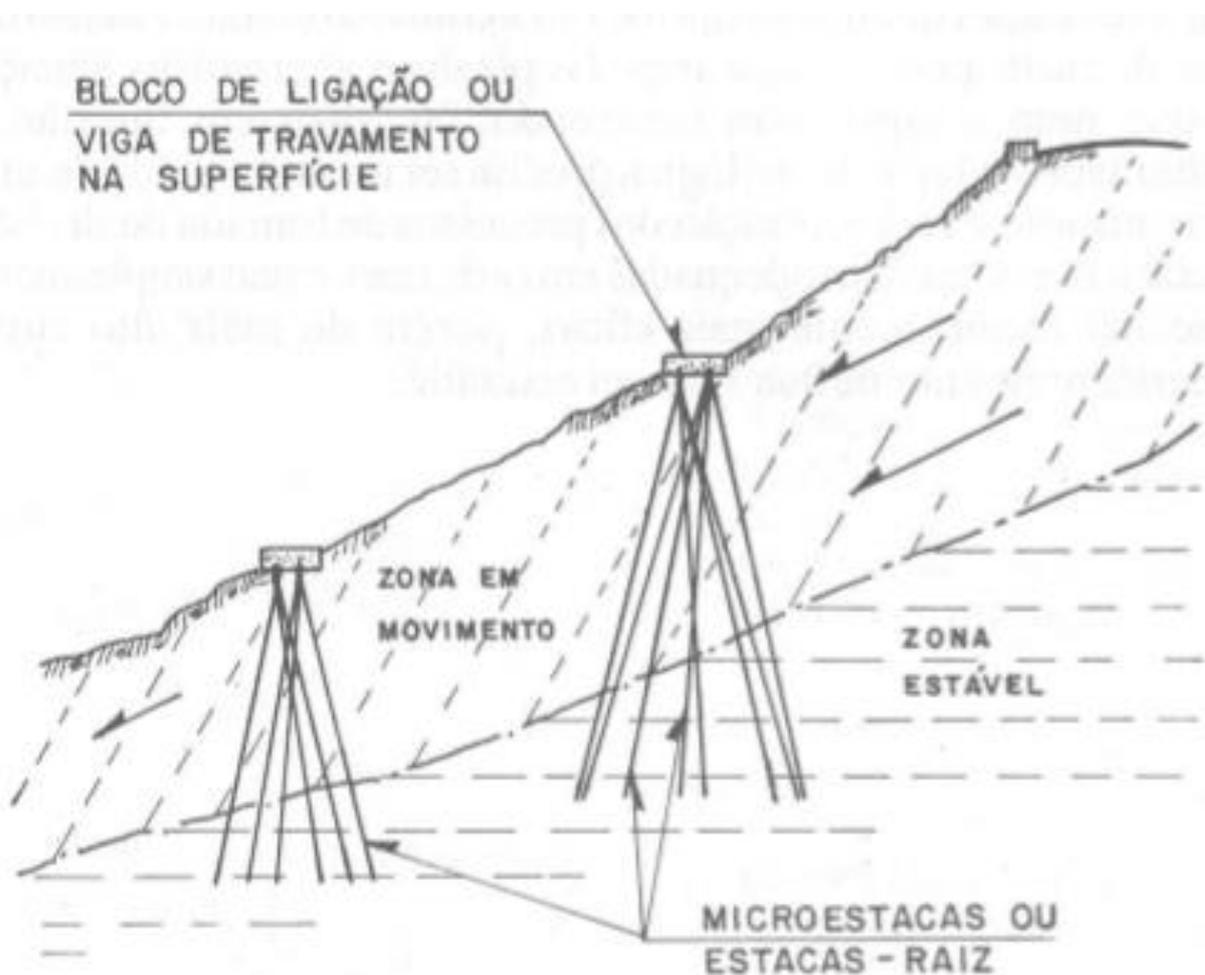
Mesmo no caso de contenções executadas “de cima para baixo”, normalmente as cargas nos tirantes são incorporadas por estágios, pois a protensão de cada tirante influencia os tirantes próximos, que tendem a ter sua carga reduzida (IPT, 1991).

Por fim, este tipo de contenção pode ser utilizado em qualquer situação geométrica, quaisquer materiais e condições hidrológicas, desde que atendam uma única premissa básica: a presença de horizontes suficientemente resistentes e estáveis para a ancoragem dos tirantes a profundidades compatíveis (IPT, 1991).

### 2.4.4.2.3 Microestacas

As “microestacas” ou “estacas raiz” foram desenvolvidas nas últimas décadas a fim de reforçar o solo *in situ*. Seu uso em taludes naturais ou de cortes se dá pela introdução destas estacas na forma de reticulados, onde são injetadas sob pressão, funcionando como reforço ao maciço e produzindo excelente aderência com o solo circundante (IPT, 1991), conforme é ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Exemplo de aplicação de estacas-raiz na estabilização de taludes



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT, 1991, p. 220.

No Brasil, seu uso tem sido bastante restrito devido ao elevado custo, se comparado com a contenção por tirantes e cortinas atirantadas. Este sistema de contenção foi utilizado pela primeira vez na estabilização de encostas adjacentes à Rodovia dos Imigrantes, na década de 1970, onde se encontra até o presente momento, sem nenhuma ruptura ou mau funcionamento (IPT, 1991).

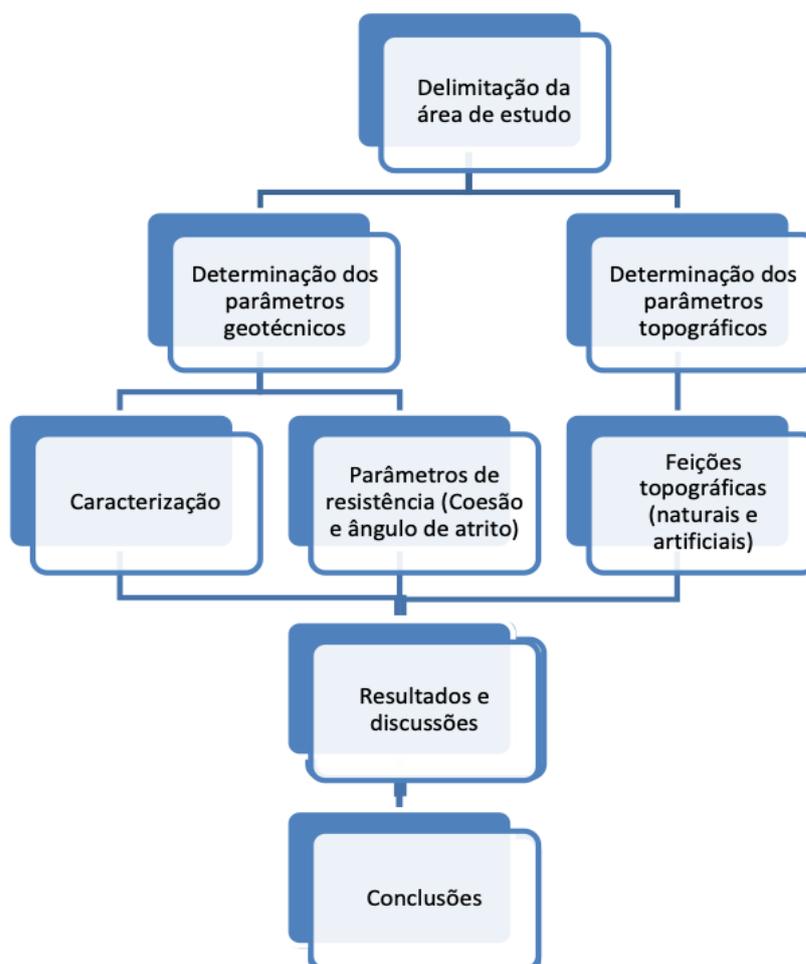
### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou, como metodologia, uma pesquisa exploratória de caráter qualitativo a partir de uma revisão bibliográfica, a fim de proporcionar maior conhecimento sobre estabilização de talude, bem como os diversos métodos existentes para contenção, visando, a partir disso, dimensionar soluções para estabilização do talude estudado.

Neste sentido, foram consultadas as principais metodologias clássicas de estabilidade de taludes disponíveis para solos tropicais e correlacionados com os parâmetros estabelecidos na NBR 11.682/2009 (norma de estabilidade de taludes), a fim de apresentar importância de se prever um método para estabilização do talude estudado.

Com base na revisão bibliográfica, os procedimentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa estão ilustrados na Figura 25.

Figura 25 - Fluxograma dos procedimentos a serem utilizados para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autores, 2019.

O talude a que se refere este trabalho, encontra-se na rodovia SC-390, em Orleans, localizado junto à margem da rodovia.

A partir do ensaio de resistência ao cisalhamento do solo, realizado e disponibilizado pelo professor Ismael Medeiros, foram analisados os resultados e, juntamente com as constatações realizadas *in loco*, como: cunha de ruptura, tipo de solo, canaletas inutilizadas, vegetação, feição topográfica, além do modelo gráfico realizado no programa *Macstars*, foi possível constatar o que causa a instabilidade do talude, bem como medidas de prevenção e recuperação do talude, a fim de estabilizá-lo.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Orleans está localizado na região sul do estado de Santa Catarina, com latitude de 28°21'32" Sul e longitude de 49°17'29", além da altitude de 132m acima do nível do mar. Está localizado distante 185 km da capital Florianópolis e apresenta divisas dos municípios de Tubarão, Criciúma, São Ludgero e Lauro Muller.

De acordo com o último Censo Demográfico realizado em 2010, Orleans consta com 21.393 habitantes e uma população estimada de 22.912 no ano de 2019, sendo considerada pouco populosa quanto às suas cidades vizinhas. Sua principal economia se divide em atividades relacionadas à agricultura, pecuária, indústria e comércio.

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Orleans, existem atualmente cerca de 1800 estabelecimentos agrícolas que tem média de 20 hectares. Quanto à agricultura, o fumo em folha representa grande parte da renda dos agricultores, alcançando hoje um número de 1700 estufas. Já na pecuária, o município está entre os principais produtores de frangos e ovos, sendo a avicultura a principal atividade econômica do município, assim como a suinocultura.

### 4.2 DADOS DA RODOVIA EM RELAÇÃO AO TALUDE

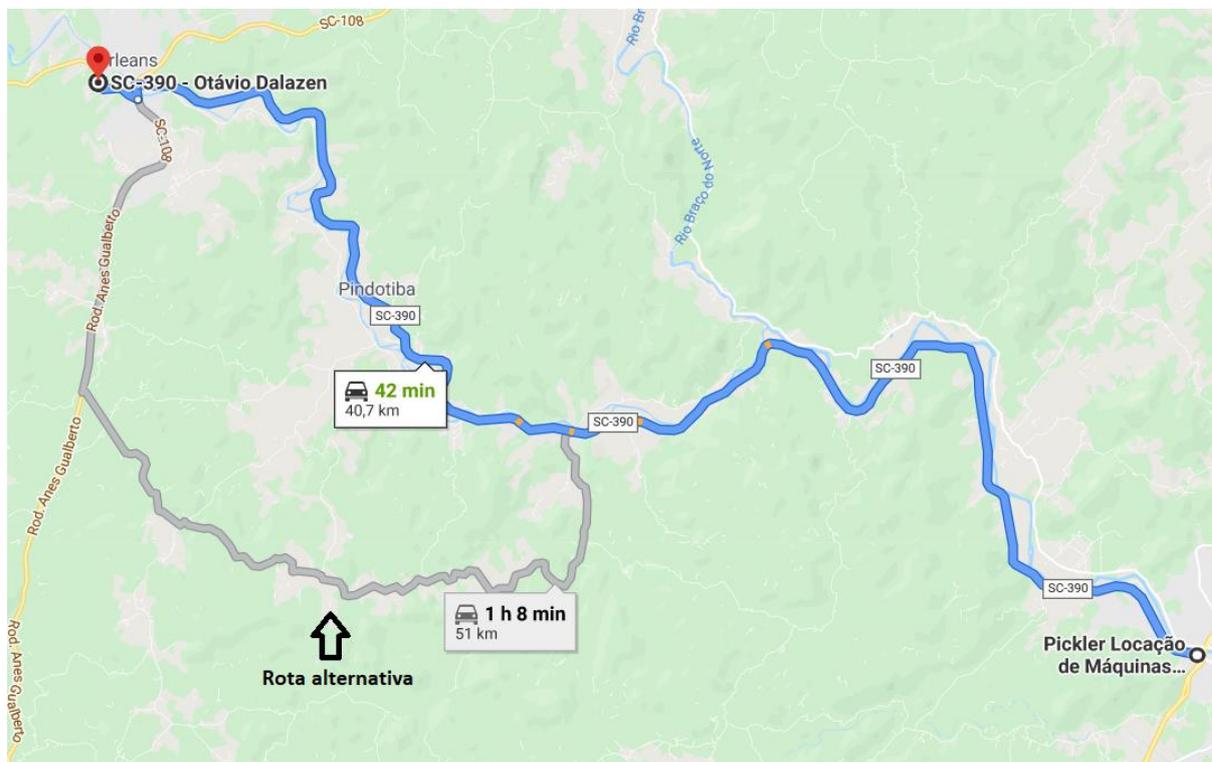
O talude em estudo está localizado na Rodovia SC-390, Km 442, interligando os municípios de São Joaquim e Tubarão, facilitando o transporte e a economia entre as cidades. A rodovia se divide em três trechos, onde o primeiro trecho liga os municípios de Concórdia à Piratuba, o segundo liga Capinzal à Capão Alto e o terceiro, de São Joaquim à Tubarão.

Apresenta o modal rodoviário predominante no Brasil com 58%, além de ser um dos países que tem a maior concentração rodoviária de transporte de cargas e passageiros entre as principais economias mundiais (MESQUITA, 2018). Mesmo não interferindo na economia em nível nacional, considera-se essencial o transporte rodoviário entre os municípios ligados à rodovia.

Em situação onde possa ocorrer o bloqueio da pista para uma solução de estabilização do talude, ou mesmo em caso de um deslizamento de terra oriundo da instabilidade do talude, impactará diretamente no tráfego dos veículos que utilizam a rodovia diariamente para o deslocamento ao trabalho, realização de serviços, comércio entre as cidades vizinhas, transporte de aves e suínos, além de outros problemas referentes ao bloqueio da pista. Pelo

fato de o talude se encontrar próximo a Orleans, há uma rota alternativa (trajeto apresentado no mapa na cor cinza), como mostra a Figura 26, porém aumenta o percurso em mais de 10 km.

Figura 26 - Trajeto de Tubarão à Orleans



Fonte: Google Maps, 2020.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS DO TALUDE E DA REGIÃO

Segundo o estudo realizado por Medeiros *et al.* (2018), geologicamente a região de Orleans é composta por granitos tardi a pós tectônicos, delimitados por linhas basálticas (stone lines), apresentando ainda, a inserção do município sobre rochas areníticas.

Ainda segundo Medeiros *et al.* (2018), sobre as definições pedológicas de Orleans há predominância de argissolos (solos intermediários) na região central da cidade. Há também, presença de cambissolos (consideráveis frágeis) em uma pequena parcela a noroeste e a leste da cidade, porém com tendência a maior profundidade de camada. Em percentuais, a classificação dos solos em relação à área municipal define-se como cambissolos (16%), solos litólicos (27%), e solos argissolos (57%).

Conforme evidências observadas *in loco*, o talude consta com canaletas, mas que devido a porosidade do solo, a água infiltra e passa por baixo da canaleta, chegando até a

rocha e diminuindo o atrito entre o solo, favorecendo o desencadeamento de deslizamentos e tornando a canaleta ineficaz. Não há presença de raízes pivotantes, indicando uma camada pequena de solo, contendo ainda, indícios de movimentação do solo por rastejo, além da vegetação presente no local, onde plantas e árvores inclinadas estão “tentando” voltar à vertical.

#### 4.4 FEIÇÕES TOPOGRÁFICAS DO TALUDE

O talude está localizado as margens da rodovia SC-390, Km 442, no município de Orleans, no sul do estado de Santa Catarina. A Figura 27 mostra de forma panorâmica a localização do talude.

Figura 27 - Localização do talude



Fonte: Google Maps, 2020.

Na Figura 28 é possível observar o perfil do talude e sua real formação, juntamente com a rodovia SC-390 logo abaixo e o rio ao fundo.

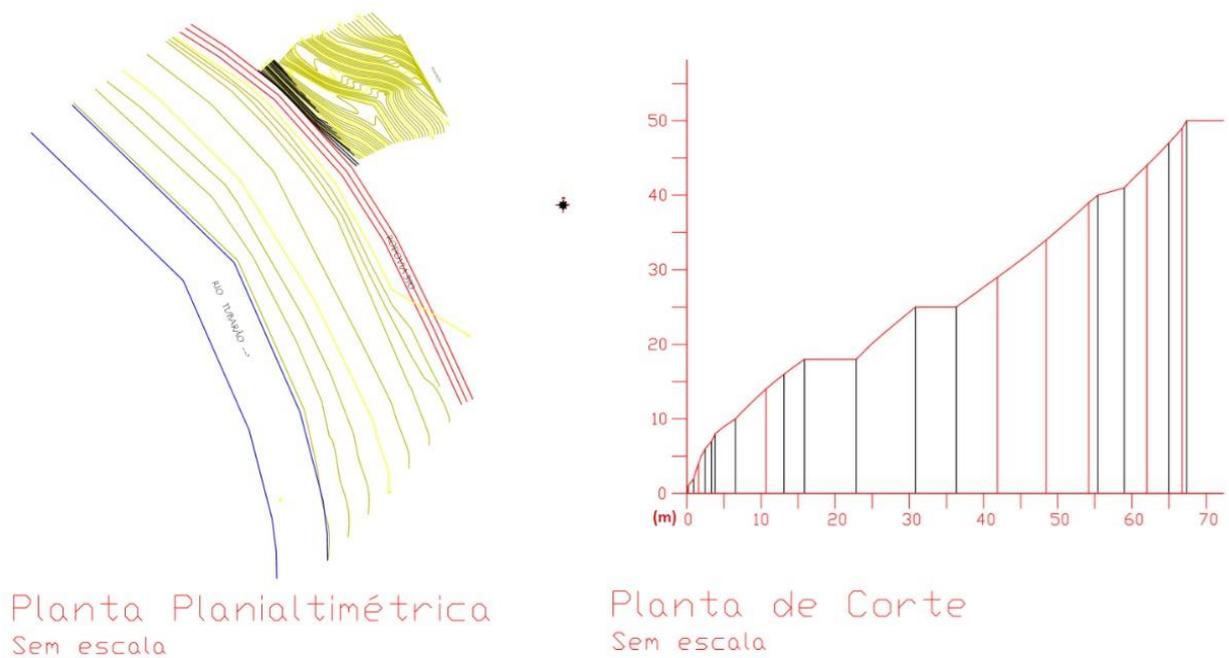
Figura 28 - Perfil do talude



Fonte: Autores, 2020.

A partir do levantamento planialtimétrico disponibilizado pelo professor Ismael Medeiros, foi possível obter as feições topográficas do talude. A Figura 29 apresenta a planta planialtimétrica e a planta de corte produzida a partir da altimetria do talude.

Figura 29 - Planta planialtimétrica e planta de corte



Fonte: Autores, 2020.

A partir do corte transversal feito, foi possível extrair dados importantes que serão utilizados posteriormente, conjuntamente com os resultados dos ensaios de campo e de laboratório, na estabilização do talude. Abaixo, os dados extraídos a partir das feições topográficas do talude.

Altura do talude: 50 metros

Largura: 67,36 metros

Ângulo de inclinação do talude: 37°

#### 4.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

O ensaio de cisalhamento direto tem como objetivo determinar a resistência de cisalhamento, no qual uma amostra é submetida a uma tensão normal fixa e, logo depois, é aplicada uma tensão cisalhante crescente por meio de uma superfície até ocorrer a ruptura do solo por cisalhamento. A partir disso, obtém-se uma relação entre a tensão cisalhante na ruptura e a tensão normal, onde é utilizada a lei de Mohr-Coulomb através da equação abaixo.

$$\tau = c + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi \quad (6)$$

Onde:

$\tau$  = resistência ao cisalhamento

$c$  = coesão

$\sigma$  = tensão normal ao plano de cisalhamento

$u$  = pressão neutra ou pressão nos poros

$\phi$  = ângulo de atrito interno

Com base em resultados antigos de análise de solo do talude em estudo, foram realizados os ensaios de cisalhamento direto natural e inundado, com diferentes estágios, foram determinadas 4 (quatro) cargas diferentes sendo aplicadas no corpo de prova, com isso, de acordo com o tempo em que cada amostra foi submetida à carga, tornou-se possível obter as tensões de cisalhamento em cada etapa, bem como suas deformações e tensão normal.

A Tabela 1 mostra um resumo das informações iniciais utilizadas para o ensaio, como altura e largura das amostras, volume, velocidade, densidade dos grãos e entre outras características.

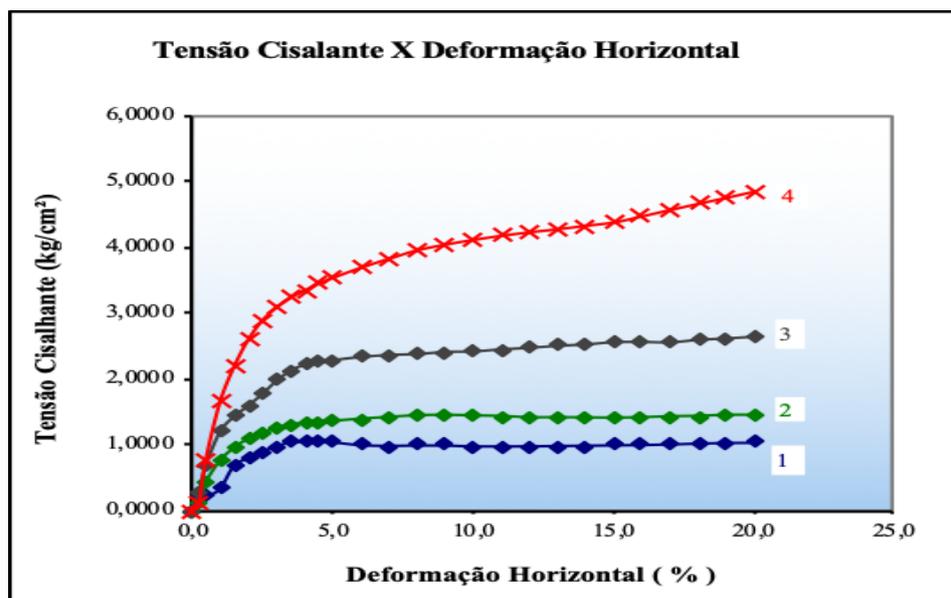
Tabela 1 - Informações iniciais

Altura das Amostras (mm)	23,4
Largura das Amostras (mm)	60
Velocidade (cm/s)	0,0005
Constante do Anel de Carga (kg/div.)	1
Constante do Ext. Horizontal (mm/div.)	1
Constante do Ext. Vertical (mm/div.)	1
Volume da Amostra (mm <sup>2</sup> )	84240
Densidade dos Grãos (g/cm <sup>3</sup> )	2,70
Condições do Ensaio	Natural

Fonte: Medeiros *et al.*, 2018.

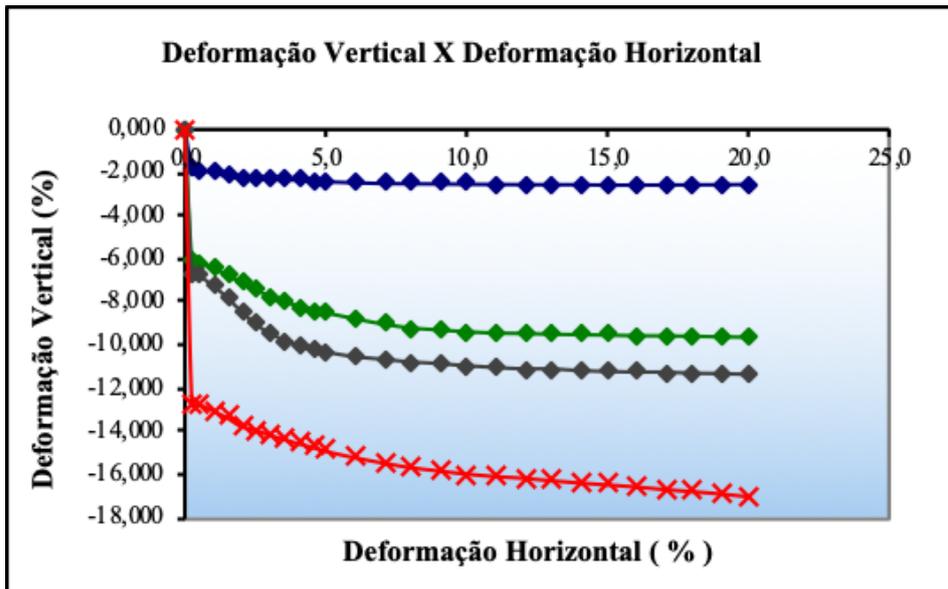
Como resultados obteve-se então, a coesão (kg/cm<sup>2</sup>) = 0,4792 e os gráficos de tensão cisalhante x deformação horizontal (Figura 30), Deformação vertical x deformação horizontal (Figura 31) e tensão cisalhante x tensão normal (Figura 32).

Figura 30 - Gráfico de tensão cisalhante x deformação horizontal



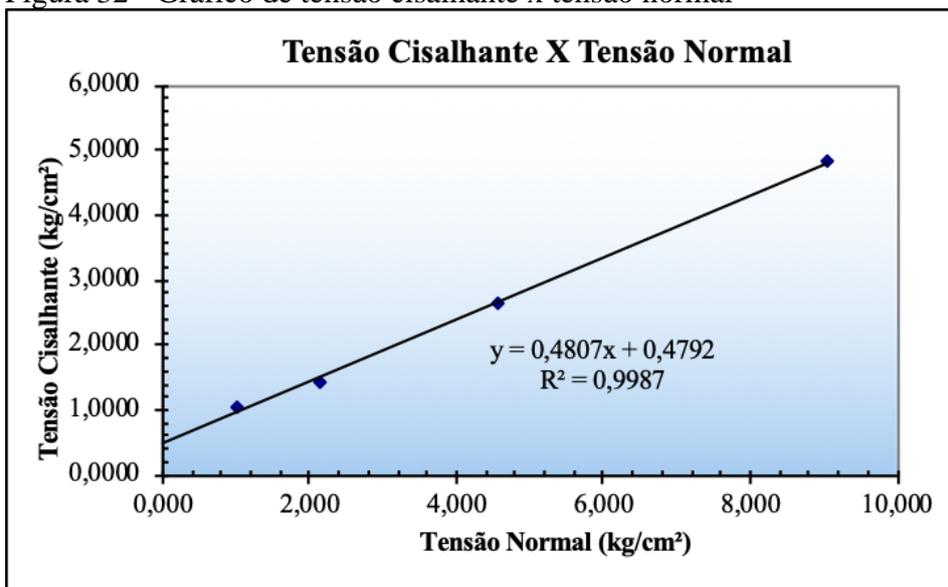
Fonte: Medeiros *et al.*, 2018.

Figura 31 - Gráfico de deformação vertical x deformação horizontal



Fonte: Medeiros *et al.*, 2018.

Figura 32 - Gráfico de tensão cisalhante x tensão normal



Fonte: Medeiros *et al.*, 2018.

A partir do gráfico de tensão cisalhante x tensão normal, foi possível calcular o ângulo de atrito interno do solo a partir do primeiro e último ponto do gráfico, como mostram os resultados a seguir.

Tabela 2 - Valores de tensão cisalhante e tensão normal

TENSÃO CISALHANTE (KGF/CM <sup>2</sup> )	TENSÃO NORMAL (KGF/CM <sup>2</sup> )
1,0442	1,023
1,4444	2,137
2,6424	4,575
4,8507	9,044

Fonte: Medeiros *et al.*, 2018.

Através dos valores das tensões obtidos como apresentado acima, foi possível determinar o cálculo e o resultado do ângulo de atrito interno, como mostra a Equação 7.

$$\Phi = \frac{(4,8507 - 1,023)}{(9,044 - 1,023)} \quad (7)$$

$$\Phi \text{ (rad)} = 0,4439$$

$$\Phi \text{ (}^\circ\text{)} = 25,387$$

A partir do cálculo apresentado anteriormente, foi possível obter um ângulo de atrito interno de aproximadamente 25,4°, o que indica uma compacidade do tipo fofa, mostrando que se trata de um solo do tipo silte arenoso (MARAGON, 2009).

#### 4.6 INSPEÇÃO DE CAMPO

A inspeção de campo foi realizada com o intuito de levantar informações complementares ao talude (Figura 33), estas serão apresentadas em seguida.

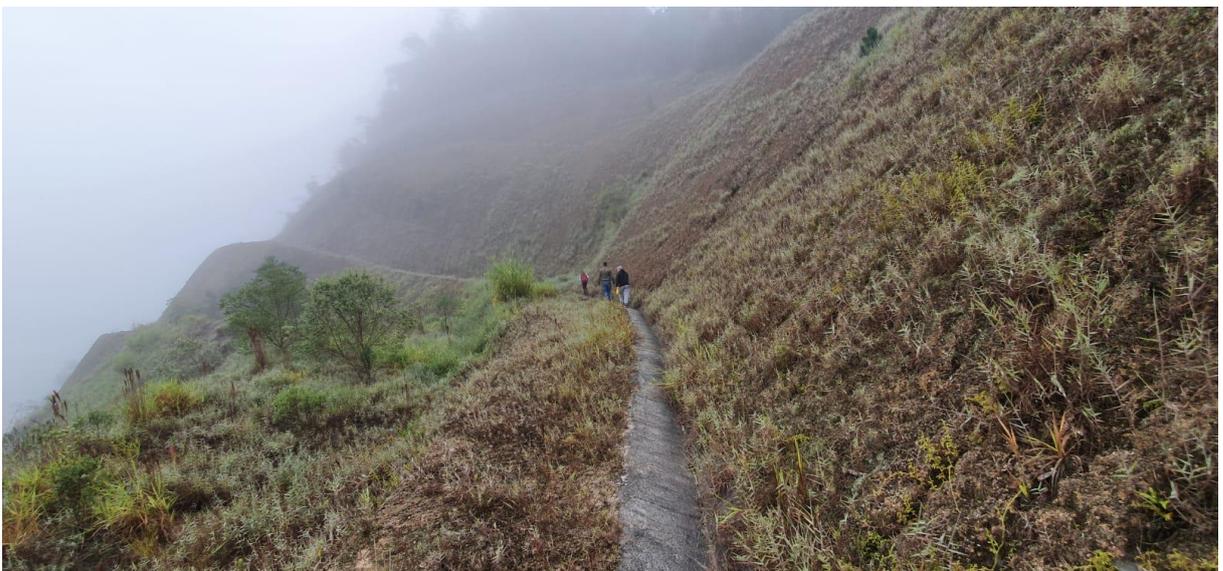
Figura 33 – Talude



Fonte: Autores, 2020.

Foi possível observar, em um primeiro momento, que há presença de canaletas para a drenagem do talude (Figura 34), porém notou-se que não há indícios da passagem de água por essas canaletas. Além disso, foi possível observar também que os patamares do talude, onde ficam as canaletas, não respeitam as boas técnicas construtivas.

Figura 34 - Canaleta para drenagem do talude



Fonte: Autores, 2020.

Outro fato que pode ser observado é quanto a presença de ravinas na superfície inclinada do talude (Figura 35), devido ao solo ser do horizonte C, com presença de fragmentos de rochas e ser altamente poroso, favorece a infiltração da água no talude, fato

este, que acaba comprovando que não havia a passagem de água pelas canaletas, pois a água acaba infiltrando no talude, passando por baixo das canaletas, possivelmente chegando até a rocha, ocasionando então, uma diminuição do atrito entre o solo e a rocha, podendo ocasionar deslizamentos de solo.

Figura 35 - Ravinas devido a infiltração de água



Fonte: Autores, 2020.

Além das ravinas, nota-se também evidências de que já houve alguns deslizamentos, visualizados na Figura 36 e Figura 37.

Figura 36 - Presença de cicatrizes de escorregamentos



Fonte: Autores, 2020.

Figura 37 - Presença de cicatrizes de escorregamentos



Fonte: Autores, 2020.

Já na crista do talude foi possível observar a cunha de ruptura, observada nas Figuras 38 e 39, medindo cerca de 75 cm de afastamento e 50 cm de altura. Esta indica que o talude já rompeu e está apenas aguardando um fator anômalo externo, como chuvas intensas, para que ocorra um grande deslizamento de massa.

Figura 38 - Cunha de ruptura



Fonte: Autores, 2020.

Figura 39 - Cunha de ruptura



Fonte: Autores, 2020.

Além da cunha de ruptura, na crista do talude foi observado, ainda, indícios da movimentação do tipo rastejo devido a inclinação das árvores, onde é possível observar que na tentativa de corrigirem sua inclinação, na busca pela luminosidade, acabaram ficando curvas, conforme mostra a Figura 40. Também foi possível notar maior presença de vegetação com raízes pivotantes, o que indica uma pequena camada de solo.

Figura 40 - Indícios de movimentação de rastejo



Fonte: Autores, 2020.

As setas na imagem acima indicam a inclinação em duas seções da árvore, demonstrando que quanto mais a árvore cresce, sua verticalidade será sempre corrigida.

#### 4.7 RETROANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

A partir das feições topográficas do talude, além dos dados e características do solo obtidos a partir do ensaio de cisalhamento e juntamente com o que se constatou *in loco*, foi

possível moldar o talude no software Macstars 2000 a fim de verificar sua estabilidade a partir dos dados presentes na Tabela 2.

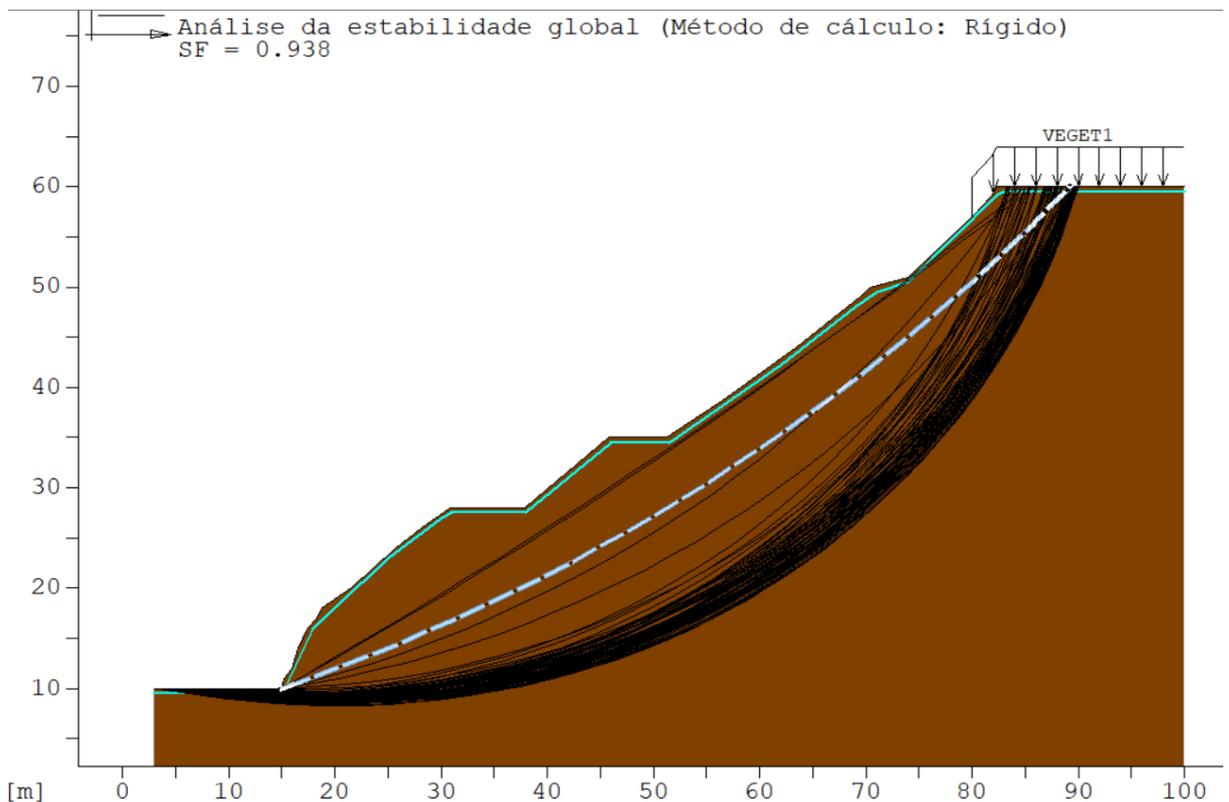
Tabela 3 - Dados do solo extraídos do ensaio de cisalhamento

Coesão (KPa)	11
Ângulo de Atrito (°)	25,4
Peso Específico Natural (KN/m <sup>3</sup> )	18,55
Peso Específico Saturado (KN/m <sup>3</sup> )	19,87
Módulo de elasticidade (KPa)	900
Coefficiente de Poisson	0,3

Fonte: Medeiros *et al.*, 2018.

Para a carga de vegetação presente no topo do talude, foi considerado ventos médios de 40 km/h para a região e uma altura média da copa de 5 metros, chegando a um valor de 4 kPa conforme Styczen e Morgan (1995). Com isso, obteve-se um fator de segurança de 0,938 (Figura 41), o que indica que o talude está instável, coincidindo com o atual cenário de instabilidade.

Figura 41 - Análise de estabilidade global - Condição atual



Fonte: Autores, 2020.

## 5 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES

Neste tópico serão abordadas duas possíveis soluções, sendo estas o Terramesh System - sistema que utiliza unidades pré-moldadas preenchidas com pedras ou solo - e a Cortina Atirantada, utilizando tirantes presos a uma placa de concreto e inseridos no solo até a parte resistente do maciço, onde o processo de estabilização se dá através das tensões causadas pelos tirantes no solo. Tais métodos foram testados por meio do programa Macstars, verificando suas viabilidades conforme apresentado a seguir.

### 5.1 TERRAMESH SYSTEM

Considerando que o talude tenha se rompido principalmente pela ineficiência do seu sistema de drenagem, sem algum tipo de controle tecnológico e os eventos anômalos da natureza, especialmente pelas chuvas fortes e a falta de manutenção preventiva, uma das soluções propostas é o Terramesh System, que consiste em um sistema modular a fim de reforçar e estabilizar principalmente taludes.

Sendo formados por unidades pré-montadas, com malha de arame de dupla torção geralmente de tipo 8x10 e Ø2,7mm, é criada uma espécie de caixa com formato retangular para o armazenamento de pedras em sua parte interna, chamados de gabiões. Deste modo, é feita uma fachada contínua dos gabiões adaptando-se ao maciço de solo e garantindo uma melhor estabilidade. A Figura 42 apresenta um exemplo de aplicação do sistema.

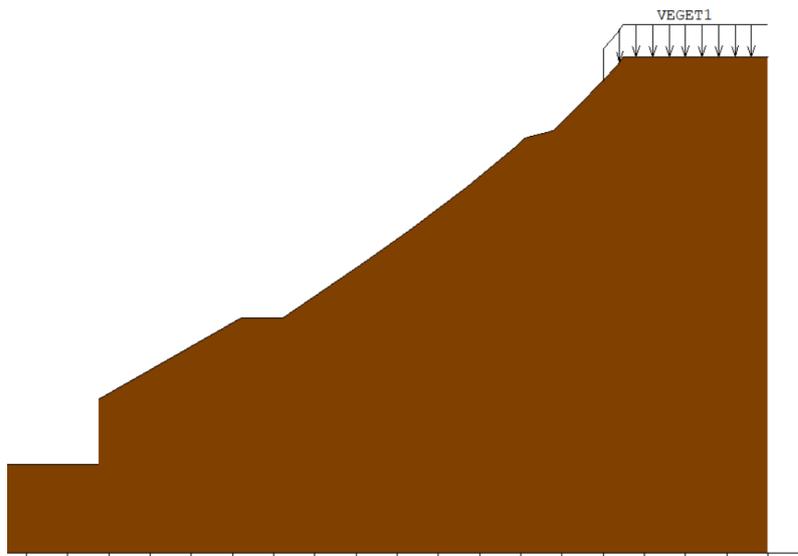
Figura 42 - Terramesh System



Fonte: MC engenharia, 200?.

Para testar a solução, foi necessário primeiramente realizar um corte próximo ao pé (ponto mais baixo) do talude, como mostra a Figura 43. Em seguida, foi introduzido um lastro de concreto magro, de 50 cm e peso específico de 19 KPa. Logo acima do lastro, foi inserido o bloco base, com dimensões de 4 metros de comprimento da base por 5 metros de altura e utilizado o mesmo solo presente no talude para seu preenchimento (solo retirado do corte).

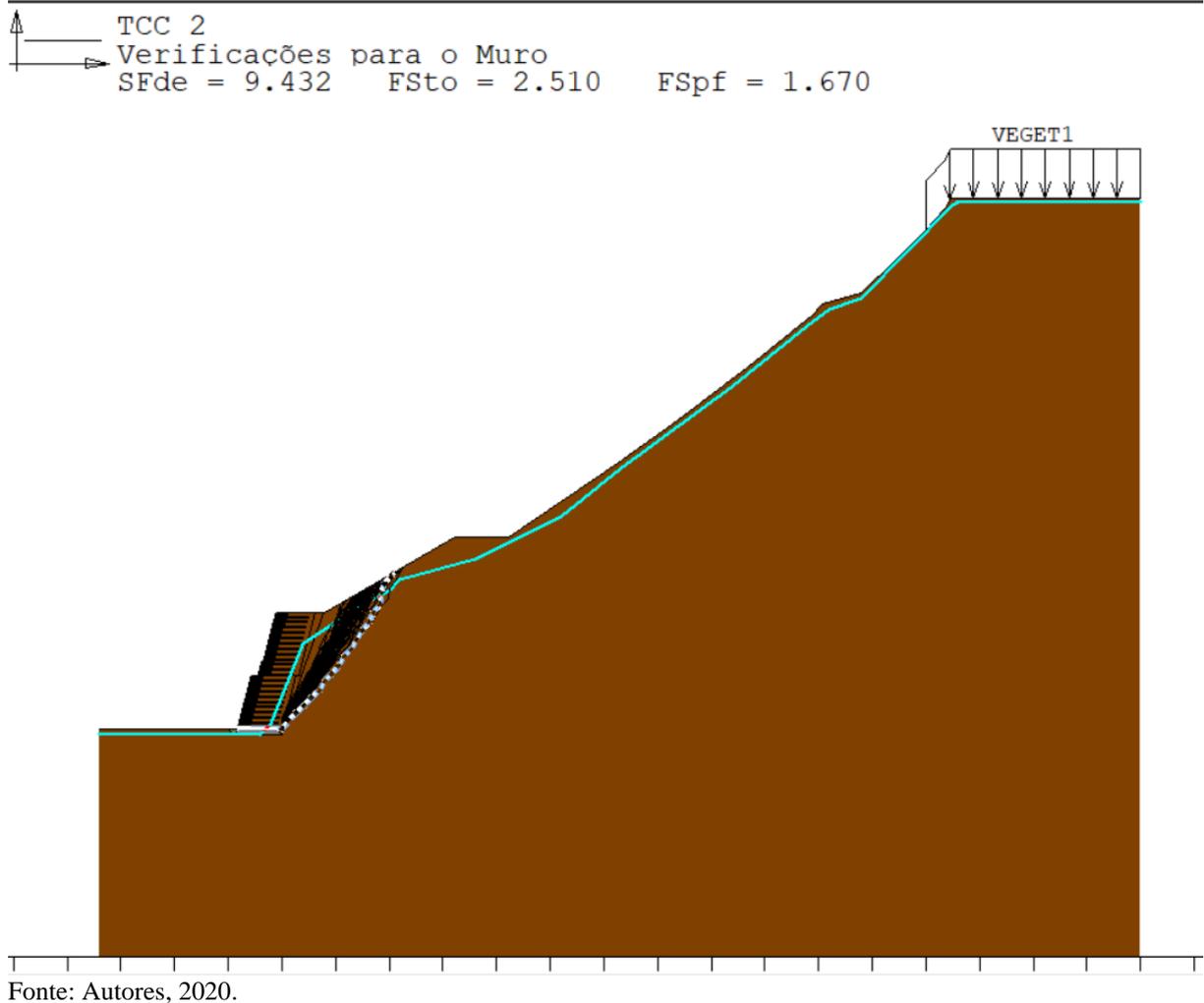
Figura 43 - Corte no talude



Fonte: Autores, 2020.

Após inserido o bloco de base, se fez necessário a utilização de mais um bloco, com dimensão de 3,5 metros de comprimento da base por 6 metros de altura acima do bloco base. Com isso, chegamos aos seguintes resultados apresentados na Figura 44.

Figura 44 - Resultado para solução com Terramesh System



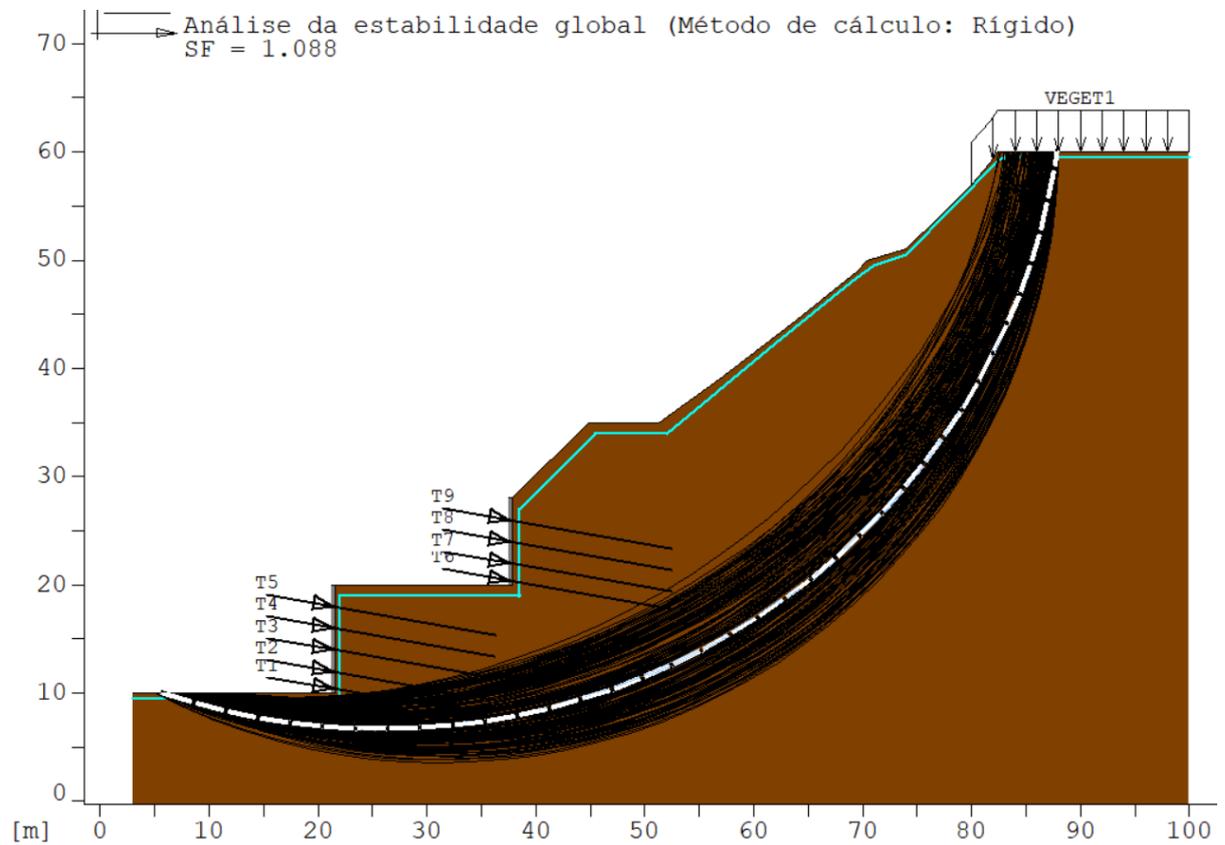
Como resultado, obteve-se os seguintes fatores de segurança: para deslizamentos, de 9.432; para tombamento, de 2.510; e para fundação, de 1.670. Como todos os fatores de segurança calculados são superiores a 1.5, pode-se afirmar que esta solução é viável e que o talude ficará estável após a aplicação dela.

## 5.2 CORTINA ATIRANTADA

Utilizando o programa Macstars para simular uma solução com tirantes, foi observado que esta proposta de solução é inviável, pois a distância entre as placas de concreto e a superfície de ruptura do talude é muito elevada, tornando necessário a utilização de tirantes de aproximadamente 30 metros no total, ou um retaludamento excessivo do talude, exigindo que máquinas pesadas operem no talude, situação que implicaria em questões de segurança, pois o talude encontra-se rompido e não suportaria o peso destas máquinas. Além das questões

financeiras, visto que seria necessário um comprimento muito grande dos tirantes, tornando seu custo muito elevado. A Figura 45 mostra o resultado obtido para esta proposta de solução.

Figura 45 - Análise de estabilidade global solução com tirantes



Fonte: Autores, 2020.

O resultado acima foi obtido utilizando tirantes de 15 metros com uma inclinação de  $10^\circ$  e força de ancoragem de 590 KN. Como o fator de segurança ficou abaixo de 1,5, podemos concluir que o talude não ficará estável após aplicação do sistema, portanto pode-se descartar esta solução.

### 5.3 REVESTIMENTO DO TALUDE

Como apresentado anteriormente, foi observado a presença de ravinas no talude formadas a partir da passagem de água pelo talude ocasionando o carregamento de partículas sólidas do solo, sendo este um dos principais motivos para a instabilidade e tornando necessário meios para combater ou diminuir a erosão do solo, aumentando a durabilidade do método proposto para a estabilização.

A técnica de plantio de grama em placas ou em tufos, onde se utiliza grama com raízes e folhas já desenvolvidas, é comumente utilizada em taludes com inclinações entre 0° e 30°. Esse tipo de proteção consome mais tempo e possui limitações devido a disponibilidade de grama, portanto não é indicada para este caso (GEORIO, 2000).

Para este caso, a técnica mais recomendada para a proteção do talude é a de hidrossemeadura, técnica que permite rapidez e economia no revestimento de extensas áreas e consiste na aplicação hidromecânica de uma massa pastosa composta por fertilizantes, sementes de espécies herbáceas, camada protetora, adesivos e matéria orgânica viva, cujo traço depende do solo e das necessidades dos nutrientes requeridos pelas plantas (Figura 46).

Figura 46 - Execução de hidrossemeadura



Fonte: Gramas Xavier, 2007.

Como toda e qualquer técnica possui vantagens e desvantagens, esta apresenta como vantagem - além das já citadas rapidez e economia - a eficácia para locais de difícil acesso e o custo relativamente baixo. Já suas desvantagens incluem a necessidade de água em abundância, necessidade de refazer possíveis falhas, utilização de um número maior de sementes comparado a outras técnicas e a utilização de mão de obra especializada.

Cabe destacar que essas obras além de preservar bens e vidas, proporcionam principalmente em centros habitados e obras viárias, uma grande economia com a eliminação de operações de manutenção e limpeza do talude (MACCAFERRI, 2009).

## 6 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados apresentados no capítulo 4 e 5, considera-se que o objetivo inicial de análise das condições atuais do talude e verificação de possíveis soluções para a estabilização do talude localizado na Rodovia SC-390 no município de Orleans, com o intuito de encontrar a contenção que seja mais viável, foi atendido.

Ainda, com base no que foi observado em campo quanto ao estado atual do talude e devido à forte presença de deslizamentos, se faz necessário o revestimento do talude a fim de evitar a erosão e, conseqüentemente, reduzir a infiltração de água no maciço, evitar que o atrito entre a rocha e o solo seja afetado e diminuir, também, a presença de escorregamentos. Para isso, a técnica que foi julgada a mais apropriada como solução complementar com a contenção para este caso é a hidrossemeadura, comumente utilizada para superfícies mais íngremes e fornecendo também mais rapidez e economia. Além de evitar a erosão do solo, o revestimento do talude aumentará a vida útil da contenção a ser utilizada, dando ainda mais importância a sua utilização.

Vale destacar ainda, que o talude encontra-se instável, ou seja, apresenta razão entre as tensões aplicadas e tensões resistentes inferior a 1, e qualquer fator anômalo externo, como fortes chuvas, poderá acarretar um grande deslizamento de massa, podendo vir a bloquear a via ou até mesmo causar sérios acidentes. Por isso é de extrema importância que haja uma intervenção urgente a fim de estabilizar o maciço, evitando um possível bloqueio na rodovia e ainda garantindo a segurança de todos que passam por ela.

Levando em consideração que a solução com tirantes foi descartada devido a sua inviabilidade, em questões executivas e financeiras, concluímos que a solução mais viável para este caso deve ser uma contenção com Terramesh System, por se tratar de um sistema que necessitará de um corte pequeno (comparado a dimensão total do talude) e que o preenchimento dos gabiões caixa se dará com o próprio solo oriundo do corte, diminuindo os custos e facilitando sua execução.

Diante do exposto, para futuros trabalhos pode-se mencionar ainda uma outra técnica possível de aplicação que é o retaludamento, que também pode reduzir o problema de infiltração no maciço, sem deixar de tomar todos os cuidados, visando as condições atuais do talude, prevenindo qualquer tipo de acidente conforme os dados apresentados no desenvolvimento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Marcio de Souza S. de; MARQUES, Maria Esther Soares. **Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro, 2009.
- AUGUSTO FILHO, Oswaldo; VIRGILI, José Carlos. **Estabilidade de Taludes**. In: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Abge, 1998. Cap. 15. p. 243-246.
- AZEVEDO, Guilherme; RAMALHOSO, Wellington. **Deslizamentos de terra mataram 202 pessoas nos últimos 20 anos na Grande SP**. 2017. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/01/31/deslizamentos-de-terra-mataram-202-pessoas-nos-ultimos-20-anos-na-grande-sp.htm>>. Acesso em: 07 out. 2019.
- BITTENCOURT, Douglas M. A.. **Estabilidade de Taludes**. Notas de aula, Geotecnia II – PUC Goiás, 2013.
- CARMIGNANI, Luigi; FIORI, Alberto Pio. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 2ª ed. rev. e ampl. – Curitiba: Ed. Ufpr, 2009.
- ENGENHARIA, Mc. **Mc Engenharia**. Disponível em: <<http://mcengenhariabrasil.com.br/mcportifolio>>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- FELLENIUS, W. **Calculation of stability of Earth dams**. In: TRANS. 2nd CONGRESSO ON LARGE DAMS, 4; 1936, Washington, v.4, 445p.
- G1, SANTA CATARINA; TV, NSC. **Deslizamento de terra em obra atinge trabalhadores e causa mortes em Blumenau**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2019/03/27/deslizamento-de-terra-em-obra-atinge-trabalhadores-em-blumenau.ghtml>>. Acesso em: 07 out. 2019.
- GEORIO. **Manual Técnico de Encostas: análise e investigação**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2000. 253 p.
- GERSCOVICH, Denise M. S.. **Notas de aula: Muros de arrimo**. Rio de Janeiro: Feuerj, 2010.
- GERSCOVICH, Denise M. S.. **Notas de aula: Resistência ao Cisalhamento**. Rio de Janeiro: Feuerj, 2010.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M.. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1976. 170p.
- HIGASHI, Rafael. **Estabilização de Encostas**. Notas de aula, 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Taludes de Rodovias**: Orientação para Diagnóstico e Soluções de Seus Problemas. Cap. IV: Obras de estabilização de taludes. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1991. p. 196-221.

MACCAFERRI. **Revestimento de taludes**. São Paulo, 2009.

MARANGON, Márcio. **Estabilidade de Taludes**. Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFJF, 2009.

MARANGON, Márcio. **Geotecnia de Fundações**. Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFJF, 2009.

MASSAD, Faiçal. Análise de Estabilidade de Taludes. In: MASSAD, Faiçal. **Obras de Terra**: Curso Básico de Geotecnia. 2. ed. Oficina de Texto, 2010. Cap. 3, p. 63.

MEDEIROS, Ismael et al. **Mapeamento de áreas de fragilidade geotécnica do município de Orleans-SC: Estudo situacional com aplicação de processo analítico hierárquico**. In: XI SIMPÓSIO DE PRÁTICAS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 11., 2018, Orleans. **Simpósio**. Tubarão, 2018. P. 1-6.

MESQUITA, Lígia. **Crise revela dependência de transporte rodoviário que é ‘mais barato e dá voto’**. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44247460>>. Acesso em: 16 abr. 2020.

TELES, George Lício Vieira. **Estudos sobre os parâmetros de resistência e deformabilidade da areia de Hokksund**. 2013. 111 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

STYCZEN, M. E.; MORGAN, R. P. C.. **Engineering Properties of Vegetation**. In: MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. (eds) Slope Stabilization and Erosion control: A Bioengineering Approach E&FN Spon, London, 1995. p. 5-58.