

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**POLLYANA SANTOS DE ARAÚJO**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE EM TALUDES DE CORTE EM  
TRECHO DA GO-338**

**ANÁPOLIS / GO**

**2021**

**POLLYANA SANTOS DE ARAÚJO**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE EM TALUDES DE CORTE EM  
TRECHO DA GO-338**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: VANESSA HONORATO DOMINGOS**

**ANÁPOLIS / GO: 2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, POLLYANA SANTOS DE

Análise de estabilidade em taludes de corte em trecho da GO-338

46P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

1. Talude de Corte

2. Análise de Estabilidade

3. Ruptura

4. Solos

I. ENC/UNI

II. Bacharel

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, Pollyana Santos de. Análise de estabilidade em taludes de corte em trecho da GO-338. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 46p. 2021.

## CESSÃO DE DIREITOS

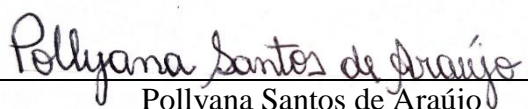
NOME DO AUTOR: Pollyana Santos de Araújo.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise de estabilidade em taludes de corte em trecho da GO-338

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Pollyana Santos de Araújo

E-mail: pollyanasantos18@hotmail.com

**POLLYANA SANTOS DE ARAÚJO**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE EM TALUDES DE CORTE EM  
TRECHO DA GO-338**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

*Vanessa Honorato Domingos*

---

**VANESSA HONORATO DOMINDOS, Mestra (UniEVANGÉLICA)  
(ORIENTADORA)**

*Rogério Santos Cardoso*

---

**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

*Ana Lúcia Carrijo Adorno*

---

**ANA LÚCIA CARRIJO ADORNO, Doutora (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADORA INTERNA)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 01 de DEZEMBRO de 2021.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado força, fé e saúde para trilhar esse caminho e minha família pelo incentivo e apoio.

Pollyana Santos de Araújo

## **RESUMO**

Neste trabalho foi realizado um estudo para analisar a estabilidade em um talude de corte localizado no Km 17, de um trecho da GO-338, que fica no município de Abadiânia-GO. Primeiramente foi apresentada uma revisão bibliográfica referente a formação dos solos, intemperismo, movimento de solo, partes do talude e ruptura. Depois foi exposto o levantamento de dados referentes ao local onde estava o talude e do próprio talude, como as medidas e o tipo de solo. Com todas essas informações em mãos foi possível encontrar fatores de segurança para ângulos de atrito de  $0^\circ$  a  $30^\circ$  e coesão de 0 a 60 kPa com o peso específico de  $18 \text{ kN/m}^3$ .

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Talude de corte. Análise de estabilidade. Ruptura. Solos. Intemperismo.

## **ABSTRACT**

In this work, a study was carried out to analyze the stability in a cut slope located at Km 17, in the GO-338, section that is in the municipality of Abadiânia-GO. First, a bibliographical review was presented regarding the formation of soils, weathering, soil movement, parts of the slope and rupture. Afterwards, the survey of data referring to the place where the slope was and the slope itself was exposed, as well as the measurements and the type of soil. With all this information in hand, it was possible to find safety factors for friction angles from  $0^\circ$  to  $30^\circ$  and cohesion from 0 to 60 kPa with a specific weight of  $18 \text{ kN/ m}^3$ .

### **KEYWORDS:**

Cutting slope. Stability analysis. Break. Soils. Weathering.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Porcentagem dos elementos que formam o solo.....	13
Figura 2 - Detalhamento dos horizontes que formam o solo.....	14
Figura 3 - Processo de intemperismo .....	16
Figura 4 - Intemperismo químico na rocha .....	18
Figura 5 - Quebra da rocha.....	19
Figura 6 - Aumento de fissuras.....	19
Figura 7 - Intemperismo causado por bactérias.....	20
Figura 8 - Partes do talude.....	21
Figura 9 - Solo com escoamento .....	22
Figura 10 - Solo com escorregamento.....	24
Figura 11 - Rastejo em encosta.....	24
Figura 12 - Tipos de ruptura.....	25
Figura 13 - Círculo de Mohr.....	26
Figura 14 - Análise de estabilidade pelo método das fatias .....	26
Figura 15 - Localização de Abadiânia .....	28
Figura 16 - Localização do talude na GO-338 .....	29
Figura 17 - Rodovia com o talude a direita .....	29
Figura 18 - Seção longitudinal do talude.....	30
Figura 19 - Inclinação média do talude na seção transversal .....	30
Figura 20 - Solo extraído do talude .....	31
Figura 21 - Análise tátil visual: (a) coloração (b) resistência a seco (c) plasticidade (d) impregnação.....	32
Figura 22 - Software GeoStudio.....	33
Figura 23 - Seção transversal do talude.....	34
Figura 24 - Análise SLOPE/W .....	34
Figura 25 - a) inserção das coordenadas, b) pontos do talude, c) marcação da região.....	35
Figura 26 - a) composição do solo, b) solo no talude, c) topo e pé selecionados .....	36
Figura 27 - Talude que ocorrerá ruptura.....	38
Figura 28 - Gráfico com ângulo de atrito de 0° .....	40
Figura 29 - Gráfico com ângulo de atrito de 30° .....	41



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Reações do intemperismo químico .....	17
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise do solo .....	37
Tabela 2 - Ângulo de atrito de $0^\circ$ e $5^\circ$ .....	38
Tabela 3 - Ângulo de atrito $10^\circ$ e $15^\circ$ .....	39
Tabela 4 - Ângulo de atrito de $20^\circ$ e $25^\circ$ .....	39
Tabela 5 - Ângulo de atrito de $30^\circ$ .....	40
Tabela 6 - Fator de segurança de Bishop.....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVOS .....	11
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 SOLOS .....	13
2.2 INTEMPERISMO.....	14
<b>2.2.1 Agentes químicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2 Agentes físicos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.3 Agentes biológicos.....</b>	<b>20</b>
2.3 TALUDES .....	20
<b>2.3.1 Tipos de movimento de solo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1.1 Escoamentos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.1.2 Escorregamentos .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1.3 Rastejo .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.2 Critérios de ruptura .....</b>	<b>25</b>
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>28</b>
3.1 LOCAL E GEOMETRIA DO TALUDE.....	28
3.2 SOLO DO TALUDE .....	31
3.3 DESCRIÇÃO DO SOFTWARE.....	33
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O problema envolvendo segurança de taludes em materiais geomecânicos, sendo eles, solos, descontinuidade, alteração de rochas e fraturas, é considerado muito frequente nas Engenharias Civil e Geotécnica, podendo abranger tanto encostas naturais, quanto taludes de aterros e pilhas (GERSCOVICH, 2016).

O relevo brasileiro é bastante irregular e acidentado, com isso o solo se comporta de maneira diferente da maneira que se espera, podendo gerar instabilidade nos taludes. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é o órgão responsável para mapear as formas de relevo, fazendo o levantamento geomorfológico sistemático, que apresenta como principais relevos, os planaltos, planícies e depressões.

As formas de relevo são caracterizadas de acordo com os processos e materiais que são originados no interior ou na superfície da Terra, mas também é comum a combinação dos dois. Os processos geomórficos são classificados em dois grupos, os endógenos, que tem a sua origem dentro da Terra e são responsáveis pelo aumento do relevo e os exógenos, que tem sua origem na superfície da terra e fazem com que o relevo diminua (PETERSEN; SACK; GABLER, 2015).

Os taludes podem ser caracterizados como formas topográficas com superfícies inclinadas que irão limitar uma parte de terra, de rocha ou os dois juntos. Podem ser naturais, no caso das encostas, ou artificiais, como os taludes de corte, que são feitos com a retirada de solo, ou aterro, que é feito com a deposição de solo (CAPUTO, 2015).

Quando são feitos os cortes no solo para a formação do talude a cobertura vegetal que é extremamente importante para sua proteção é retirada, fazendo com que o solo fique exposto as ações da chuva. O intemperismo transforma as rochas em pequenas partículas, e essas partículas podem se acumular, formando solo ou ser removidas pela erosão, transportadas e depositadas em um outro lugar na forma de sedimentos. Pode se entender que a erosão é quando as partículas criadas pelo intemperismo são transferidas para um outro local, normalmente pelas correntes de água e ar (GROTZINGER; JORDAN, 2013).

Uma forma de analisar a estabilidade do talude é pelo método do equilíbrio limite, que possibilita a determinação do fator de segurança. E para analisar esse fator de segurança, utilizou-se o software GeoStudio, que além de modelar o talude, se consegue fazer análise de tensão e deformação, geotérmicas, infiltração de água, dentre outras, todas essas possibilidades farão com que o resultado tenha maior exatidão.

O talude analisado é um talude de corte, localizado em uma extensão da GO-338 no município de Abadiânia - Goiás, que possui algumas erosões e o estudo de caso foi a análise do talude em questão, realizando ensaios e mostrando uma possível forma de estabilização.

O município de Abadiânia, localizado no estado de Goiás, tem uma área territorial de 1.045,127 km e vem crescendo muito tanto geograficamente como em população também. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2010, a população era de 15.757 habitantes e a estimativa é que no ano de 2020 a população tenha aumentado para 20.461 habitantes, com isso é necessário aumentar a infraestrutura para dar mais suporte a população, sendo muito importante analisar com bastante atenção os aspectos ambientais na hora de realizar a terraplenagem, é um requisito que o engenheiro deve se atentar.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com a retirada da camada de vegetação para a execução do talude de corte, o solo fica exposto aos intempéries e uma das principais causas para o aparecimento de erosões é a água, que fará com que a camada superficial do solo pese e ocorra o deslizamento e se o talude não tiver sido feito calculando os riscos de ruptura, provavelmente irá romper.

O número de carros trafegando vem crescendo e a necessidade de construir novas rodovias acompanha esse crescimento. É recorrente as notícias de deslizamentos atrapalhando a passagem de carros nas rodovias e esses deslizamentos, além de gerar prejuízo financeiro, pode acarretar danos a vida de pessoas e animais.

Entretanto, com a verificação dos possíveis problemas que podem aparecer com a construção do talude e utilizando ferramentas para ajudar a chegar a um fator de segurança, é possível prevenir desastres futuros.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral é analisar a estabilidade de um talude de corte, localizado na GO-338, por métodos de equilíbrio limite.

### 1.2.2 Objetivos específicos

A fim de se atingir o objetivo específico tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantar a geometria do perfil de talude de corte localizado na extensão da GO-338, no município de Abadiânia – Goiás;
- Fazer a análise bidimensional da estabilidade de um talude de corte, pelo método do equilíbrio limite, utilizando o software GeoStudio.

### 1.3 METOLOGIA

Este trabalho foi realizado por meio de estudo de literatura pertinente a análise de estabilidade de taludes, para se obter um embasamento teórico e posteriormente foi apresentado um estudo de caso, em um trecho da GO- 338, que teve seus resultados obtidos e exibidos por meio do software GeoStudio.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos:

No capítulo 1 foi realizado a introdução, apresentando o tema, a justificativa, os objetivos gerais e específicos.

No capítulo 2 foi elaborado a fundamentação teórica, como as causas para o surgimento de rupturas em taludes.

No capítulo 3 foi exposto o estudo de caso, apresentando a geometria do talude, o tipo do solo e a descrição do software.

No capítulo 4 mostrado os resultados obtidos a partir do software GeoStudio.

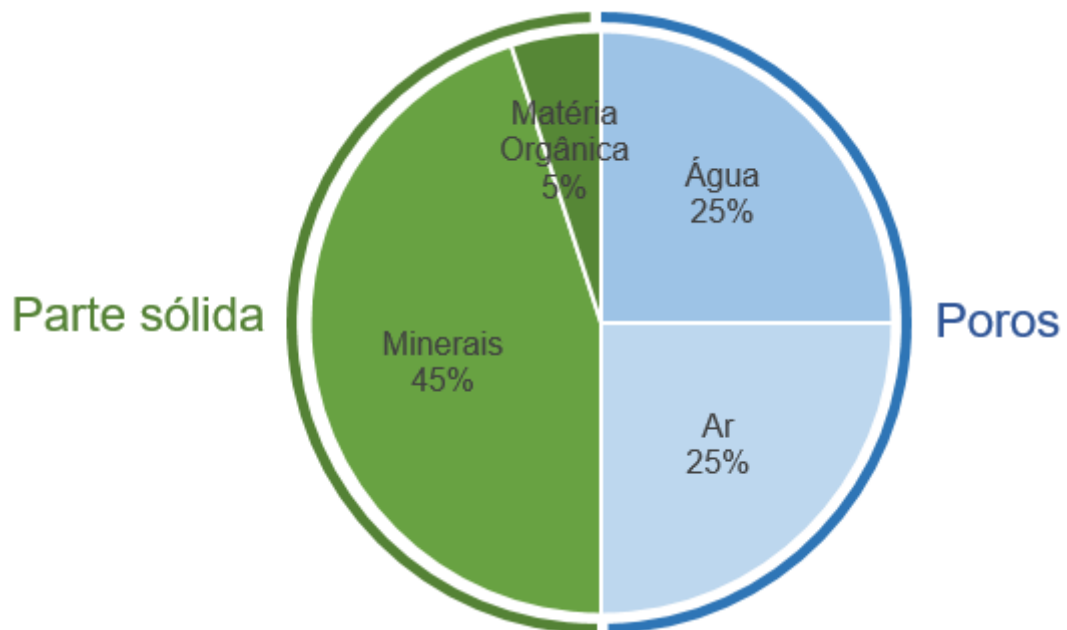
No capítulo 5 foi apresentado a conclusão a respeito do tema proposto.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SOLOS

O solo é um material mineral e/ ou orgânico inconsolidado, poroso, finamente granulado, com natureza e propriedades particulares, que será definida de acordo com a interação dos processos pedogenéticos, que seria todos os processos de desenvolvimento do solo com os fatores ambientais, podendo ser material de origem, organismos vivos, clima, tempo e relevo. Alguns fatores externos como o clima e a vegetação estão relacionados de forma direta com a determinação da formação do solo e pode-se destacar também a pluviosidade que contribui de forma expressiva na sua formação. De forma geral, os solos são constituídos de matéria orgânica, matéria mineral, ar do solo e água (POPP, 2017). A Figura 1 demonstra de forma clara a porcentagem dos elementos que formam o solo.

**Figura 1 - Porcentagem dos elementos que formam o solo**



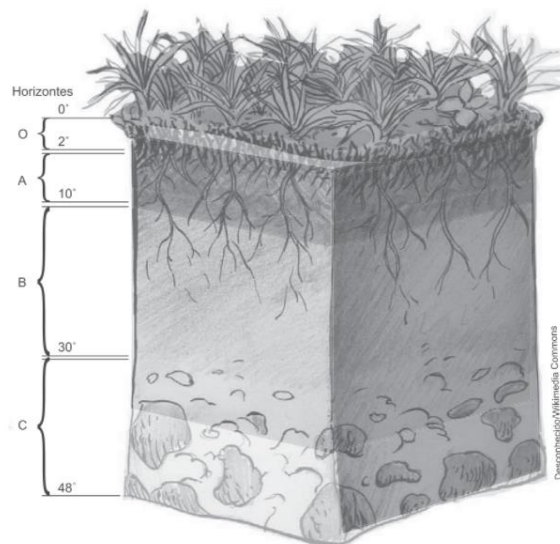
Fonte: GEOGRAFIA OPINATIVA, 2016.

Os solos são materiais que se originam do intemperismo ou meteorização das rochas, podendo ser por desintegração mecânica ou por decomposição química. De forma geral por desintegração mecânica, através de agentes, como temperatura, água, vento e vegetação, formam-se os pedregulhos e areias, podendo formar os siltes também, mas somente em condições especiais as argilas. E por decomposição química compreende-se que acontece pelo

processo em que há modificação química ou mineralógica das rochas de origem, sendo a água o principal agente, e os mais importantes mecanismos de ataque são a hidratação, a carbonatação, a oxidação e os efeitos químicos da vegetação. O último processo de decomposição é representado pelas argilas, mas na maior parte dos casos esses processos atuam simultaneamente em determinados locais e condições climáticas, um deles pode ter predominância sobre o outro (CAPUTO, 2015).

O perfil do solo pode ser dividido em 5 horizontes. Horizonte O é a camada superficial orgânica. Tem a coloração escura, formado por detritos vegetais e substâncias húmicas reunidas na superfície. Horizonte A é a camada superficial mineral confinante a camada O. Possui coloração escurecida, resultado da grande atividade biológica que ocorre nesse horizonte. Horizonte B é a camada mineral localizada abaixo do horizonte A apresentando uma menor quantidade de matéria orgânica e acúmulo de compostos de ferro e argilominerais. Horizonte C é a camada mineral, composta por material que foram pouco afetados por processos pedogenéticos, possuindo pouca expressão de propriedades, que poderiam identificar outro horizonte como principal. A Figura 2 representa os detalhes (SANTOS; DAIBERT, 2014).

**Figura 2 - Detalhamento dos horizontes que formam o solo**



Fonte: SANTOS & DAIBERT (2014).

## 2.2 INTEMPERISMO

Intemperismo é a quebra de materiais rochosos na superfície fazendo com que a rocha se torne suscetível a outros processos, que vão representar uma sequência. Inicialmente ocorrerá



a fratura da rocha, ou seja, ela vai sofrer um desgaste, em consequência uma massa maior será removida dela, conhecida como erosão, o material será transportado e depositado em novo local. Esse processo descrito anteriormente permanecerá ocorrendo de forma contínua e frequente, com o auxílio de um agente geomórfico, podendo ser o fluxo de água, vento, gelo em movimento e ondas, mas pode ser também que o único fator envolvido seja a gravidade e se assim for o caso, uma rocha que cai de um penhasco, ocorrerá uma instabilidade gravitacional (PETERSEN; SACK; GABLER, 2015).

Christopherson, Birkeland e Gabler (2017) ressaltam que o intemperismo pode ser considerado um processo que irá decompor as rochas na superfície da Terra e um pouco abaixo também, ocorrerá a desintegração da rocha em partículas minerais ou dissolução em água, sendo que esse processo descrito anteriormente fará com que a rocha fique enfraquecida e também mais suscetível a força da gravidade. O esforço de congelamento nas rachaduras da superfície rochosa é considerado intemperismo físico e a dissolução de minerais em água é considerado intemperismo químico. A interação entre o intemperismo físico e o químico será considerada complexa.

O intemperismo fará com que ocorra a degradação e enfraquecimento das rochas, causados pelos fenômenos químicos, físicos e biológicos que provocarão a alteração das rochas e seus minerais, que também são conhecidos como metáfora. O intemperismo acontece nas rochas que estão na superfície da Terra, mas essa alteração ocorre sem o deslocamento do material. A erosão junto ao intemperismo tem um papel muito importante para a formação dos solos e também na transformação que ocorre constantemente no relevo terrestre, ou seja, não acontece apenas a função de destruição, mas também de transformação do solo (SANTOS; DAIBERT, 2014).

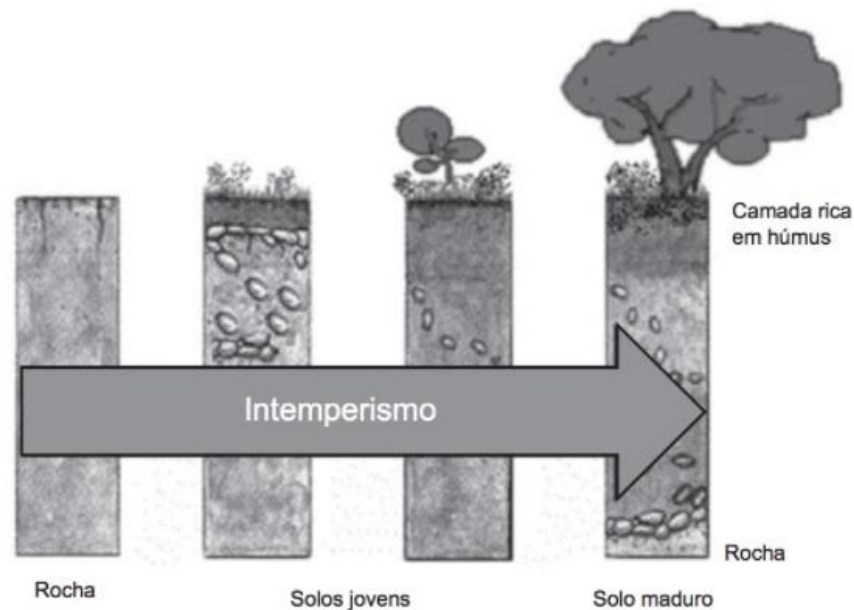
Segundo Christopherson, Birkeland e Gabler (2017) são 5 fatores que influenciam os processos de intemperismo:

- Composição e estrutura (juntas) da rocha: se o substrato rochoso é duro ou macio, solúvel ou insolúvel, quebrado ou não e se os minerais forem diferentes o intemperismo ocorrerá em velocidade diferente também. As juntas são fraturas ou separações na rocha que ocorre sem deslocamento dos lados e aumentam a área de superfície da rocha exposta ao intemperismo físico e químico;
- Clima (precipitação e temperatura): os ambientes mais úmidos e tépidos agilizam os processos de intemperismo químico e as rochas se tornam mais

fortes ao intemperismo em clima seco. Os ambientes mais frios dispõem de ciclos de congelamento-degelo que causam intemperismo físico;

- Orientação da escarpa: A exposição à luz do Sol, vento e precipitação será controlada de acordo com a orientação da escarpa para norte, sul, leste ou oeste. Sendo que as escarpas mais frias, úmidas e vegetadas serão as voltadas para o lado oposto dos raios solares;
- Água subsuperficial: A movimentação da água dentro do solo e das estruturas rochosas e a posição do lençol freático influenciam o intemperismo;
- Vegetação: Contribui para o intemperismo químico, pois produz ácidos orgânicos a partir da decomposição parcial de matéria orgânica. A pressão que as raízes das plantas exercem ao entrarem nas fendas e quebrarem mecanicamente a rocha, faz com que uma área maior fique exposta para que ocorra outros processos de intemperismo, como ilustrado na Figura 3.

**Figura 3 - Processo de intemperismo**



Fonte: SANTOS & DAIBERT (2014).

### 2.2.1 Agentes químicos

A partir da ação das reações químicas ocorre a decomposição dos minerais das rochas e um dos fatores que influenciam muito é a ação da água da chuva, pois nela contém alguns componentes, como CO<sub>2</sub>, que ocasiona no esfacelamento em blocos, atacados pelos minerais

das rochas que ficam na superfície, tudo isso acontece pelo crescimento do volume da água ao se formar o gelo e faz com que ocorra a decomposição dando início a novos minerais. O intemperismo químico atua mudando a composição química da rocha e dos minerais e tem maior importância que o intemperismo físico, pois ele possibilita ao solo a habilidade de nutrir os vegetais (SANTOS; DAIBERT, 2014).

Christopherson, Birkeland e Gabler (2017) ressaltam que os processos de intemperismo químico estão relacionados à decomposição química que faz com que aconteça o aumento da temperatura e da precipitação agindo sempre com a presença de água dos minerais constituintes de uma rocha. Entende-se que todo mineral forma a rocha é sensível a algum nível de intemperismo químico, mas isso varia muito. O desgaste de fachadas de catedrais e a corrosão de lápides por precipitação ácidas é um exemplo de intemperismo químico, a queima do carvão contribui muito para que aconteça chuvas ácidas que prejudicam muito os prédios. O intemperismo químico que suaviza e arredonda cantos e arestas é conhecido como intemperismo esferoidal.

No intemperismo químico quando a água que absorveu o CO<sub>2</sub> da atmosfera entra em contato com a matéria orgânica do solo faz com que a acidez aumente, como podemos ver na Figura 4, isso ajuda a dissolução de carbonatos e outras substâncias e no Quadro 1 é exposto de forma sucinta as reações que acontecem no intemperismo químico (STEIN, 2017).

**Quadro 1 - Reações do intemperismo químico**

<b>Reações do Intemperismo Químico</b>	<b>Causas</b>
Hidratação	Quando a água entra em contato com a estrutura mineral modificando-a
Dissolução	Quando a água causa a solubilização completa do mineral
Hidrólise	Quando as rochas constituídas de silicato entram em contato com a água
Redução	Processo que resulta em solos com coloração azulada, cinzenta e esverdeada
Oxidação	Processo que resulta em solos com coloração avermelhada e amarelada

Fonte: STEIN, 2017 (adaptado).

**Figura 4 - Intemperismo químico na rocha**



Fonte: POPP (2017).

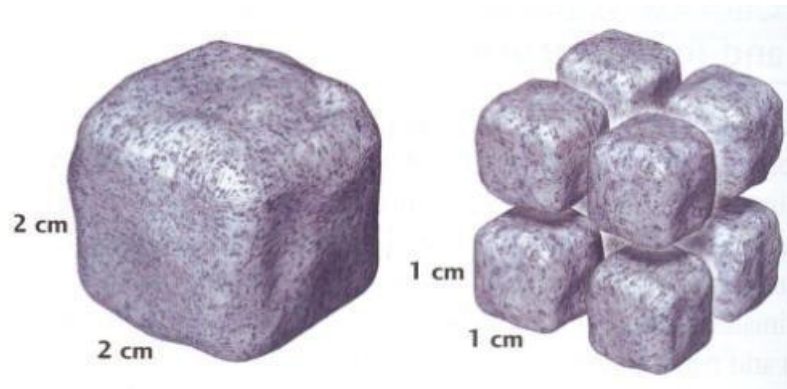
### **2.2.2 Agentes físicos**

O intemperismo, devido aos agentes físicos, ocorre principalmente com a variação de temperatura nas rochas; por isso, é mais comum em climas secos, sejam eles quentes ou frios. A rocha se expande quando aquecida e se contrai quando resfriada. Dessa forma, as rochas tendem a se fragmentar pelo enfraquecimento de suas estruturas. Além de tudo, os minerais que compõem as rochas tem diferentes coeficientes de dilatação, ampliando assim a fragmentação das rochas. A cor e a granulometria da rocha influenciam na sua fragmentação. Assim, rochas mais escuras tendem a aquecer com mais facilidade, e as rochas mais grosseiras tendem a se desintegrar mais facilmente do que as de grãos pequenos. Logo, o intemperismo físico, ou desintegração, envolve processos de subdivisão de massa rochosa em unidades menores por meios mecânicos. É a modificação de forma e do tamanho das massas rochosas e dos minerais, sem haver alteração na respectiva composição química (SANTOS; DAIBERT, 2014).

Christopherson, Birkeland e Gabler (2017) o intemperismo físico, ou como também é conhecido intemperismo mecânico é resultado da desagregação da rocha, mas sem transformações químicas. O intemperismo físico faz com que a rocha se quebre em pedaços menores, como mostra a Figura 5, fazendo com que se forme mais áreas de superfície, facilitando a atuação de outros tipos de intemperismo. A ocorrência do intemperismo físico se dá principalmente pela ação de congelamento, desenvolvimento de cristais de sal e esfoliação. É chamado de acunhamento o processo de congelamento e degelo, ou seja, expansão e contração, fazendo com que ocorra uma grande força mecânica que pode exceder a força de

tensão da rocha. O gelo faz pequenas aberturas nas juntas e fraturas presentes, de forma progressiva vai aumentando, rachando ou dividindo as rochas em tamanhos variados.

**Figura 5 - Quebra da rocha**



Fonte: BRASIL ESCOLA (2019).

No intemperismo físico as variações de temperatura têm grande influência na separação da rocha, como observado na Figura 6, pois irão dilatar e contrair e com isso produzirão fissuras que se tornarão mais largas com o tempo. Mas cada mineral possui coeficientes de dilatação diferentes, ou seja, cada um responderá de maneira diferente as variações de temperatura. As mudanças de temperatura são características em ambiente desértico, em que os dias são muito quentes e as noites muito frias. É importante ressaltar que as alterações na umidade também contribuem para o aumento de fissuras. O intemperismo físico será mais intenso onde a água tiver infiltrado em fraturas da rocha e essa sofrer congelamento, pois a água contém sulfatos, carbonatos e cloretos que precipitarão e provocarão um grande aumento no volume, fazendo com que a rocha se fragmente pela grande pressão sofrida (STEIN, 2017).

**Figura 6 - Aumento de fissuras**



Fonte: POPP (2017).

### 2.2.3 Agentes biológicos

O intemperismo biológico é feito pelas bactérias, que fazem com que ocorra a decomposição de materiais orgânicos, ou com a atuação de organismos vivos também. Se quisermos analisar de forma mais aprofundada, chamaremos de químico-biológico ou de físico-biológico. O trabalho de um formigueiro em uma rocha sedimentar é considerado uma ação físico-biológico, e a ação de decomposição de um elemento orgânico atuando sobre a rocha por meio do ácido húmico é considerada uma ação químico-biológico (SANTOS; DAIBERT, 2014).

O intemperismo biológico produz solos mais férteis, pois acontece pela ação de bactérias, como ilustra a Figura 7, que auxiliam na decomposição de material orgânico. Nesse processo pode-se incluir as raízes das árvores, porque ajudam no aumento da dilatação nas rochas. (STEIN, 2017)

**Figura 7 - Intemperismo causado por bactérias**



Fonte: POPP (2017).

## 2.3 TALUDES

Pode ser compreendido como uma superfície inclinada, se for formada de maneira natural será pela ação das ações geológicas e das intempéries que são a chuva, vento dentre outros. E também podem ser feitos de forma artificial que seria pela ação do homem (CAPUTO, 2015).

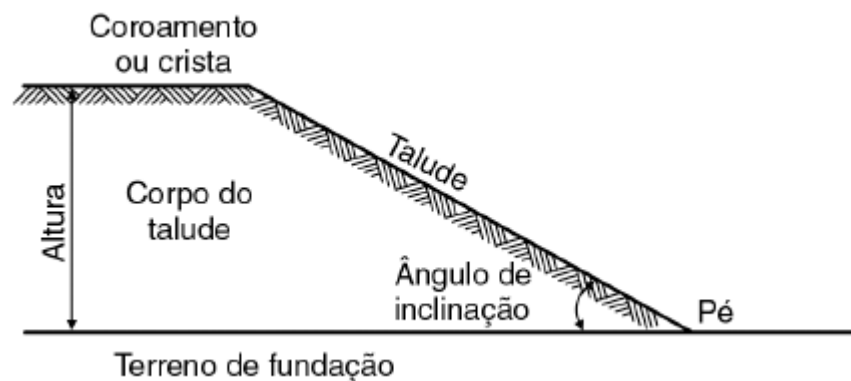
Nas rupturas de taludes, podemos destacar os deslizamentos rotacionais, sendo que a configuração da superfície de ruptura na seção pode ser de uma curva não circular ou de um

arco circular. Geralmente, os deslizamentos circulares estão relacionados com as condições homogêneas e isotrópicas do solo, em contrapartida os não circulares estão associados a condições não homogêneas. Onde a configuração da superfície de ruptura é motivada pela existência de um estrato adjacente, com a resistência consideravelmente diferente ocorrerá os deslizamentos translacionais e compostos (KNAPPETT; CRAIG, 2014).

Um problema que ocorre frequentemente em engenharia é relacionado à prevenção de rupturas de taludes durante e após a construção de obras de terra, tais como aterros, barragens de terra ou cortes em rodovias e ferrovias etc. Muitas vezes também é necessário estabilizar um talude natural, intacto, antes ou após a ocorrência de instabilidade. Em geral, o objetivo é fornecer uma margem adequada de segurança com relação à ruptura por cisalhamento, em qualquer parte da massa de solo (BODÓ; JONES, 2017).

Os taludes construídos pela ação humana resultarão em cortes nas encostas, de escavações ou de lançamento de aterros, como pode ser observado na Figura 8. Os cortes devem ser executados com altura e inclinação adequadas, para garantir a estabilidade da obra. O projeto depende das propriedades geomecânicas dos materiais e das condições de fluxo. Estabilidade de taludes naturais promove um desequilíbrio ambiental que resulta na movimentação das camadas mais superficiais (GERSCOVICH, 2012).

**Figura 8 - Partes do talude**



Fonte: CAPUTO (2015).

### 2.3.1 Tipos de movimento de solo

De forma geral é visto com mais frequência com o nome de escorregamentos, são todos os movimentos que envolvam materiais terrosos e/ou rochosos que por alguma causa tenha sofrido deslocamento devido à gravidade. Mas não se enquadram nesse processo os

transportes sedimentares por partículas, pois tem como agentes causadores a água, o vento dentre outros (POPP, 2017).

#### 2.3.1.1 Escoamentos

O escoamento acontece de maneira rápida, de forma fluido-viscoso, chamado corrida, podendo ser corrida de lama ou de detritos. O escoamento que acontece de maneira lenta é chamado de rastejo ou reptação, dessa forma, normalmente a porção localizada na parte superior dos terrenos se move lentamente em direção às encostas que estão abaixo, as causas podem ser por ação da infiltração de águas, lixiviação pela infiltração de águas, pisoteio de animais e pelo peso do material e da água contida. As áreas que aconteceram o rastejo apresentarão aspectos diferentes, como inclinação de postes, árvores e cercas, sulcos no solo, forma arredondada ou abaulada de perfil dos terrenos e modificação do alinhamento de cercas e árvores. O movimento de escoamento acontece com velocidade entre milímetros a metros por ano (POPP, 2017).

Escoamento é um movimento fundamentalmente contínuo, como é mostrado na Figura 9, no qual as superfícies de cisalhamento terão uma vida curta, espaço menor entre si e não serão preservadas. É importante ressaltar que os elementos de velocidade na massa que se desloca em um escoamento serão parecidos às de um líquido viscoso. Acontece com periodicidade, uma mudança constante de escorregamentos para escoamentos, mas dependendo da quantidade de água presente, da mobilidade e também da evolução do movimento (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

**Figura 9 - Solo com escoamento**



Fonte: TODO ESTUDO, 2014.



### 2.3.1.2 Escorregamentos

Christopherson e Birkeland (2017) afirmam que o escorregamento é caracterizado pelo deslizamento de blocos de rochas ou o deslocamento por resvalamento. Para a separação dos blocos do maciço rochoso e seu deslocamento em direção à pendente existem 5 condições fundamentais para que aconteça e elas são:

- Vai acontecer o enfraquecimento das forças de resistência do maciço rochoso no decorrer do processo de meteorização.
- Durante a diminuição do nível do rio ocorrerá o aumento do gradiente hidráulico e conseqüentemente da velocidade de infiltração das águas subterrâneas, podendo ser ao contrário também, quando o nível do lençol freático aumenta.
- Quando ocorre o corte da base de um pendente, que poderá acontecer por muitos motivos, como por exemplo as correntes marítimas, a erosão fluvial, as ondas ou também pode acontecer pela ação do homem. Todos esses casos sucedem na redução do equilíbrio das condições do talude, pois este perderá o apoio na base.
- O excesso de carga sobre o talude que acontece quando superfícies são desmatadas e também por acumulação pluvial.

Um escorregamento é um movimento de uma massa de solo ou rocha, que ocorre sobre superfícies em ruptura ou sobre zonas relativamente finas com intensa deformação por cisalhamento, conforme a Figura 10. O movimento não ocorre, inicialmente, de maneira simultânea, por toda área que vem a se tornar a superfície da ruptura, o volume de material deslocado aumenta a partir de uma área no local da ruptura (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

**Figura 10 - Solo com escorregamento**

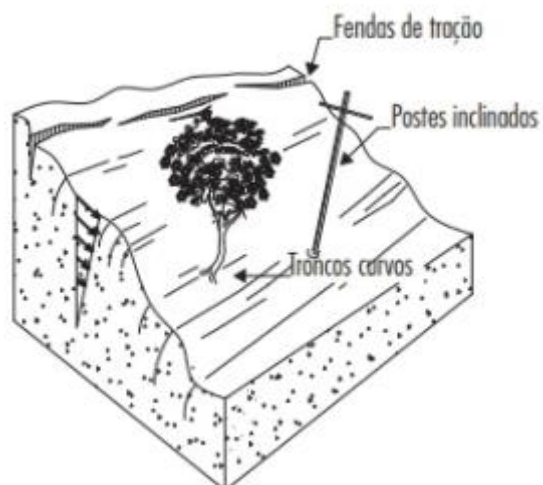


Fonte: POPP (2015).

### 2.3.1.3 Rastejo

São movimentos que ocorrem com velocidade lenta podendo ser de solo ou rocha em encostas naturais como mostra a Figura 11 ou artificiais. Geralmente ocorre em locais com solos residuais e com clima tropical úmido, mas também pode ocorrer em lugares de clima temperado a frio (QUEIROZ, 2016).

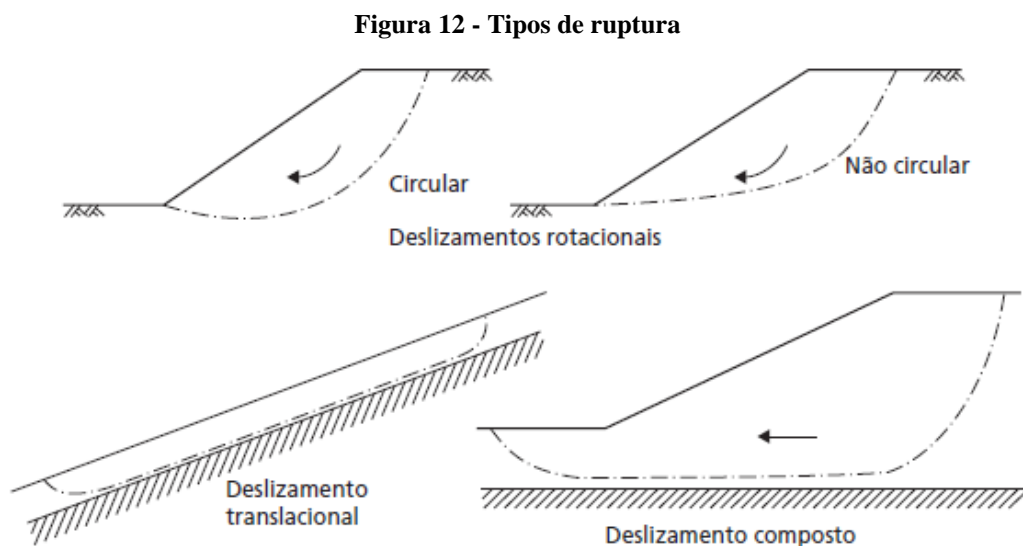
**Figura 11 - Rastejo em encosta**



Fonte: QUEIROZ (2016).

### 2.3.2 Critérios de ruptura

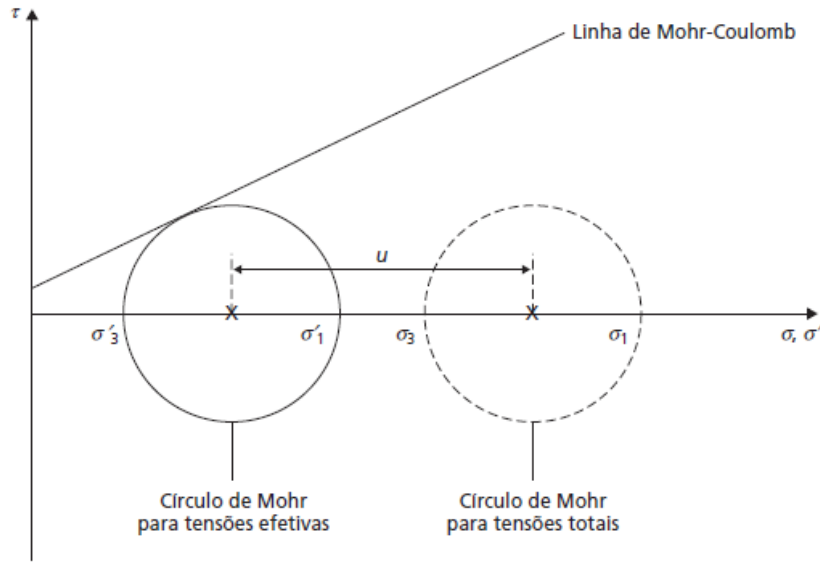
Pode-se destacar as rupturas ocasionadas por deslizamentos rotacionais, que são divididas em circular e não circular e os deslizamentos translacionais e os compostos. Nas rupturas rotacionais a superfície pode ter o formato de um arco circular ou de uma curva não circular, sendo que as condições homogêneas e isotrópicas do solo estão ligadas aos deslizamentos circulares e os solos não homogêneos estão ligados aos deslizamentos não circulares. A Figura 12 ilustra com clareza as rupturas expostas anteriormente. No local onde o formato da superfície de ruptura sofre com a presença de um estrato adjacente com a resistência consideravelmente diferente ocorrerá os deslizamentos translacionais e compostos. Na maior parte dos casos, a estabilidade do talude pode ser classificada como um problema bidimensional (KNAPPETT; CRAIG, 2014).



Fonte: KNAPPETT; CRAIG (2014).

O solo tem boa resistência à compressão, mas baixa resistência à tração e cisalhamento. Quando o solo sofre ruptura quer dizer que aconteceu deslocamentos entre partículas concebido por tensões de cisalhamento além do limite de resistência ao cisalhamento do solo, ou seja, os planos de ruptura acontecerão onde as tensões de cisalhamento superarem a resistência de cisalhamento. Os solos é um meio descontínuo pois, em sua composição possui sólidos, líquidos e gases. Será utilizado o Círculo de Mohr para demonstrar graficamente o estado de tensão total e efetiva, como mostra a Figura 13, no entorno de um ponto do subsolo e essas tensões poderão colaborar para a ruptura do solo (FLORIANO; GLEBER, 2016).

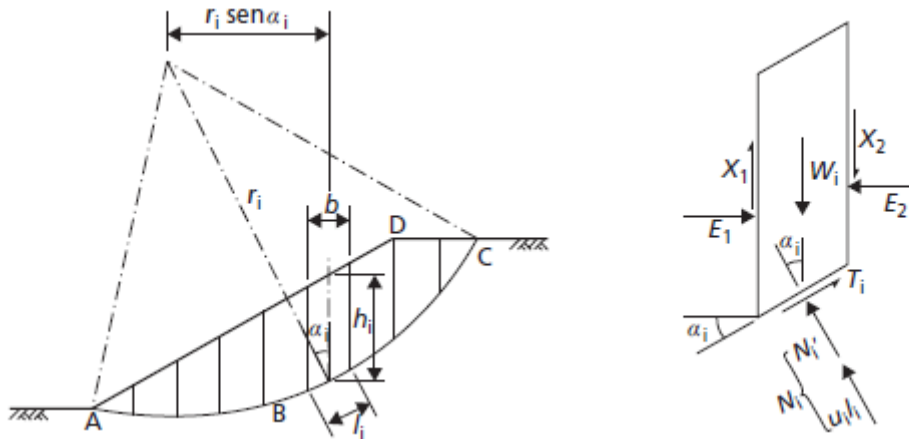
Figura 13 - Círculo de Mohr



Fonte: KNAPPETT; CRAIG (2014).

No método das fatias o solo será dividido em fatias verticais, também chamadas de lamelas, sendo que a largura delas não precisa ser exatamente igual. Como observado na Figura 14, o ponto AC é um arco de círculo que representa a superfície arbitrada de ruptura. Para encontrar o valor do fator de segurança mínimo será necessário mudar o centro de círculo de ruptura (DAS; SOBRAN, 2020).

Figura 14 - Análise de estabilidade pelo método das fatias



Fonte: KNAPPETT; CRAIG (2014).

O Método de Bishop (1955) é muito conhecido quando se fala em método comum das fatias. Nesse método, o efeito das forças nas faces de cada fatia é levado em conta só até certo ponto. Deve-se adotar o procedimento de tentativa e erro, investigando várias superfícies de

ruptura para encontrar a superfície crítica que forneça o fator mínimo de segurança (FLORIANO; GLEBER, 2016).

Outro método bem utilizado é o de Ordinary (1927), que também divide o talude em fatias, mas despreza as forças normais e cisalhantes das laterais das fatias e de acordo com Bishop essa ação irá induzir um erro para mais (TONUS, 2009).

No método original de Janbu (1955) é baseado em equilíbrio de forças e de momentos e se baseia em equações diferenciais, mas a sua versão simplificada despreza as suas componentes verticais e para satisfazer parcialmente o equilíbrio dos momentos é utilizado um fator de correção empírico (FERREIRA, 2012).

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 LOCAL E GEOMETRIA DO TALUDE

O início da formação de Abadiânia se deu por habitantes da cidade de Corumbá de Goiás, que ficaram atraídos pela fertilidade das terras para agricultura e pastoreio. O povoado foi fundado em 1874 e em 1895 o terreno foi doado para a criação do patrimônio e inicialmente foi chamado de Posse e teve como principal motivo para o crescimento a realização de rezas sob o gerenciamento de Dona Emerenciana, que hoje em dia se tornou uma grande romaria em louvor a Nossa Senhora da Abadia. Contudo, em 1963, a sede da cidade mudou para as margens da BR-153, por ser considerado uma localização melhor e passou a se chamar Abadiânia e a antiga sede se tornou distrito e passou a se chamar Posse D'Abadia (IBGE, 2021).

A população de Abadiânia é estimada em 20.873 habitantes, com extensão territorial de 1.045.127 km<sup>2</sup>, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0.689 e densidade demográfica de 15,08 hab/km<sup>2</sup>. Um dos principais pontos turísticos é o lago artificial formado pela usina hidrelétrica de Corumbá IV, que gera energia para o Distrito. Faz divisa com as cidades de Anápolis, Alexânia e Gameleira de Goiás e está a 90 km de distância de Goiânia, a capital do estado de Goiás, via BR-060. É um trecho que está localizado no município de Abadiânia como pode-se ver na Figura 15, está no leste goiano e faz parte da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno.

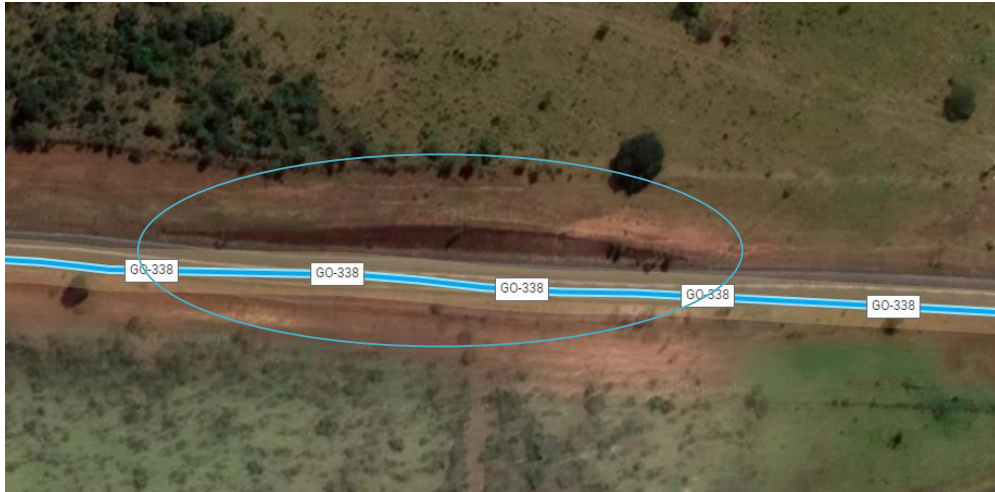
**Figura 15 - Localização de Abadiânia**



Fonte: GOOGLE MAPS (2021).

O local onde foi feito o estudo fica localizado na GO-338, no sentido Pirenópolis/Abadiânia. O talude analisado está do lado direito, como mostrado na Figura 16, no km 17. Essa rodovia é de extrema importância para a região, já que dá acesso a destinos turísticos nas redondezas e é utilizada no escoamento de grãos, cargas vivas e outros bens de consumo, influenciando na fonte de renda da Abadiânia.

**Figura 16 - Localização do talude na GO-338**



Fonte: GOOGLE MAPS (2021).

No ano de 2021 foi realizado obras de recapeamento na GO-338, no trecho entre Pirenópolis e Posse D'Abadia, com a autorização para o início das obras para o dia 10 de fevereiro. A Figura 17 apresenta a rodovia federal GO-338 já recapeada e o talude de estudo, a direita.

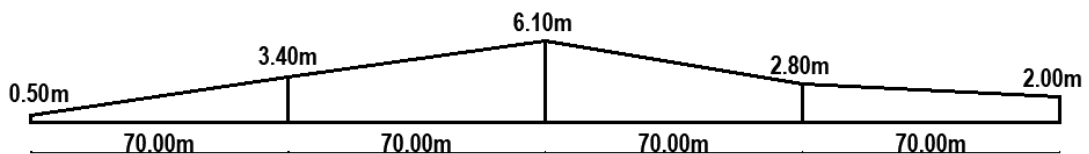
**Figura 17 - Rodovia com o talude a direita**



Fonte: GOOGLE MAPS (2021).

O talude escolhido para análise de estabilidade tem 280 metros de comprimento, com alturas variáveis ao longo da extensão, onde a altura máxima é de 6,10 m, localizada no centro do talude. Nas extremidades as alturas são de 0,5 m e 2,0 m, respectivamente no lado direito e no lado esquerdo, conforme a Figura 18.

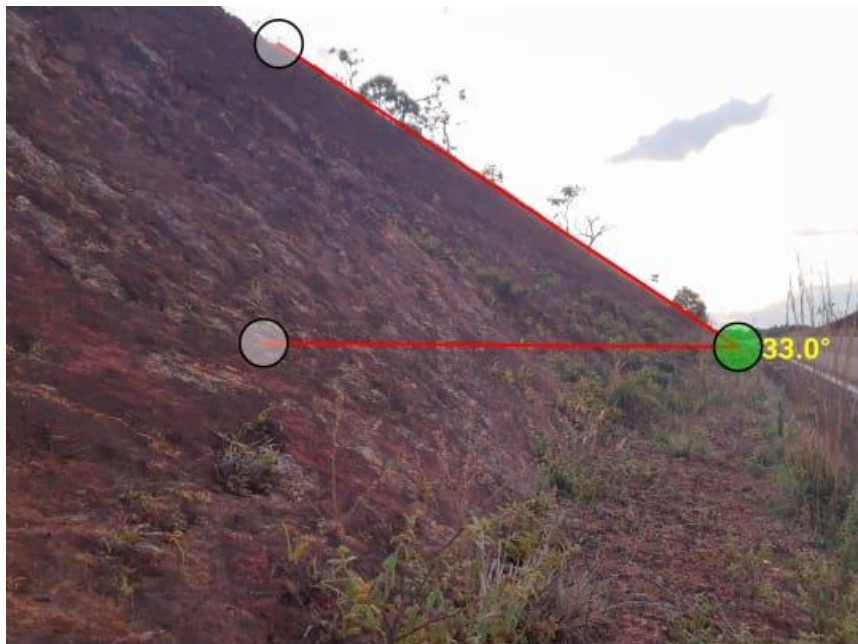
**Figura 18 - Seção longitudinal do talude**



Fonte: AUTORAL (2021).

Na seção transversal do talude foi realizada a medição da inclinação média, com o auxílio de um aplicativo para android chamado *Angle Meter* (2021), que indicou inclinação média ao longo das seções transversais de  $33^\circ$ , conforme a Figura 19. Portanto, percebe-se que o talude construído na relação de 1V:1,5H.

**Figura 19 - Inclinação média do talude na seção transversal**



Fonte: AUTORAL (2021).



### 3.2 SOLO DO TALUDE

A amostra analisada foi retirada no centro do talude com auxílio de enxada e pá, coletando cerca de 1 kg, conforme a Figura 20. O método utilizado para a identificação do solo foi a análise tátil visual, buscando-se avaliar a cor, o tato, a plasticidade, a resistência a seca e a impregnação, para inferir o tipo de solo do talude.

**Figura 20 - Solo extraído do talude**



Fonte: AUTORAL (2021).

Ao se observar a coloração do solo identificou-se uma predominância da cor vermelha com a presença de alguns torrões amarelados e presença de partículas de brilho. O solo passado em uma folha branca mostrou alta pigmentação (Figura 21 - a), sugerindo a presença de óxidos de ferro e mica.

Na verificação da textura do solo, por meio do tato, colocou-se um pouco de solo úmido entre o dedo indicador e polegar, friccionando-os e foi percebido a ausência de aspereza e uma certa sedosidade, indicando a ausência de grãos de areia em sua composição.

Ao homogeneizar o solo com água e moldar uma esfera de aproximadamente 2 cm foi percebido que o solo se uniformizou e moldou com grande facilidade. A esfera foi deixada secando por aproximadamente 24 horas e depois de totalmente seca foi verificado a resistência a seco, pressionando a esfera com o dedo indicador e o polegar, que sofreu uma leve resistência inicialmente e se desfez em pequenos torrões (Figura 21 - b).

Para avaliar a plasticidade o solo foi homogeneizado e moldado uma esfera de aproximadamente 3 cm de diâmetro e deixada cair de uma altura de 1 metro e foi observado que a esfera se desagregou pouco, ficando apenas algumas rachaduras (Figura 21 - c).

Colocando um pouco de pasta úmida saturada na palma de uma das mãos e a outra batendo no dorso foi verificado que houve o surgimento lento de uma lâmina bem fina de água na superfície.

Por último foi feita a análise para saber a impregnação do solo nas mãos. Ao passar solo úmido nas mãos e depois coloca-las em baixo da torneira foi percebido que o solo não saiu da mão com facilidade (Figura 21 - d).

Portanto, de acordo com a análise pode ser entendido que o solo se trata de uma argila pouco siltosa.

**Figura 21 - Análise tátil visual: (a) coloração (b) resistência a seco (c) plasticidade (d) impregnação**



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: AUTORAL (2021).

### 3.3 DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

O GeoStudio (2012), como indicado na Figura 22, é um software utilizado para resolver diversos problemas de geoenharia e ciências da terra e também é o nome dado a empresa. O pacote inclui modelagem de estabilidade de taludes, deformação do solo e transferência de calor e massa em solo e rocha. Dentre as análises possíveis de se realizar com esse software, foi utilizado no trabalho o SLOPE/W, que é aplicado para análise de estabilidade de solos e taludes rochosos.

A sede da empresa fica localizada em Calgary, na província de Alberta, no Canadá e está, desde 1977, contribuindo com grandes empresas, agências governamentais e universidades.

A versão utilizada no trabalho é a 2012 para estudantes e será utilizado, para analisar a estabilidade do talude neste trabalho.

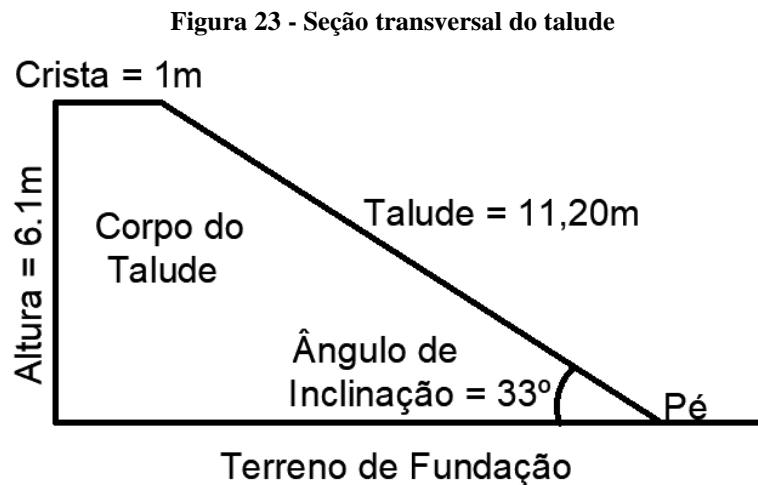
**Figura 22 - Software GeoStudio**



Fonte: SLIDESHARE (2017).

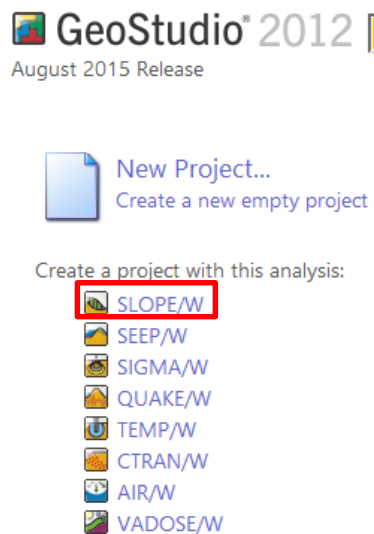
## 4 RESULTADOS

Será apresentado os resultados das análises bidimensionais da seção central do talude mostrado na Figura 18 utilizando o software GeoSlope (2012) e os seguintes métodos das fatias: Ordinary (1927), Bishop (1955), Janbu (1955). A Figura 23 exhibe a geometria adotada nessa análise: altura do talude de 6,1m, crista com 1 m de largura e inclinação de 33°.



Ao abrir o software GeoStudio (2012) foi escolhido o tipo de análise, sendo que, neste trabalho foi utilizado o SLOPE/W, como mostra a figura 24.

**Figura 24 - Análise SLOPE/W**

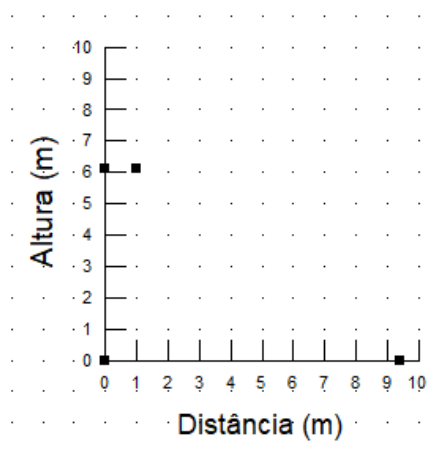


A inserção da geometria do talude no GeoSlope (2012) é realizada por meio da entrada das coordenadas da geometria. Para isso, acessou a aba *KeyIn* e em seguida em *Points* para lançar as coordenadas no software (Figura 25 - a) como representação dos pontos pode ser ilustrado pela Figura 25 - b). A ligação desses pontos em uma região foi realizada na aba *Draw* e em sequência no botão *Regions* (Figura 25 - c).

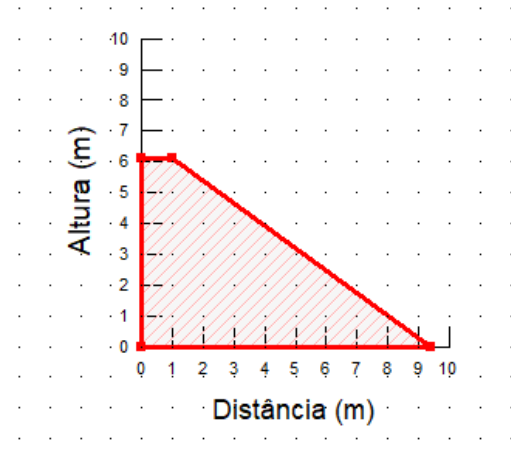
Figura 25 - a) inserção das coordenadas, b) pontos do talude, c) marcação da região

ID	X (m)	Y (m)	Label
1	0	0	Point+Number
2	0	6,1	Point+Number
3	1	6,1	Point+Number
4	9,4	0	Point+Number
5	---	---	Point+Number

(a)



(b)



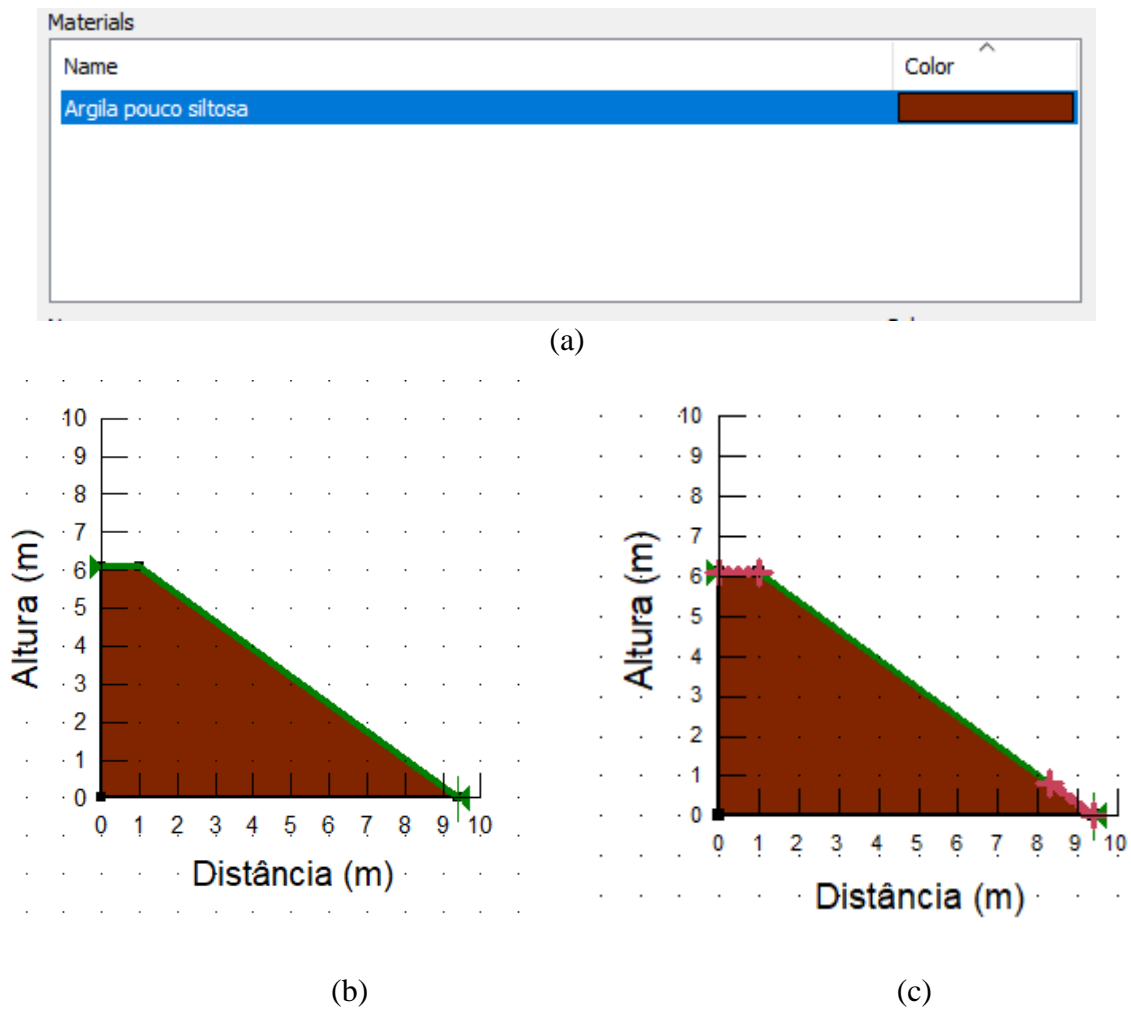
(c)

Fonte: GEOSLOPE (2021).

Depois foi adicionado o tipo de solo indo novamente na aba *KeyIn*, e na sequência clicando na opção *Materials*, em *add* para adicionar o material e em *set* para colocar a cor (Figura 26 - a), depois em *Material Model* e foi selecionado a opção *Mohr-Coulomb* e por fim foi adicionado o peso específico foi de 18 kN/m<sup>3</sup> para todas as análises e as variações de ângulo de atrito e coesão adicionadas no talude (Figura 26 - b).

Após tudo isso foi necessário selecionar a superfície para análise, então, o procedimento se deu em ir na aba *KeyIn* e depois em *slip surface* e *entry and exit* e foram selecionados o topo e o pé do talude manualmente, como mostra a (Figura 26 - c).

Figura 26 - a) composição do solo, b) solo no talude, c) topo e pé selecionados



Fonte: GEOSLOPE (2021).

A seguir foram realizadas 147 possibilidades de análise de ruptura, variando-se o valor de atrito, a coesão e o método das fatias. A variação do ângulo de atrito foi de 5°, partindo-se do valor inicial de 0° até o valor máximo de 30°. Já a variação adotada para a coesão foi de 10 kPa, iniciando com a coesão mínima de 0 kPa até a coesão máxima de 60 kPa, como mostra a Tabela 1. Os métodos de análise de estabilidade bidimensional de talude considerados foram os de Bishop (1955), Ordinário (1927) e Janbu (1955). O peso específico assumido foi de 18 kN/ m<sup>3</sup>, baseado nos valores típicos propostos por Guerrin e Lavour (2003) para uma argila plástica.

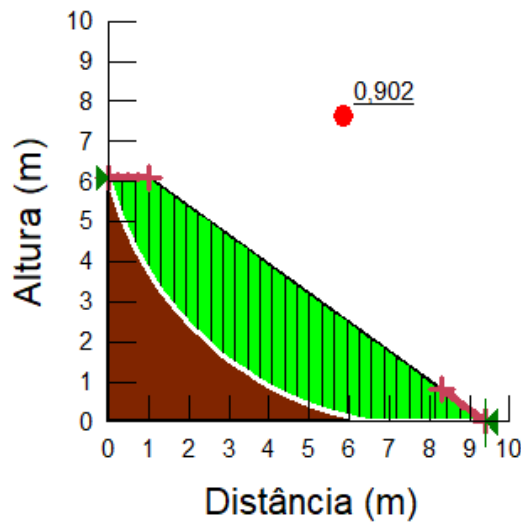
**Tabela 1 - Análise do solo**

<b>Análise tátil visual</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Ângulo de atrito (°)</b>	<b>Coesão (kPa)</b>
Argila pouco siltosa	18 kN/m <sup>3</sup>	0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30	0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60

Fonte: PRÓPRIA DO AUTOR (2021).

A seguir é apresentado os resultados das análises feitas no software GeoStudio para se obter o fator de segurança utilizando 3 métodos (Ordinary, Bishop e Janbu), como mostra a Tabela 2. Pode-se constatar que, com o método de Ordinary, quanto maior o ângulo de atrito e maior a coesão, maior será o fator de segurança, mas com os métodos tanto de Bishop, quanto de Janbu, no ângulo de atrito de 0°, a partir da coesão de 20 kPa, os resultados obtidos são maiores do que com o ângulo de atrito de 5°. Todos os valores com ângulo de atrito de 0° e 5° e com a coesão igual ou inferior a 10 kPa, o fator de segurança ficou abaixo de 1, ou seja, irá ocorrer ruptura. Bishop apresentou os maiores fatores de segurança com o ângulo de atrito 0° e Janbu apresentou os maiores fatores de segurança no ângulo de atrito de 5°, a partir da coesão de 20 kPa. A Figura 27 está mostrando na área em verde onde ocorre a ruptura.

Figura 27 - Talude que ocorrerá ruptura



Fonte: GEOSLOPE (2021).

Tabela 2 - Ângulo de atrito de 0° e 5°

Φ Coesão kPa	0°			5°		
	Fator de segurança			Fator de segurança		
	Ordinary	Bishop	Janbu	Ordinary	Bishop	Janbu
0				0,121	0,121	0,121
10	0,722	0,867	0,862	0,891	0,902	0,896
20	1,446	1,734	1,725	1,621	1,636	1,66
30	2,169	2,602	2,588	2,344	2,372	2,428
40	2,891	3,469	3,45	3,067	3,108	3,197
50	3,614	4,336	4,312	3,79	3,845	3,966
60	4,337	5,203	5,175	4,513	4,582	4,735

Fonte: AUTORAL (2021).

Na sequência, é possível notar, na Tabela 3, que os resultados do ângulo de atrito de 15° são maiores que os resultados do ângulo de atrito de 10°, discordando de alguns dos dados obtidos da tabela anterior, quando o ângulo de atrito era de 0°. Os resultados obtidos com a coesão 0 kPa, tanto com o ângulo de atrito de 10°, quanto para o de 15°, estão abaixo de 1, ou seja, ocorrerá ruptura. Com o ângulo de atrito de 10°, Janbu apresenta os maiores valores que Bishop, a partir da coesão de 30 kPa e com o ângulo de atrito de 15°, Janbu apresenta maiores valores a partir da coesão de 40 kPa se comparado com Bishop também. Com o ângulo de atrito de 10° e coesão de até 10 kPa Ordinary apresenta um fator de segurança maior que Janbu e com o ângulo de atrito de 15°, Janbu terá os maiores valores, a partir da coesão de 30 kPa.



Tabela 3 - Ângulo de atrito 10° e 15°

Φ Coesão kPa	10°			15°		
	Fator de segurança			Fator de segurança		
	Ordinary	Bishop	Janbu	Ordinary	Bishop	Janbu
0	0,243	0,244	0,243	0,369	0,37	0,369
10	1,047	1,077	1,037	1,208	1,26	1,19
20	1,784	1,807	1,793	1,945	1,987	1,937
30	2,521	2,541	2,555	2,682	2,717	2,695
40	3,245	3,275	3,321	3,419	3,45	3,457
50	3,968	4,011	4,089	4,152	4,185	4,222
60	4,691	4,747	4,858	4,875	4,919	4,988

Fonte: AUTORAL (2021).

Ao observar a Tabela 4 é possível constatar que com a coesão de 0 kPa e ângulo de atrito tanto de 20°, quanto de 25°, estão abaixo de 1 em todos os métodos adotados, ou seja, ocorrerá ruptura. Com o fator de atrito de 20°, os fatores de segurança de Janbu são maiores que os de Ordinary, a partir da coesão de 40 kPa e Bishop é maior que Janbu em todas as coesões, a partir de 10 kPa, pois com a coesão de 0 kPa, os resultados deram iguais. Para o ângulo de atrito de 25°, Janbu tem os fatores de segurança maiores que Ordinary, a partir da coesão de 50 kPa e Bishop tem os valores maiores em todas as coesões.

Tabela 4 - Ângulo de atrito de 20° e 25°

Φ Coesão kPa	20°			25°		
	Fator de segurança			Fator de segurança		
	Ordinary	Bishop	Janbu	Ordinary	Bishop	Janbu
0	0,502	0,502	0,502	0,643	0,644	0,643
10	1,377	1,454	1,353	1,556	1,66	1,529
20	2,114	2,177	2,093	2,294	2,381	2,263
30	2,851	2,905	2,845	3,031	3,107	3,01
40	3,588	3,636	3,604	3,768	3,837	3,764
50	4,325	4,369	4,365	4,505	4,568	4,521
60	5,062	5,103	5,128	5,242	5,3	5,282

Fonte: AUTORAL (2021).

Analisando a Tabela 5, o maior fator de segurança foi de Bishop, com coesão de 60 kPa. Os resultados dos fatores de segurança, com a coesão de 0 kPa, também ficaram abaixo de 1, ocorrendo assim ruptura. Janbu tem o fator de segurança maior que Ordinary apenas com a coesão de 60 kPa e Bishop tem todos os valores maiores que os outros métodos analisados.

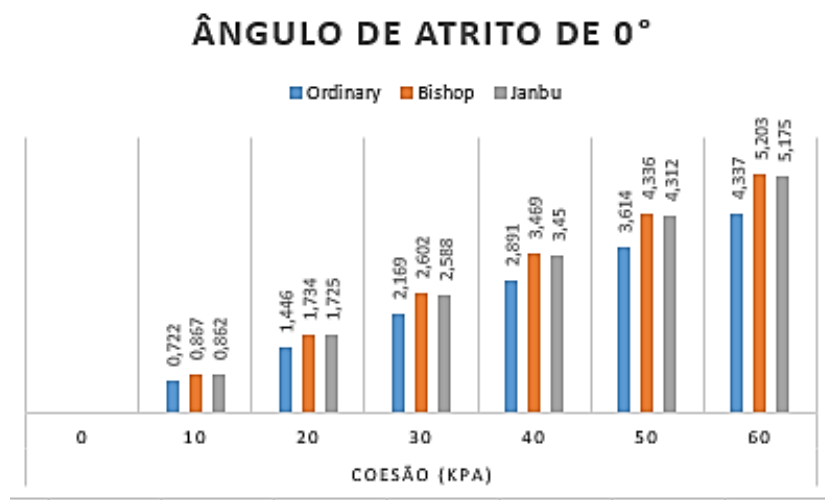
Tabela 5 - Ângulo de atrito de 30°

$\Phi$ Coesão kPa	30° Fator de segurança		
	Ordinary	Bishop	Janbu
0	0,796	0,797	0,796
10	1,752	1,854	1,721
20	2,489	2,604	2,45
30	3,226	3,328	3,191
40	3,963	4,055	3,941
50	4,7	4,785	4,695
60	5,437	5,516	5,453

Fonte: AUTORAL (2021).

No gráfico que vem na sequência (Figura 28) é exposto que com o ângulo de atrito de 0°, quando a coesão é igual a 10 kPa, os valores dos três métodos têm uma diferença bem pequena e quando a coesão é de 60 kPa, a diferença entre Ordinary e Bishop é bem grande.

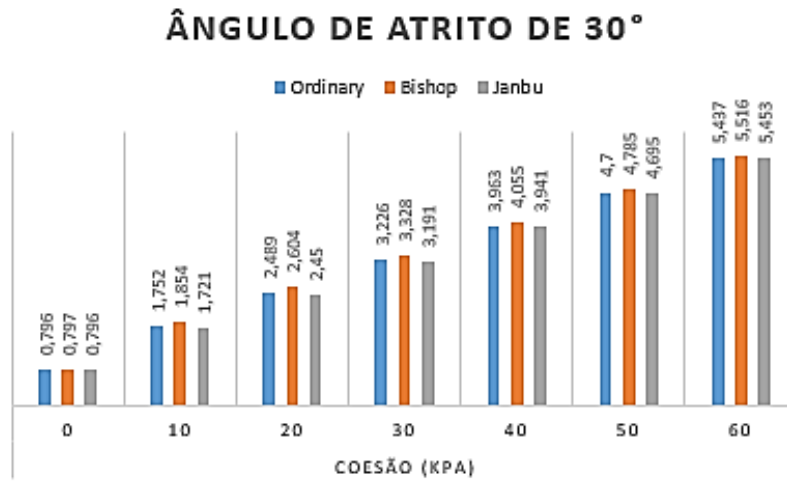
Figura 28 - Gráfico com ângulo de atrito de 0°



Fonte: AUTORAL (2021).

No próximo gráfico (Figura 29), com o ângulo de atrito de 30°, na coesão de 0 kPa, os resultados obtidos são praticamente iguais e com a coesão 60 kPa, também não sofrem grandes variações de valores.

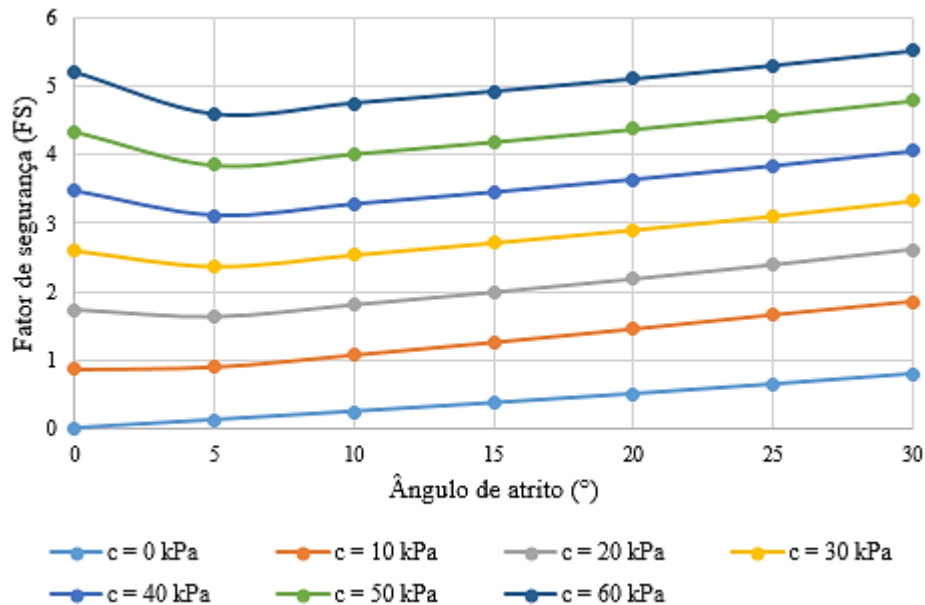
Figura 29 - Gráfico com ângulo de atrito de 30°



Fonte: AUTORAL (2021).

Foi escolhido o método de Bishop para demonstrar as variações nos fatores de segurança, de acordo com a mudança de valor do ângulo de atrito e coesão, como mostra a Tabela 6, pois, se comparado com os outros métodos, os maiores fatores de segurança são dele. O ângulo de atrito de 0° obteve resultados maiores do que os obtidos com o ângulo de atrito de 5°.

Tabela 6 - Fator de segurança de Bishop



Fonte: AUTORAL (2021).

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como propósito apresentar o levantamento da geometria do perfil de um talude de corte, localizado na GO-338, foi feita uma análise bidimensional da estabilidade pelo método do equilíbrio limite, utilizando o software GeoSlope (2012).

Primeiramente foi feita a coleta de dados necessários para adicionar no software. As medidas do talude foram feitas com uma trena e o ângulo encontrado através de um app chamado Angle Meter. Também foi coletado uma porção de solo de aproximadamente 1 kg e com ele foi feita uma análise tátil visual, que confirmou que o solo se tratava de uma argila pouco siltosa.

Após todos esses dados adquiridos foram escolhidos 3 métodos para se fazer a análise, o de Ordinary, Bishop e Janbu, que se baseiam nos elementos finitos e consiste em dividir o maciço de terra em fatias. Para o equilíbrio limite é utilizado o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, que é satisfeito ao longo da superfície potencial de ruptura.

No método de Ordinary o fator de segurança é calculado através de equilíbrio de momentos apenas, mas erros podem ocorrer, pois é um método bem conservador e em particular, em casos de círculos e poropressões elevadas. O método de Bishop também considera a superfície de ruptura circular, como Ordinary e oferece critérios mais rígidos. No método de Janbu também são desprezados os componentes verticais e considerados apenas os momentos, esse método não é conservador e a diferença do fator de segurança pode ser grande se comparado aos outros resultados.

Nas análises feitas com o software GeoSlope foi utilizado o peso específico de 18 kN/m<sup>3</sup>, ângulo de atrito de 0° a 30° e coesão de 0 a 60 kPa. Foi constatado que quando a coesão for inferior a 10 kPa ocorrerá ruptura, pois o fator de segurança ficou abaixo de 1 e isso ocorreu com todos os ângulos de atrito. Ao observar o resultado de Bishop, com o ângulo de atrito de 0°, pode-se notar que o fator de segurança é maior do que com o ângulo de atrito de 5°, isso pode ter ocorrido pela superfície de ruptura apresentar inclinação acentuada, próximo ao pé do talude, especialmente quando é utilizado círculos de ruptura profundos ou por algum erro no software, pois é de 2012. De forma geral, Ordinary e Bishop apresentam valores altos com as coesões mais baixas e Janbu maiores fatores de segurança, com as coesões mais elevadas, em alguns passando até de Bishop. Mas como pode ser observado, com o ângulo de atrito de 25° e 30°, o fator de segurança de Bishop apresenta números maiores que Janbu.

De acordo com as análises feitas, de modo geral, o método de Bishop é o método mais seguro, pois é mais rigoroso e irá analisar toda a superfície possível de ruptura levando em consideração cada fatia.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Regis Rodrigues de. "**Intemperismo**". Brasil escola, 04 fev. 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/intemperismo.htm>. Acesso em: 03 maio. 2021.
- ALVES, Rafael. **Preservar os solos da intensidade da erosão**. (S.I.), 24 nov. 2018. Disponível em: <https://www.mundoecologia.com.br/natureza/preservar-os-solos-da-intensidade-da-erosao/>. Acesso em: 04 maio. 2021.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda., 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837798/cfi/0!/4/4@0.00:43.1>. Acesso em: 07 maio. 2021.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-3005-0/cfi/6/10!/4@0:0>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- CAROLINE, Luana. **Intemperismo**. Todo Estudo, 12 jul. 2014. Disponível em: <https://www.todoestudo.com.br/geografia/intemperismo>. Acesso em: 06 maio. 2021.
- CHRISTOPHERSON, Robert W.; BIRKELAND, Ginger H.; GABLER, Robert E. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda., 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582604441/cfi/2!/4/4@0.00:0.00>. Acesso em: 03 maio. 2021.
- COUTO, Wendel. **Tutorial Básico para software GeoSlope**. 2018. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/wendel2011/tutorial-bsico-para-software-geoslope>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- DAS, Braja M.; SOBRAN, Khaled. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 9. ed. São Paulo: Cengage, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522128280/pageid/3>. Acesso em: 05 ago. 2021.
- FERREIRA, João Luís Ferrás. **Análise de Estabilidade de Taludes pelos Métodos de Janbu e Spencer**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2012.
- GERSCOVICH, Denise M. S. **Estabilidade de taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- FLORIANO, Cleber; CRAIG, R. F. **Mecânica dos Solos Aplicada**. São Paulo: Dieimi Deitos, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595020658/pageid/3>. Acesso em: 20 ago. 2021.

GROTZINGER, John; JORDAN, Tom. **Para entender a Terra**. 4. ed. São Paulo: Bookman Editora Ltda., 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837828/cfi/3!/4/4@0.00:50.4>. Acesso em: 01 jun. 2021.

GUERRIN, A.; LAVAU, Roger C. **Tratado de Concreto Armado**: muros de arrimo, muros de contenção. São Paulo: Hemus, 2003.

Guidicini, G.; Nieble, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de Escavação**. 2º Edição. São Paulo. Edgard Blücher, 1984.

JESUS, Fernando. **Estudos dos solos (I): definição e elementos formadores**. Rio de Janeiro, 26 jan. 2016. Disponível em: <https://www.geografiaopinativa.com.br/2016/01/estudo-dos-solos-i-definicao-e.html>. Acesso em: 10 maio. 2021.

KNAPPETT, J. A.; CRAIG, R. F. **Craig Mecânica dos Solos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2014. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-216-2703-6/epubcfi/6/10\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright\]!/4](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-85-216-2703-6/epubcfi/6/10[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright]!/4). Acesso em: 15 jul. 2021.

PETERSEN, James F.; SACK, Dorothy; GABLER, Robert E. **Fundamentos de geografia física**: tradução da 1ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda., 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522118052/cfi/5!/4/4@0.00:12.6>. Acesso em: 01 maio. 2021.

POPP, José Henrique. **Geologia geral**. 7. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634317/cfi/6/10!/4/4@0:0>. Acesso em: 28 abr. 2021.

QUEIROZ, Rudney C. **Geologia e Geotecnia Básica para Engenharia Civil**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2016. (1). Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521209584/pageid/4>. Acesso em: 12 jul. 2021.

SANTOS, Palloma Ribeiro Cuba dos; DAIBERT, João Dalton. **Análise dos solos**: formação, classificação e conservação do meio ambiente. São Paulo: Érica Ltda., 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521503/cfi/1!/4/4@0.00:0.00>. Acesso em: 30 abr. 2021.

STEIN, Ronei Tiago. **Manejo de bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Sagah Educação S.A., 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595021259/cfi/1!/4/4@0.00:0.00>. Acesso em: 06 maio. 2021.

TONUS, Bianca Penteadó de Almeida. Estabilidade de taludes: avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da serra do mar paranaense. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2009.