



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**HIGOR FRANK SILVA MACHADO
SAMUEL SANTOS MOREIRA**

**INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO NA CONCEPÇÃO DE
TALUDES ARTIFICIAIS**

PUBLICAÇÃO Nº: 15

**GOIANÉSIA / GO
2020/1**



**HIGOR FRANK SILVA MACHADO
SAMUEL SANTOS MOREIRA**

**INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO NA CONCEPÇÃO DE
TALUDES ARTIFICIAIS**

PUBLICAÇÃO N°: 15

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

ORIENTADOR: IGOR CEZAR SILVA BRAGA

GOIANÉSIA / GO: 2020/1

FICHA CATALOGRÁFICA

MACHADO, HIGOR FRANK SILVA,
MOREIRA, SAMUEL SANTOS.

Influência da Inclinação na Concepção de Taludes Artificiais, 2020 xi, 96P, 297mm,
(ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Talude	2. Estabilidade
3. Dimensionamento	4. Segurança
I. ENC/UNI	II. Influência da Inclinação na Concepção de Taludes Artificiais

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MACHADO, H. F. S.; MOREIRA, S. S. Influência da Inclinação na Concepção de Taludes Artificiais. TCC, Publicação ENC. PF-001A/015, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), Goianésia-GO, 96p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Higor Frank Silva Machado e Samuel Santos Moreira.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Influência da Inclinação na Concepção de Taludes Artificiais.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil. ANO: 2020.

Autorizo a Faculdade Evangélica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias e divulgar este TCC, por qualquer meio convencional ou eletrônico e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte do TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Higor Frank Silva Machado
Av. Bernardo Sayão, Qd. 01 Lt. 06, Centro
76410-000 – Campinorte/GO – Brasil

Samuel Santos Moreira
Rua Duque de Caxias, N. 11, Centro
76400-000 – Uruaçu/GO - Brasil

**HIGOR FRANK SILVA MACHADO
SAMUEL SANTOS MOREIRA**

**INFLUÊNCIA DA INCLINAÇÃO NA CONCEPÇÃO DE
TALUDES ARTIFICIAIS**

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

APROVADO POR:

**IGOR CEZAR SILVA BRAGA, Me. Faculdade Evangélica de Goianésia
(ORIENTADOR)**

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Me. Faculdade Evangélica de Goianésia
(EXAMINADOR INTERNO)**

**LUANA DE LIMA LOPES, Me. Faculdade Evangélica de Goianésia
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 12 de Junho de 2020.

Higor Frank Silva Machado

*Dedico este trabalho aos meus pais, amigos, familiares.
Principalmente aos professores e colegas de curso, por compartilhar
conhecimentos e momentos de alegria que foram essenciais para alcançar os objetivos.*

Samuel Santos Moreira

*Dedico este trabalho:
aos meus pais, João Alci e Neusa;
aos meus irmãos, João Gabriel e Rafael;
aos meus avós, amigos, colegas e professores.*

AGRADECIMENTOS

Higor Frank Silva Machado

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por sempre iluminar meu caminho nessa jornada.

Agradeço aos meus pais Revair Vieira, Rosely Maria e minha madrasta Dunalva Cardoso, por todo o amor, carinho e compreensão durante todo esse tempo acadêmico, e por sempre ser referência na minha vida, me mostrando o caminho correto a seguir e me ensinando a enfrentar os obstáculos que a vida nos proporciona.

Agradeço ao meu irmão Vinicius Machado por me apoiar e me incentivar durante o decorrer da minha graduação.

Agradeço aos meus amigos Ikaro Weber e Sergio Martins, pelas sugestões, aconselhamentos e principalmente pela amizade.

Agradeço aos amigos que a faculdade me proporcionou, Beatriz D'Paula, Jordana Taveira, Poliana Macedo, Samuel Santos, Rogerio Farias e Maykon Braga, por todos os momentos de alegria e descontração, amizades que levarei para a vida toda.

Agradeço ao meu amigo e companheiro de trabalho de conclusão de curso, Samuel Santos Moreira, pelo incentivo e paciência comigo durante todos esses anos, sempre me ajudando no decorrer dessa jornada incrível.

Agradeço ao meu Orientador Igor Cezar Silva Braga por toda dedicação e ajuda que proporcionaram grandes aprendizados que levarei para a vida toda.

Samuel Santos Moreira

Agradeço primeiramente a Deus por estar vivo e por fazer entender que nem sempre sabemos o sentido reais das coisas, mesmo nas dificuldades dando forças para prosseguir em vários aspectos da vida, apesar de na maioria do tempo reclamarmos, mas o ser humano é falho.

Aos meus pais, João Alci e Neusa que me ajudaram em minha criação , financeiramente e nos problemas cotidianos da vida, sempre buscando o melhor para mim, a especial a minha mãe que sempre proporcionou o melhor para os filhos. Aos meus irmãos João Gabriel e Rafael, exemplos de sucesso pelo o que estou almejando, me motivando a chegar no mesmo nível e me fazendo sentir mal por isso também.

Ao professor e orientador Me. Igor Cezar Silva Braga pela a participação, paciência, disposição, sabedoria e perfeccionismo. Ao professor Me. Eduardo Martins Toledo sempre disposto a esclarecer dúvidas e ensinamentos com alegria e descontração. Não menos importante a professora Me. Luana de Lima Lopes, que aceitou participar desse trabalho, agregando conhecimentos imprescindíveis. Aos demais professores que passaram pelo curso, que contribuíram para minha formação.

Aos meus amigos que ajudaram a passar por este período acadêmico de forma divertida e descontraída, me ajudando nas provas e trabalhos. Especialmente aos meus amigos, Poliana Macedo, que implorou que seu nome estivesse aqui, Alcione Borges, Beatriz D' Paula, Higor Frank, Jordana Taveira, Maykon Braga, Raiane de Freitas e Rogério Farias. Agradeço pela amizade e companherismo, e pelos ensinamentos que nem sempre foram bons, mas foram de boa intenção.

Aos demais amigos, do trabalho, do ônibus e da sala, especialmente aos que me ajudaram nos momentos difíceis e alegres.

Por fim, agradeço a todos que diretamente e indiretamente contribuíram para a minha formação, possibilitando que eu chegasse nesse momento, acredito que levarei o melhor de cada um.

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta.”
Chico Xavier

RESUMO

Os taludes podem ser formados por diferentes tipos de processos, sendo eles artificiais ou naturais, a angulação de um talude ocorre em qualquer superfície inclinada que limita um maciço, os taludes podem ser de modo natural como as encostas, ou artificiais resultados de um corte ou da formação de aterros, como por exemplo, as barragens. Os acidentes causados pela instabilidade de um talude podem causar danos severos à sociedade, desde ameaças a vida de pessoas, ou tragédias ambientais. Sendo assim, este trabalho propôs uma estabilidade de talude viável com base na influência da inclinação de um talude artificial. O método utilizado foi o modo de ruptura circular, em virtude de ser o mais utilizado em análises de estabilidade de taludes e de ser o mais frequente no método de fatias e de Bishop. O dimensionamento dos taludes ocorreu com diferentes tipos de alturas e angulações, e todos tiveram a mesma largura de 5 metros. Sendo T - 1 com altura de 4,5 metros e angulação de $41,99^\circ$, T - 2 com altura de 4 metros e angulação de $38,66^\circ$, T - 3 com altura de 3,5 metros e angulação de $34,99^\circ$, T - 4 com altura de 3 metros e angulação de $30,96^\circ$ e T - 5 com altura de 2,5 metros e angulação de $26,56^\circ$. Na qual foi adotado o $F = 1,50$ como valor referencial para obtenção de um fator de segurança mais preciso através de recálculos. Após a obtenção dos fatores de segurança de acordo com os cálculos $T-1 = 5,33$, $T-2 = 6,58$, $T-3 = 8,23$, $T-4 = 9,93$ e $T-5 = 14,25$ foi analisado a estabilidade dos mesmos, no qual se apresentou condições estáveis e viáveis para os cinco tipos de dimensionamento com os requisitos de segurança adequado, de acordo com a NBR 11682 (ABNT, 2009).

Palavras Chaves: estabilidade, dimensionamento, segurança.

ABSTRACT

Slopes can be formed by different types of processes, whether they are artificial or natural, the slope angulation occurs on any sloping surface that limits a massif, the slopes can be naturally like the slopes, or artificial results of a cut or formation of landfills, such as dams. Accidents caused by the instability of a slope can cause severe damage to society, from threats to people's lives, or environmental tragedies. Therefore, this work proposed a viable slope stability based on the influence of the inclination of an artificial slope. The method used was the circular rupture mode, since it is the most used in slope stability analysis and the most frequent in the slice and Bishop method. The slopes were dimensioned with different types of heights and angles, and all had the same width of 5 meters. T - 1 with a height of 4.5 meters and an angle of 41.99° , T - 2 with a height of 4 meters and an angle of 38.66° , T - 3 with a height of 3.5 meters and an angle of 34.99° , T - 4 with a height of 3 meters and an angle of 30.96° and T - 5 with a height of 2.5 meters and an angle of 26.56° . In which $F = 1.50$ was adopted as a reference value for obtaining a more precise safety factor through recalculations. After obtaining the safety factors according to calculations $T-1 = 5.33$, $T-2 = 6.58$, $T-3 = 8.23$, $T-4 = 9.93$ and $T-5 = 14,25$ their stability was analyzed, in which stable and viable conditions were presented for the five types of sizing with adequate safety requirements, according to NBR 11682 (ABNT, 2009).

Keywords: stability, dimensioning, safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura do Talude	2
Figura 2.1 – Superfície de ruptura plana.	9
Figura 2.2 – Superfície de ruptura circular.....	9
Figura 2.3 – Superfície de ruptura em cunhas.....	10
Figura 2.4 – Superfície de ruptura por tombamento de blocos.	10
Figura 2.5 – Método das fatias.	17
Figura 2.6 – Análise de talude infinito (sem percolação).....	19
Figura 2.7 – Análise de talude infinito (com percolação).	20
Figura 2.8 – Análise de talude finito – Método Culmann.	21
Figura 2.9 – Análise de talude com fenda de tração na parte superior do talude.....	23
Figura 2.10 – Análise de com fenda de tração na face do talude.	23
Figura 2.11 – Forças atuantes no talude com fenda de tração em sua parte superior.	24
Figura 2.12 – Forças atuantes no talude com fenda de tração em sua face.....	24
Figura 2.13 – Esquemas de forças resultantes na fatia no método Fellenius.	25
Figura 2.14 – Esquemas de forças resultantes na fatia no método Bishop.....	27
Figura 2.15 – Método Rendullic em análise de taludes.....	29
Figura 2.16 – Forças atuantes em taludes pelo método do círculo de atrito.	30
Figura 3.1 – Índices físicos do solo analisado.....	34
Figura 3.2 – Superfície de ruptura circular.	34
Figura 4.1 – Método das fatias no talude T – 1.	41
Figura 4.2 – Método das fatias no talude T – 2.....	45
Figura 4.3 – Método das fatias no talude T– 3.	48
Figura 4.4 – Método das fatias no talude T– 4.	51
Figura 4.5 – Método das fatias no talude T– 5.	54

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (2.1) - Resistência ao cisalhamento.	12
Equação (2.2) - Pressão neutra.	14
Equação (2.3) - Pressão neutra detalhada.	14
Equação (2.4) - Fator de segurança.	14
Equação (2.5) - Fator de segurança detalhada.	15
Equação (2.6) - Resistência mobilizada na fatia.	17
Equação (2.7) - Fator de segurança pelo método das fatias.	17
Equação (2.8) - Fator de segurança para taludes infinitos.	18
Equação (2.9) - Profundidade do plano onde ocorre o equilíbrio crítico	19
Equação (2.10) - Fator de segurança para taludes infinitos com percolação	20
Equação (2.11) - Coesão desenvolvida em taludes finitos pelo método de Culmann.	22
Equação (2.12) - Altura crítica para taludes finitos pelo método de Culmann	22
Equação (2.13) - Fator de segurança pelo método de Culmann.	22
Equação (2.14) - Fator de segurança pelo método gráfico.	24
Equação (2.15) - Equilíbrio de forças na fatia pelo método de Fellenius	25
Equação (2.16) - Fator de segurança pelo método de Fellenius.	26
Equação (2.17) - Equilíbrio de forças na fatia pelo método de Bishop.	27
Equação (2.18) - Fator de segurança pelo método de Bishop	27
Equação (2.19) - Fator de segurança pelo método de Rendulic.	29
Equação (2.20) - Fator de segurança em relação a força devida a coesão	30
Equação (2.21) - Fator de segurança em relação ao ângulo de atrito.	30
Equação (2.22) - Peso específico aparente seco.	31
Equação (2.23) - Tensão vertical total.	31
Equação (2.24) - Pressão neutra por Terzaghi	32
Equação (2.25) - Tensão vertical efetiva.	32
Equação (2.26) - Coeficiente de correção	32
Equação (2.27) - $N_{SPT,1}$ corrigido	32
Equação (2.28) - $N_{SPT,60}$ corrigido	33
Equação (2.29) - Ângulo de atrito por Hatanaka e Uchida	33
Equação (2.30) - Tensão cisalhante envoltória de Coulomb.	33
Equação (2.31) - Tensão cisalhante	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Especificação das características dos taludes.	35
Tabela 3.2 – Utilização de modelos matemáticos para análise de estabilidade.	36
Tabela 3.3 – Etapas de cálculo para definição do fator de segurança.	37
Tabela 3.4 – Índice de vazios, teor de umidade e peso específico seco para alguns solos típicos em estado natural.	38
Tabela 3.5 – Índices físicos do solo analisado.....	39
Tabela 3.6 – Especificação dos parâmetros do solo no talude.....	40
Tabela 4.1 – Resultados encontrados pelo método das fatias no talude T - 1.	42
Tabela 4.2 – Cálculo do fator de segurança T - 1, considerando $F = 1,50$	43
Tabela 4.3 – Recálculo do fator de segurança T - 1, considerando $F = 3,95$	43
Tabela 4.4 – Recálculo do fator de segurança T - 1, considerando $F = 5,07$	44
Tabela 4.5 – Recálculo do fator de segurança T - 1, considerando $F = 5,30$	44
Tabela 4.6 – Resultados encontrados pelo método das fatias no talude T - 2.	46
Tabela 4.7 – Cálculo do fator de segurança T - 2, considerando $F = 5,33$	46
Tabela 4.8 – Recálculo do fator de segurança T -2, considerando $F = 6,40$	47
Tabela 4.9 – Recálculo do fator de segurança T -2, considerando $F = 6,56$	47
Tabela 4.10 – Resultados encontrados pelo método das fatias no talude T -3.	49
Tabela 4.11 – Cálculo do fator de segurança T - 3, considerando $F = 6,58$	49
Tabela 4.12 – Recálculo do fator de segurança T - 3, considerando $F = 8,05$	50
Tabela 4.13 – Recálculo do fator de segurança T - 3, considerando $F = 8,21$	50
Tabela 4.14 – Resultados encontrados pelo método das fatias no talude T - 4.	52
Tabela 4.15 – Cálculo do fator de segurança T - 4, considerando $F = 8,23$	52
Tabela 4.16 – Recálculo do fator de segurança T - 4, considerando $F = 9,81$	53
Tabela 4.17 – Recálculo do fator de segurança T - 4, considerando $F = 9,93$	53
Tabela 4.18 – Resultados encontrados pelo método das fatias no talude T - 5.	55
Tabela 4.19 – Cálculo do fator de segurança T - 5, considerando $F = 9,93$	55
Tabela 4.20 – Recálculo do fator de segurança T - 5, considerando $F = 14,02$	56
Tabela 4.21 – Recálculo do fator de segurança T - 5, considerando $F = 14,24$	56
Tabela 4.22 – Resultados dos dimensionamentos dos taludes.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

FACEG – Faculdade Evangélica de Goianésia

NBR – Norma Brasileira.

N_{SPT} – Número de golpes do ensaio SPT

SPT – *Standard Penetration Test*

LISTA DE SÍMBOLOS

- ϕ' – Ângulo de atrito ($^{\circ}$)
 ϕ_{FS} – Ângulo de atrito necessário para a estabilidade ($^{\circ}$)
 ϕ'_d – Ângulo de atrito desenvolvido ao longo da superfície de potencial ruptura ($^{\circ}$)
 H – Altura do talude (m)
 Z – Altura ou profundidade da camada (m)
 Z_w – Altura ou profundidade da camada em relação ao nível da água (m)
 θ – Ângulo resultante do método das fatias ($^{\circ}$)
 CN – Coeficiente de correção
 c – Coesão (kPa)
 c'_d – Coesão desenvolvida ao longo da superfície de potencial ruptura (kPa)
 c' – Coesão efetiva (kPa)
 l – Comprimento ao longo da linha de ruptura (m)
 Ac – Comprimento da força coesiva que resiste ao escorregamento (m)
 L – Comprimento reto da parte inclinada do talude (m)
 S – Esforço solicitante ao escorregamento
 f – Força de atrito (kN/m)
 C_{FS} – Força coesiva necessária para o equilíbrio (kN/m)
 C – Força devida a coesão (kN/m)
 F_s – Fator de segurança
 F_{SC} – Fator de segurança em relação a força devida a coesão
 $F_{S\phi}$ – Fator de segurança em relação ao ângulo de atrito
 F – Fator de segurança referencial ou de referência
 N – Força normal na fatia (kN/m)
 P – Força peso (kN/m)
 β – Inclinação do talude ($^{\circ}$)
 e – Índice de vazios
 Δx – Largura da fatia (m)
 P_d – Momento resultante em relação ao ponto 0 (kNm)
 $N_{SPT,1}$ – Número de golpes do ensaio SPT corrigido pela tensão efetiva de sobrecarga
 $N_{SPT,60}$ – Número de golpes do ensaio SPT corrigido pela energia de cravação
 u – Pressão neutra (kPa)
 γ_d – Peso específico aparente seco (kN/m³)

γ_w – Peso específico da água (kN/m³)

γ_{nat} – Peso específico natural do solo (kN/m³)

γ_{sat} – Peso específico saturado do solo (kN/m³)

r_1 – Raio inicial da espiral logarítmica, que inicia no pé do talude ao ponto 0 (m)

r_2 – Raio final da espiral logarítmica, que inicia na parte do topo do talude ao ponto 0 (m)

σ – Tensão total (kPa)

σ'_v – Tensão vertical efetiva (kPa)

τ ou τ_f – Tensão cisalhante (kPa)

τ_d – Tensão cisalhante ao longo da superfície de potencial ruptura (kPa)

w – Teor de umidade (%)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 TALUDE	5
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA.....	5
2.2.1 Escorregamentos.....	6
2.2.2 Escoamentos	6
2.2.3 Queda	7
2.2.4 Subsidências	7
2.3 MODOS DE RUPTURA.....	8
2.3.1 Ruptura Plana.....	8
2.3.2 Ruptura Circular	9
2.3.3 Ruptura em Cunhas	10
2.3.4 Ruptura de Tombamentos de Blocos	10
2.4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO	11
2.4.1 Coesão	11
2.4.2 Ângulo de Atrito	11
2.4.3 Resistência ao Cisalhamento.....	12
2.5 INFLUÊNCIA DA ÁGUA	12
2.5.1 Pressões Neutras	13
2.6 FATOR DE SEGURANÇA	14
2.7 MÉTODOS DE ANÁLISE	15
2.7.1 Teoria de Equilíbrio Limite em Métodos de Análise.....	16
2.7.2 Tipos de Procedimentos em Análise de Estabilidade	16
2.7.2.1 Método das Fatias	16
2.7.2.2 Método Geral ou Procedimento de Massa.....	17
2.8 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE TALUDES.....	18
2.8.1 Taludes Infinitos	18
2.8.1.1 Taludes Infinitos com Percolação Constante.....	19
2.8.2 Taludes Finitos	20
2.8.2.1 Método de Culmann	21

2.8.3 Método Gráfico	23
2.8.4 Método Fellenius.....	25
2.8.5 Método Bishop	26
2.8.6 Método de Rendulic ou da Espiral Logarítmica.....	28
2.8.7 Método do Círculo de Atrito.....	29
2.9 PARÂMETROS DO SOLO PELO ENSAIO SPT	31
3 METODOLOGIA.....	34
3.1 ESPECIFICAÇÕES DO TALUDE.....	34
3.2 DETERMINAÇÕES DO FATOR DE SEGURANÇA.....	35
3.3 PARÂMETROS DO SOLO	37
3.4 OBTENÇÃO DOS DADOS RESULTANTES DO MÉTODO DAS FATIAS.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1 DIMENSIONAMENTO DO FATOR DE SEGURANÇA.....	41
4.1.1 Fator de Segurança Talude T – 1	41
4.1.2 Fator de Segurança Talude T – 2	45
4.1.3 Fator de Segurança Talude T – 3	48
4.1.4 Fator de Segurança Talude T – 4	50
4.1.5 Fator de Segurança Talude T – 5	53
4.2 RESULTADOS DOS FATORES DE SEGURANÇA	56
5 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	60
APÊNDICES	62
A.1. CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO SOLO PELO ENSAIO SPT.....	62
A.1.1. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO	62
A.1.1.1 Equação (2.22) – Cálculo do Peso Específico Natural do Solo (γ_{nat}).....	62
A.1.1.2 Equação (2.23) – Cálculo da Tensão Vertical Total (σ).....	62
A.1.1.3 Equação (2.24) – Cálculo da Pressão Neutra (u).....	62
A.1.1.4 Equação (2.25) – Cálculo da Tensão Vertical Efetiva (σ'_v).....	62
A.1.1.5 Equação (2.26) – Cálculo do Coeficiente de Correção (CN).....	62
A.1.1.6 Equação (2.27) – Cálculo do NSPT,1 Corrigido Pela Tensão Efetiva.....	63
A.1.1.7 Equação (2.28) – Cálculo do NSPT,60 Corrigido Pela Energia de Cravação	63
A.1.1.8 Equação (2.29) – Cálculo do Ângulo de Atrito (ϕ')	63
A.1.1.9 Equação (2.30) – Cálculo da Tensão Cisalhante, Envolvória de Coulomb (τ).....	63
A.1.1.10 Equação (2.31) – Cálculo da Coesão Efetiva (c')	64
B.1. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA T – 1.....	65
B.1.1 CÁLCULO DAS ETAPAS NA FATIA 1 DO TALUDE T - 1, F= 1,50.....	65
B.1.1.1 Cálculo da Etapa (1)	65

B.1.1.2 Cálculo da Etapa (2)	65
B.1.1.3 Cálculo da Etapa (3)	65
B.1.1.4 Cálculo da Etapa (4)	65
B.1.2 CÁLCULO FINAL DO FATOR DE SEGURANÇA DO TALUDE T - 1, F= 1,50 ...	65
B.1.2.1 Cálculo da Etapa (5)	66
C.1. RESULTADOS DOS FATORES DE SEGURANÇA E RECÁLCULOS	67
C.1.1 TALUDE T – 1	67
C.1.1.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 1, F= 1,50	67
C.1.1.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 1, F = 3,95.	67
C.1.1.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 1, F = 5,07..	68
C.1.1.4 Recálculo do Fator de Segurança T - 1, F = 5,30.	68
C.1.2 TALUDE T – 2	69
C.1.2.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 2, F = 5,33	69
C.1.2.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 2, F = 6,40..	70
C.1.2.3 Recálculo do Fator de Segurança T -2, F = 6,56..	70
C.1.3 TALUDE T – 3	71
C.1.3.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 3, F = 6,58	71
C.1.3.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 3, F = 8,05..	71
C.1.3.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 3, F = 8,21..	72
C.1.4 TALUDE T – 4	73
C.1.4.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 4, F = 8,23	73
C.1.4.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 4, F = 9,81.	73
C.1.4.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 4, F = 9,93..	74
C.1.5 TALUDE T – 5	74
C.1.5.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 5, F = 9,93	75
C.1.5.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 5, F = 14,02.	75
C.1.5.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 5, F = 14,24..	76
ANEXOS	77
A. 1. RELATÓRIO DO ENSAIO SPT	77

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da expansão urbana e crescimento populacional das grandes cidades, a utilização espacial de localidades afastadas de relevo montanhoso passaram a ser frequentes, em sua maioria irregular e ilegal. Em consequência, essas localidades são consideradas de risco por não terem sido executadas e desenvolvidas obras de engenharia para o seu melhoramento, no entanto, há meios na engenharia que proporcionam o uso dessas áreas para fins de construção, garantindo o maciço se tornar estável (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

A engenharia civil utiliza de técnicas para garantir a estabilidade de solos em áreas de riscos e em obras que serão executadas em terrenos ondulados e montanhosos, assegurando a viabilidade e execução de projetos (GUIDICINI; NIEBLE, 1983). A estabilização de solos é compreendida por Vargas (1977, p. 93) como “processo pelo qual se confere ao solo uma maior resistência estável às cargas ou desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção da sua granulometria e da sua plasticidade ou de adição de substâncias”.

A instabilização de solos é condicionada pela ação humana ou natural, através de processos mecânicos e intempéricos, que objetiva na degradação do solo. De maneira natural, as ações são mais tênues, enquanto que a ação do homem é mais intensa e acelera a deterioração, esses condicionantes estão direcionados a geologia, morfologia e hidrogeologia do terreno, associados também aos processos de intemperismo e erosivos. Gradualmente os maciços perdem a propriedade de se manterem estáveis quando se retiram a camada vegetal protetora do solo, executam obras *in loco* e quando são submetidos à degradação, interferindo assim na estrutura do terreno (RODRIGUES et al, 2015).

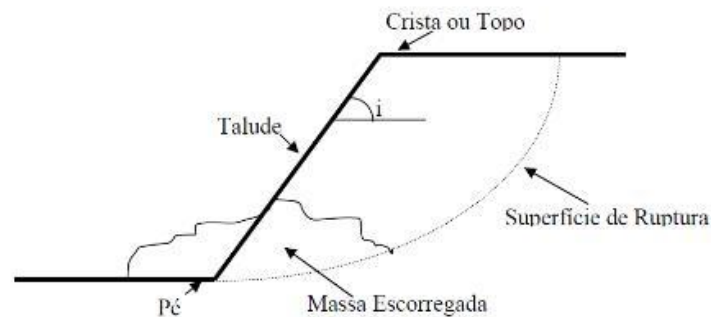
No âmbito da construção civil é frequente o uso de soluções que amenizam e adquirem fatores de segurança garantindo a execução de projetos em maciços inclinados, soluções essas que podem ser através da adição de materiais ao solo, estruturas de contenções e reconfiguração do maciço. A utilização de contenções de menor custo estão entre as mais executadas, entre elas as que não necessitam o emprego de estruturas monolíticas, utilizando apenas a reconfiguração do terreno, objetivando o produto final denominado de talude (SANTOS; NERTAN, 1998).

Talude é compreendido como qualquer inclinação que limita um maciço de solo ou rocha, inclinação essa que garante a estabilidade do maciço sem que ultrapasse o limite de ruptura. É considerado como um tipo de contenção que possui o intuito de estabilizar solos,

em que devido às propriedades do terreno e ações externas podem acarretar danos prejudiciais à estrutura e a terceiros (GERSCOVICH, 2012). Santos e Nertan (1998, p. 243) afirmam que: “taludes ou encostas naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos”.

Segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009), a estrutura do talude é compreendida por três elementos, conforme a Figura 1.1, sendo o ângulo de inclinação que configura o corpo do talude, o ponto mais alto ligando ao corpo do talude, denominado de crista ou topo, e por fim a parte mais baixa denominada de pé.

Figura 1.1- Estrutura do talude.



Fonte: RODRIGUES et al, (2015).

Dependendo da sua concepção é classificado em dois tipos, taludes naturais, onde a estrutura do maciço não foi modificada pela ação do homem e taludes artificiais no qual são concebidos através da modificação de sua estrutura original devido aos processos de corte e aterro. Esse tipo de contenção é bastante utilizado em projetos de pavimentações, ferrovias, barragens, revitalizações de nascentes e retaludamentos, pois taludes artificiais são vantajosos por apresentarem custo relativamente baixo, emprego em variáveis tipos de terrenos e por utilizarem geralmente o próprio solo como material (GERSCOVICH, 2012).

1.1 JUSTIFICATIVA

As obras de engenharia estão em constante crescimento, fazendo com que diferentes tipos de áreas sejam alvos da construção, sejam elas do tipo: ferrovias, rodovias, barragens e até mesmo loteamentos, neste caso o solo está presente em quase todos os tipos de obras,

necessitando assim do uso de taludes artificiais, por ser um método de contenção seguro e de custo moderado.

De acordo com Rosmarinho (2019), o rompimento da Barragem de Brumadinho é o décimo desastre relacionado a barragens no país desde 2000, uma lista que cresce em média de um a dois anos.

Considerando então a relevância do tema proposto, principalmente por se caracterizar de uma ação de segurança, e controle de catástrofes, como se tem visto nos últimos tempos, como os desmoronamentos das barragens, o presente estudo irá analisar a influência que a inclinação de um talude pode ocasionar, ficando assim evidente a necessidade do mesmo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar a influência da inclinação na concepção de taludes artificiais e realizar um dimensionamento adequado para o mesmo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo breve do solo;
- Estudar conceitos de dimensionamento para taludes;
- Identificar os efeitos da variação da inclinação no talude;
- Apontar prováveis casos de rompimento de taludes devido à inclinação;
- Realizar uma análise da inclinação e um detalhamento de dimensionamento de estabilidade do talude.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, o primeiro apresenta a introdução, conforme mostrado acima. O segundo capítulo apresentará a pesquisa bibliográfica do trabalho, compreendendo as definições e os métodos existentes dos elementos para cálculo de taludes artificiais para o seu dimensionamento. No terceiro capítulo consistiu-se no material e métodos de como foi realizado o estudo para chegar aos objetivos propostos para este projeto.

O quarto capítulo apresentará os resultados obtidos pelos métodos de cálculo utilizados. No quinto capítulo se apresentará as conclusões e os principais objetivos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TALUDE

O talude é definido por ser um plano de terreno que visa a contenção de grandes volumes de solo, possuindo a característica de manter-se estável apenas com as propriedades do maciço e sua inclinação, assim, não há presença de estruturas alheias inseridas no corpo do talude, como, cortinas atirantadas, muros de arrimo, mantas geotêxteis, entre outros. Estruturas de reforço como essas, possui fins de melhorar a resistência do solo quando o mesmo encontra-se instável ou quando as características do solo e do terreno não são propícias (GERSCOVICH, 2012).

Assim, para que um talude artificial seja considerado estável, o mesmo necessita de um dimensionamento, que visa analisar as características do terreno, propriedades do solo e forças atuantes no maciço, com o objetivo de determinar o fator de segurança do talude, pois a partir dele verifica-se a estabilidade (MASSAD, 2010).

Taludes artificiais são considerados mais estáveis que taludes naturais, por serem oriundos de aterros, pois adquirem maior resistência ao solo e por possibilitar o conhecimento das propriedades do solo no aterro. A execução de análises do solo em taludes artificiais consiste em encontrar a inclinação adequada de modo que o fator de segurança também seja adequado, diferente em taludes naturais, onde são verificados a necessidade ou não de medidas para estabilidade e reforço nas propriedades do solo (ZANOL, 2018).

2.2 MOVIMENTOS DE MASSA

Conforme Gerscovich (2012), o movimento de massa é caracterizado como qualquer tipo de deslocamento originado de um volume de solo, originado de perdas progressivas da estabilidade do maciço até o momento da ruptura, isso ocorre quando o mesmo esteja submetido a forças e tensões externas e internas fazendo que o maciço diminua a sua resistência ao cisalhamento. A classificação dos movimentos depende da região que está inserido, logo as classificações diferem de regiões para regiões.

A ocorrência de movimentos de massa pode caracterizar tanto em taludes naturais como nos artificiais, pois o mesmo é exposto a fatores climáticos, erosivos e de fragmentação, sendo a água o maior potencializador, pois também influencia nas solicitações externas no corpo do maciço (ZANOL, 2018).

O sistema de classificação para movimentos de massa mais usual é o de Varnes, por ser o que mais assemelha as características gerais, por se tratar de um sistema de classificação internacional, não é confiável a sua utilização na região em questão, com isso os principais movimentos de massa são, escorregamentos, escoamentos, queda e subsidências, sendo eles aplicados em rochas e solos (GERSCOVICH, 2012).

2.2.1 Escorregamentos

Segundo Guidicini e Nieble (1983), escorregamentos são movimentos de massa que se caracterizam pela velocidade de duração, sendo um movimento rápido com duração curta, o volume de solo envolvido nesse tipo é bem definido, possuindo o centro de gravidade deslocando para fora e no sentido de declínio do talude.

Os escorregamentos são subdivididos em rotacionais e translacionais, os rotacionais estão relacionados a análise de estabilidade de taludes, pois nele o escorregamento ocorre em uma superfície específica contida na sua totalidade pelo material do solo, tornando-se forma como um arco cilíndrico, assim o escorregamento sucede ao longo da superfície rotacionando em torno do centro do arco cilíndrico (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Além do mais, Guidicini e Nieble (1983) evidenciam os escorregamentos translacionais como resultantes de ações provocadas por anisotropias internas que podem existir no maciço, onde escorregamentos menores decorrentes dessas anisotropias desencadeiam os movimentos de massa que podem ocorrer tanto em solos como em rochas.

2.2.2 Escoamentos

De acordo com Gerscovich (2012), escoamento é definido como movimentos contínuos, que podem possuir ou não superfície definida, não são associados especificamente a uma velocidade e uma deformação. Os escoamentos são representados por dois movimentos, sendo os lentos como rastejos e os rápidos como corrida.

A forma rápida do escoamento é denominada como corrida e possui como maior potencializador a água, ou seja, é ocasionado por um processo hidrodinâmico. O solo com excesso de água e a um determinado ponto comporta-se com um grau de fluidez, assim, juntamente com a presença de água, efeitos de vibrações e a disposição de solos sensíveis como argila são fatores que influenciam diretamente para a ocorrência do escoamento. Os escoamentos do tipo rastejo são provocados pela ação da gravidade e por fatores climáticos,

ocasionando a variação da umidade e temperatura no volume do solo. Esse tipo de mecanismo de deformação não possibilita diferenciar o material movimentado e o material inerte (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

2.2.3 Queda

De acordo com Guidicini e Nieble (1983), as quedas configura-se como desprendimento de blocos de rochas e de detritos, ocorre em taludes íngremes ocasionados principalmente pela ação da gravidade, nesse sentido a ação é de queda livre sem a presença de superfície de movimentação. As quedas de detritos ocorrem em pequenas massas de porções do solo, podendo ser pouco consolidada ou inconsolidada.

Tanto a queda de blocos e de detritos, são potencializadas pela infiltração da água no maciço, outras variantes também interferem nesse desprendimento, em se tratando da queda de blocos, as causas são a ação extrema de temperaturas altas ou baixas, processos erosivos, inexistência de sistemas de drenagem e perdas nas estruturas de apoios. Para quedas de detritos tem-se a desagregação como causa secundária, pois a fragmentação de solos e rochas de pouca resistência e material orgânico produzem solos residuais que são menos resistentes, reforçando a instabilidade do talude (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

2.2.4 Subsidiências

Gerscovich (2012), define subsidiências como movimentos de massa cujo deslocamento apresenta-se na vertical, nesse tipo não há ação de componentes horizontais e quando possui é baixa, considerando nula, o mecanismo de deformação pode ser instantâneo ou contínuo. Esse deslocamento ocorre pelo adensamento de camadas do solo, onde por meio de processos naturais ou pela ação do homem retiram-se uma das fases do solo, podendo ser a líquida, sólida ou gasosa. A retirada de umas dessas camadas ocorre devido a atuação de águas subterrâneas, alterações de solos sedimentáveis, perfurações e abatimentos voltados na exploração de minérios, petróleo e gás, entre outros.

Por se tratar de uma modificação da estrutura interna do solo, a ocorrência de subsidiências prejudicam outros fatores além do movimento do maciço, pois resultam em danos em edificações e estruturas próximas, configurando o surgimento de recalques na superfície, aparecimento de alagamentos e inundações, alterações na parte externa do maciço e modificações na estrutura de drenagem superficial (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Guidicini e Nieble (1983), ressaltam a existência de dois tipos de subsidências, configurando como recalque e desabamentos, a nomenclatura de recalque é utilizada quando a subsidência ocorre em locais em que possuem áreas construídas, onde o surgimento da mesma ocasiona o recalque, possui as mesmas causas ditas anteriormente, sendo as principais causadoras o peso próprio e as deformações internas no solo. Os desabamentos são formas de subsidências súbitas, ou seja, o material da parte superior do maciço perde a propriedade cisalhante e se rompe, são frequentes em escavações e minerações, onde há intensa movimentação e retirada de material, além disso, podem ocorrer através da degradação do material interno ao maciço, resultando em vazios no interior do talude.

2.3 MODOS DE RUPTURA

O solo de um talude encontra-se em equilíbrio quando a estrutura consegue manter-se sem a ocorrência de escorregamentos, mantendo a estrutura livre de movimentações, no entanto, com a incidência de condições adversas das naturais, ocasiona na perda de forma gradual ou repentina da resistência no maciço. A análise da forma de ruptura possibilita a associar a superfície de ruptura com as características do solo, obtendo informações sobre o comportamento do próprio e possíveis escorregamentos (ZANOL, 2018).

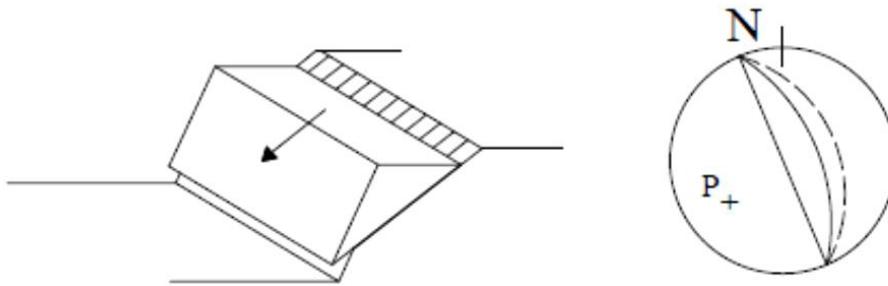
Os maciços de solos são condicionados a dois modos de ruptura mais usuais, sendo a circular e a plana, no entanto, há outros dois modos de ruptura pouco utilizados, por exemplo, o de cunhas e de tombamentos de blocos. A partir da consideração da linha ou superfície de ruptura nos taludes é definida a utilização do método de análise a utilizar, os métodos em questão todos utilizam da teoria de equilíbrio, sendo assim são considerados métodos de equilíbrio limite (ECKS, 2014).

2.3.1 Ruptura Plana

Conforme Guidicini e Nieble (1983), superfícies de ruptura planas não são encontradas frequentemente, ocorre geralmente em taludes com mínima camada superficial de solo ou em taludes rochosos, a escavação em taludes influencia no surgimento da ruptura plana, quando escavado em sentido vertical. Os métodos admitidos na análise de estabilidade em superfícies planas é realizada através de dois métodos, o primeiro pelo método gráfico e o segundo por meio de ábacos.

A consideração desse tipo de superfície não é usual, pois há algumas condições para que esse tipo de escorregamento ocorra em um único plano, tais como, a direção do plano precisa estar paralela à face do talude, o mergulho do plano de ruptura precisa ser menor ao mergulho da face do talude e deve ser maior que o ângulo de atrito, além de que as resistências laterais devem ser nulas ou desprezíveis ao escorregamento, conforme a Figura 2.1 (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Figura 2.1- Superfície de ruptura plana.

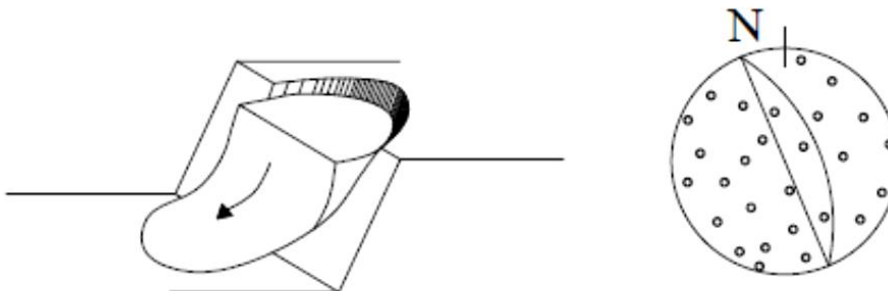


Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

2.3.2 Ruptura Circular

Superfícies de ruptura circular são as mais utilizadas em análises de estabilidade, o método das fatias é um dos métodos em que mais se utilizam dessa superfície nas considerações dos cálculos. As características que resultam nesse modo de ruptura estão condicionadas a maciços que possuem grandes falhas ou que foram bastante alterados, onde os planos de discontinuidades não suprimem o comportamento mecânico, de acordo com a Figura 2.2 (ECKS, 2014).

Figura 2.2- Superfície de ruptura circular.

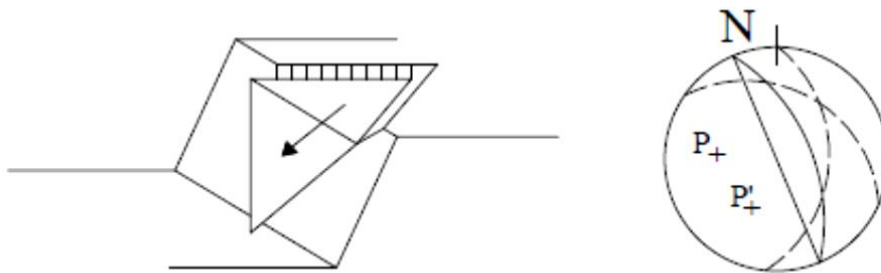


Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

2.3.3 Ruptura em Cunhas

As análises de taludes que se rompe em cunhas são poucos usuais, pois apresentam um maior nível de complexidade na análise, assim outros métodos que consideram modos de ruptura diferente são mais utilizados por serem práticos e simplificados, esse modo é complexo por envolver dois sistemas de descontinuidade, sendo bidimensional e tridimensional, conforme a Figura 2.3 (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Figura 2.3- Superfície de ruptura em cunhas.

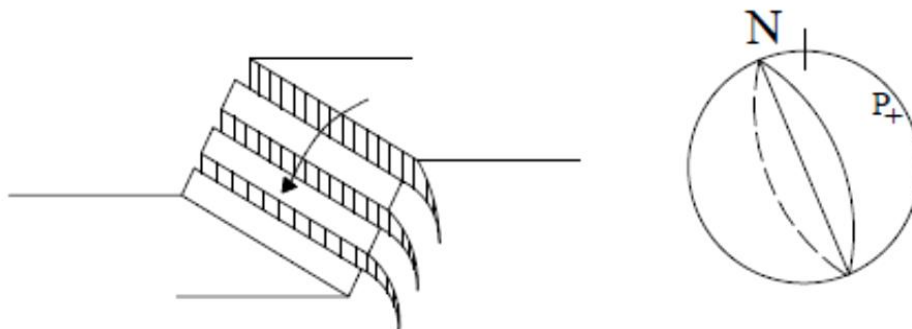


Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

2.3.4 Ruptura de Tombamentos de Blocos

De acordo Guidicini e Nieble (1983), superfícies que se rompe por tombamentos de blocos não são considerados em cálculos de fatores de segurança, pois o coeficiente de segurança limita-se em maciços inclinados onde consideram as tensões internas no maciço e os seus parâmetros de cisalhamento, relacionando somente com a capacidade do solo ao cisalhamento e tensões atuantes no mesmo, conforme a Figura 2.4.

Figura 2.4- Superfície de ruptura por tombamentos de blocos.



Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

Portanto, as tensões e forças externas que estão apoiadas no talude não permite dimensionar a estabilidade, pois a forma e o peso do bloco poderia levá-lo a ruptura sem haver o escorregamento do solo, logo, não é possível dimensionar a capacidade do maciço de manter-se estável se forças externas exclusivamente o rompe. Logo, não se pode determinar a estabilidade do maciço, se elementos alheios externos provocam a sua ruptura (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

2.4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

2.4.1 Coesão

A coesão é definida de forma geral, como a resistência ao cisalhamento de um solo, pois é uma propriedade que possui a função de manter as partículas do solo coesas, ou seja, solos coesivos são compostos por frações de argilas e devido à presença dessas frações, o solo adquire certa parcela de sua resistência ao cisalhamento, sendo capaz de formar torrões. Portanto, solos não coesivos como areia e pedregulhos não são capazes de manter-se coeso, por isso são menos resistentes e deformam com facilidade (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Vargas (1977), explica a relação da resistência ao cisalhamento das argilas através da composição dos solos argilosos, onde esses solos caracterizam-se por compor certas quantidades de compostos cimentantes, como carbonatos e óxidos ou hidróxidos, assim, esses compostos são capazes de aglutinar as partículas do solo.

Ainda segundo Vargas (1977), as dimensões das partículas que compõem as argilas também relacionam com a resistência, por serem bastante finas e próximas umas das outras, exercem desse modo um potencial atrativo das partículas, e com a influência de água em até certo ponto, o solo forma água adsorvida, potencializando a atração das partículas entre os grãos e formando o que se denomina de coesão verdadeira, é considerada pequena, não interferindo notoriamente na resistência.

Além do mais, quando submetido a pressões capilares de água intersticial, os grãos das argilas comportam-se movendo uns aos outros, desenvolvendo meniscos capilares, concomitantemente os grãos são pressionados entre si e aos mecanismos capilares, agindo através da tensão superficial na linha de contato, esse efeito denomina como a coesão ou coesão aparente (VARGAS, 1977).

2.4.2 Ângulo de Atrito

Guidicini e Nieble (1983), conceituam o ângulo de atrito de um solo como a inclinação resultante da reta que relaciona as tensões atuantes no maciço, sendo a tensão normal e a cisalhante. Segundo Ecks (2014) de forma geral, o ângulo de atrito interno do solo relaciona com o atrito físico entre os grãos do solo e com o atrito fictício resultante da interação das superfícies de contato dos grãos, cujo valor do ângulo de atrito impõe o valor de inclinação máximo do talude.

2.4.3 Resistência ao Cisalhamento

De acordo com Vargas (1977), a resistência ao cisalhamento é expressa pelo critério de Mohr, sendo um caso específico chamado de reta Coulomb, onde integram na expressão os parâmetros da resistência ao cisalhamento, como a coesão e o ângulo de atrito, e por último integra a tensão normal no plano cisalhado, podendo ser aplicada como tensão efetiva ou total. Em análises é utilizada a tensão total, pois existe a dificuldade do descobrimento do valor da pressão neutra, assim, sem ela não há possibilidade de determinar a tensão efetiva.

Segundo Massad (2010), a resistência ao cisalhamento de um solo depende da observação de alguns fatores que interferem na resistência e induzem a ruptura, sendo eles as características do solo, a tensão normal efetiva, condições de drenagem e a trajetória e história das tensões. A expressão para a resistência de cisalhamento do solo é dada em termos de tensões totais, ressalta que em termos de tensões efetivas a mesma é equivalente, resultando na Equação (2.1).

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \operatorname{tg}\phi \quad (2.1)$$

Onde, a resistência de cisalhamento é τ_f , a coesão do solo é c , a tensão normal de ruptura é σ , por fim, o ângulo de atrito é ϕ .

2.5 INFLUÊNCIA DA ÁGUA

Segundo Vargas (1977), a estabilidade do maciço é condicionada pela inserção da água, de que em determinado ponto o mesmo vai perdendo a propriedade de manter-se estável. A influência da água não interfere no ângulo de atrito, no entanto, o solo quando

saturado torna-se mais suscetível aos escorregamentos de solo, sendo uns dos principais fatores que prejudicam na estabilidade dos taludes, pois há influência da mesma na coesão do solo, provocando a diminuição da coesão devida à saturação.

Contudo, é necessário que ao dimensionar uma estrutura taludada, considerar a possibilidade do solo em estar e se tornar saturado, possibilitando uma margem de segurança e confiabilidade nos cálculos quando submetido a essas intempéries (VARGAS, 1977).

O comportamento do talude é vinculado as forças atuantes no maciço, resultante das pressões neutras e parâmetros de resistência, a adoção dessas forças possibilita estipular o comportamento do maciço quando submetido a elas e as variações de intensidade da mesma. Os valores desses parâmetros são obtidos através de ensaios padronizados que simulam as reações do maciço perante as pressões, carregamentos e forças (MASSAD, 2010).

Existe uma correlação entre os movimentos de massas ocorridos em um maciço de solo e a pluviosidade, no entanto, o índice pluviométrico se faz necessário para a perda de estabilidade, mas não é suficiente para tal, ou seja, outros mecanismos complementam para a possível ruptura (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

2.5.1 Pressões Neutras

Conforme Vargas (1977), um maciço está condicionado a apresentar pressões em seu interior na ocorrência ou não de fatores climáticos, essas pressões são características da umidade em que o maciço absorve pelo meio em que está inserido, a pressão neutra é uma delas, e é definida como a pressão que age na água intersticial dos solos, agindo por capilaridade ou gravitação.

A influência da água é ocasionada através da inserção do talude em situações de submersão total ou parcial do maciço, devida à compressão do solo, ao peso próprio, forças de confinamento e deformações por cisalhamento do maciço, provocando a percolação de água e o surgimento de pressões neutras e forças internas ocasionadas por represamento ou pela chuva (VARGAS, 1977).

Conforme Massad (2010), as pressões neutras existentes em um maciço são ocasionadas através de intempéries, das condições de drenagem e existência de lençol freático. Os valores são obtidos por ensaios normatizados ou por observação de taludes semelhantes que possuem piezômetros como forma de medição das pressões. O parâmetro para obtenção da pressão neutra é dada pela Equação (2.2), onde podemos reescrever de acordo com a Equação (2.3).

$$B = \frac{u}{\sigma_v} \quad (2.2)$$

$$B \approx r_u = \frac{u}{\gamma_n \cdot z} \quad (2.3)$$

Onde, a pressão neutra é u , a profundidade é z , o peso específico natural é γ_n e o acréscimo de tensão, denominado σ_v .

2.6 FATOR DE SEGURANÇA

Segundo Das e Sobhan (2014), a estabilização de maciços terrosos é garantida através da determinação de fatores ou coeficientes de segurança, que relacionam com a resistência do maciço perante as forças atuantes em que se encontra, o coeficiente é determinado com a relação da resistência média ao cisalhamento do solo e a tensão de cisalhamento desenvolvida ao longo da superfície de ruptura, assegurando que as forças atuantes não acarretam a ruptura do maciço.

O valor resultante dessa relação não caracteriza como valor real ou existente, e sim uma estimativa, sendo assim, devido ser imprecisa, a relação é fundamentada e detalhada com parâmetros identificados em ensaios laboratoriais (DAS; SOBHAN, 2014). O fator de segurança é expresso pela Equação (2.4).

$$F_S = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.4)$$

Onde, o fator de segurança é o F_S , a resistência média ao cisalhamento do solo é τ_f e a tensão média de cisalhamento ao longo da superfície potencial de ruptura é τ_d .

Das e Sobhan (2014), ressaltam ainda que a identificação da resistência média de cisalhamento de um solo é fundamentada através de duas componentes, sendo elas a coesão (c') e o ângulo de atrito (ϕ'), juntamente com a tensão normal na superfície possível de ruptura (σ'). Da mesma forma, a tensão média de cisalhamento é definida utilizando as mesmas componentes descritas anteriormente, sendo utilizados a coesão (c'_d) e o ângulo de atrito (ϕ'_d) específicos ao longo da superfície potencial de ruptura. Assim, a Equação (2.5) traz o fator ou coeficiente de segurança.

$$F_s = \frac{c' + \sigma' \cdot \operatorname{tg}\phi'}{c'_d + \sigma' \cdot \operatorname{tg}\phi'_d} \quad (2.5)$$

Segundo Das e Sobhan (2014), o fator de segurança não é permanente, visto que a conforme o tempo o maciço perde propriedades e conseqüentemente altera o valor do coeficiente, devido à alteração de carregamentos e a inserção de processos indutores na superfície taludada, interferindo no ângulo de atrito e coesão. Assim, o dimensionamento de um talude deve-se levar em conta situações críticas, possibilitando que o maciço não perca a propriedade de manter-se estável ao longo do período posto em utilização, mesmo havendo alterações posteriormente dos componentes utilizados no memorial de cálculo.

As análises do solo, coletas de dados no local e utilização de ensaios, resultam na identificação das propriedades geotécnicas, geológicas, geohidrológicas, topográficas e geomorfológicas, no qual possibilita identificar o comportamento estimado do maciço através do valor resultante do coeficiente de segurança. Esse valor resultante relaciona com o comportamento do talude, quando F_s resultar em 1 o talude encontra-se em seu estado de ruptura iminente, pois os esforços atuantes são menores que os esforços resistentes, quando o valor se iguala a 1,5 o F_s é considerado aceitável (DAS; SOBHAN, 2014).

2.7 MÉTODOS DE ANÁLISE

Sabendo da existência da infinidade de métodos e ábacos utilizados atualmente, os métodos de análise de estabilidade de taludes podem ser divididos em três grupos, sendo estudos e modelos físicos, modelos matemáticos e de equilíbrio limite. Os estudos em modelos não consideram todas as variantes possíveis sobre a estabilidade, fornecem dados sobre o padrão de comportamento e informações sobre a estabilidade. Os modelos matemáticos possuem aplicação em sistemas descontínuos e tridimensionais, são métodos mais complexos e são limitados pela capacidade dos computadores atuais (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Os métodos de equilíbrio limite são os mais usuais atualmente, pois simplificam as variantes e hipóteses encontradas no maciço, relacionando com os elementos geométricos do maciço, fatores geológicos, geotécnicos e hidrológicos, no entanto, essa simplificação não atende quanto a superfície de ruptura (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

2.7.1 Teoria de Equilíbrio Limite em Métodos de Análise

Na análise da estabilidade de taludes encontram-se vários métodos com suas particularidades, sendo eles os que se utilizam de superfícies planas ou circulares, os que consideram o maciço como um todo ou os que dividem o maciço em fatias e consideram cada fatia para o cálculo, por fim, existem os que utilizam-se da teoria de equilíbrio limite (ECKS, 2014).

Segundo Massad (2010), os métodos que se utilizam da teoria de equilíbrio limite assemelham-se por seguir algumas afirmações, tais como, o comportamento do maciço considerando-o como material rígido plástico, ou seja, rompendo-se sem se deformar, as equações de equilíbrio estático sendo válidas até o momento de ruptura e o coeficiente de segurança considerado constante até ao longo da linha de ruptura.

Através das análises do comportamento dos maciços considerou a utilização de três tipos de métodos mais usuais, sendo o método sueco, onde divide o talude em fatias, o método do círculo de atrito e o método das cunhas, os dois últimos consideram-se o maciço como um todo, ou seja, considera como uma estrutura homogênea (MASSAD, 2010).

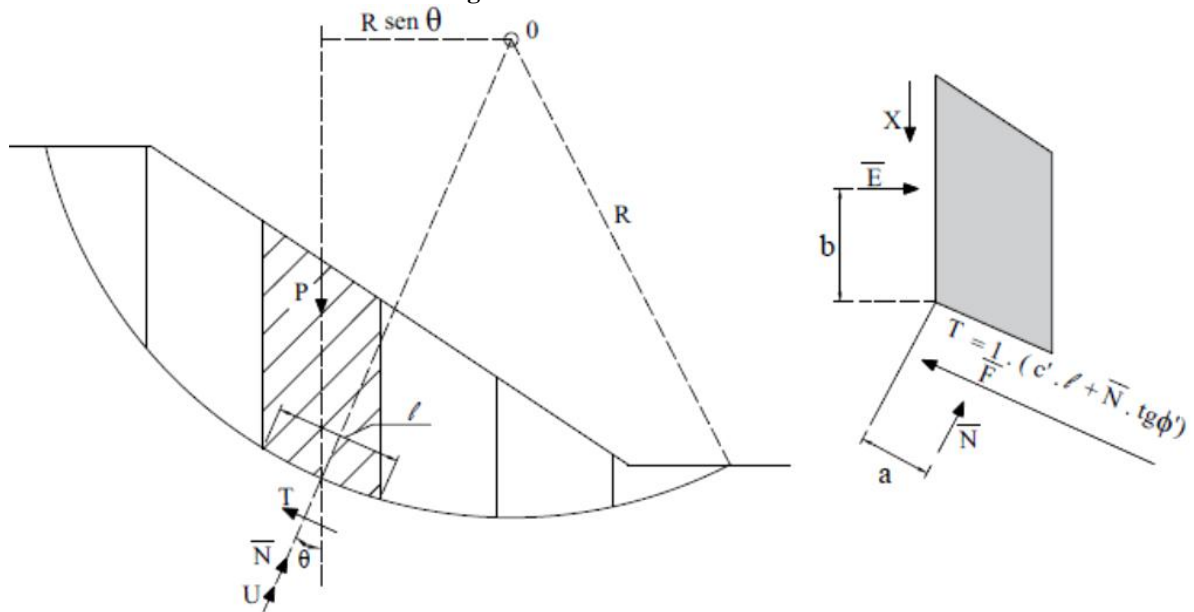
2.7.2 Tipos de Procedimentos em Análise de Estabilidades

2.7.2.1 Método das Fatias

As análises que utilizam os métodos das fatias possuem como procedimento inicial, dividir o corpo do talude em fatias ou lamelas no sentido vertical, com intuito de calcular as forças atuantes e o equilíbrio para cada lamela. A linha de ruptura admitida na consideração dos métodos é definida como um arco de circunferência, dentro dos limites do arco crítico e do corpo do talude, na fatia considerada é então analisado as forças atuantes (MASSAD, 2010).

O método em questão faz parte da teoria de equilíbrio, portanto, a base dos cálculos para aplicação do método consiste no equilíbrio da massa de solo específica para as fatias, resultando nas somatórias das forças verticais, horizontais e momentos atuantes, conforme a Figura 2.5. É usualmente utilizado, pois considera a poropressão e as características do solo nas análises, além de levar em consideração a variabilidade da tensão normal na linha de ruptura (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Figura 2.5- Método das fatias.



Fonte: MASSAD, (2010), modificado pelo autor.

A partir da Figura 2.5, a força T resultante do equilíbrio de forças, mede a resistência mobilizada na fatia, na qual é uma fração de resistência que compõe o fator de segurança, assim, T é obtido pela Equação (2.6).

$$T = \frac{1}{F} \cdot (c' \cdot l + N \cdot \text{tg}\phi') \quad (2.6)$$

De acordo com o método de fatias, a dedução do fator de segurança é dada pela Equação (2.7), sendo válida para os métodos de Fellenius e Bishop.

$$F_s = \frac{\sum (c' \cdot l + N \cdot \text{tg}\phi')}{\sum (P \cdot \text{sen}\theta)} \quad (2.7)$$

Onde, F_s é o fator de segurança, \bar{N} é a força normal na fatia, P a força peso, θ o ângulo resultante entre a força normal na fatia com o eixo y reto, cujo eixo situa no centro da fatia, c' a coesão, ϕ' o ângulo de atrito, por fim, l ou l sendo o comprimento ao longo da linha de ruptura na fatia.

2.7.2.2 Método Geral ou Procedimento de Massa

Das e Sobhan (2014), afirmam que as análises a partir desse método baseiam-se no procedimento de análise considerando o maciço como material homogêneo, logo desconsidera as variações das propriedades e característica dos diferentes tipos de solos existentes no maciço, desse modo aplicam-se as condições de equilíbrio considerando o comportamento do talude como único.

O uso desse tipo de procedimento é recomendado em taludes homogêneos e artificiais, pois é comum a utilização de somente um tipo de solo em aterros, o mesmo não ocorre em taludes naturais, pois são formados por solos residuais, em sua maioria não homogêneos, devido a isso é necessário o conhecimento das propriedades do solo para o uso desse procedimento (DAS; SOBHAN, 2014).

2.8 MÉTODOS DE CÁLCULO PARA DIMENSIONAMENTO DE TALUDES

2.8.1 Taludes Infinitos

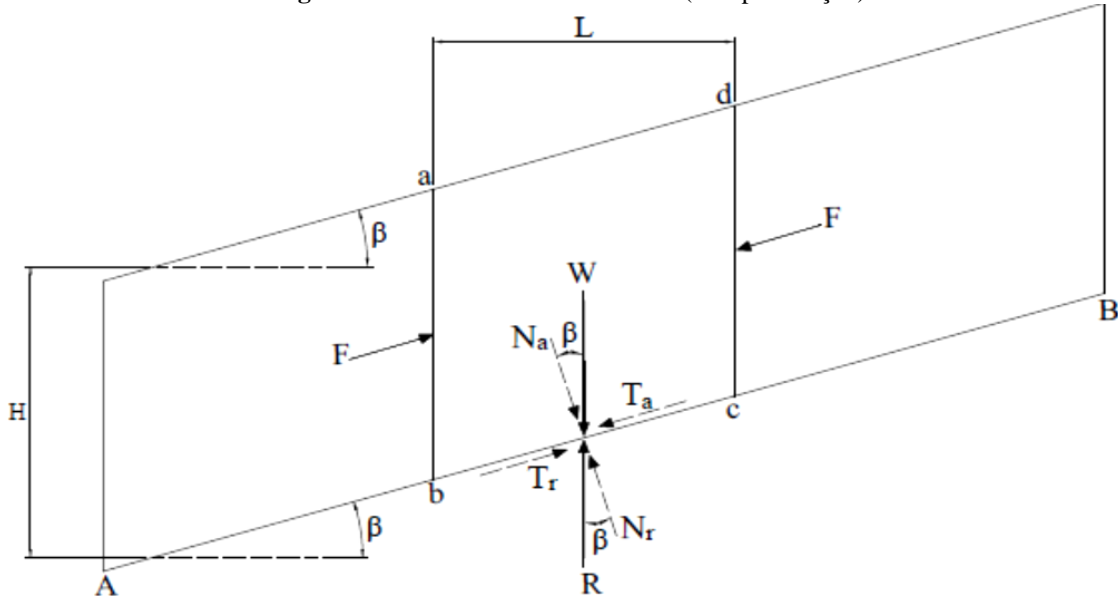
De acordo com Das e Sobhan (2014), taludes infinitos são maciços onde não há percolação, ou seja, não a presença de água que pode adentrar internamente no corpo do maciço, assim o mesmo não se encontra próximo de lençóis freáticos, para possível saturação por percolação, logo assume a poropressão como nula. Nesse caso, considera que a ruptura no talude pode suceder abaixo da superfície do maciço, sendo assim o ponto de ruptura recebe carregamentos oriundos do solo que esta acima do ponto, denominado de peso do elemento do solo (W).

De acordo com a Figura 2.6, levando em consideração que o solo exerce uma força peso no ponto de ruptura, essa força aplicada verticalmente é decomposta a partir do ângulo do talude e do peso do elemento solo. No ponto em questão são aplicadas forças paralelas e perpendiculares ao plano em que localiza a ruptura e opostas as forças, as perpendiculares ocasionam o escorregamento no sentido do plano. Nesse entendimento a força perpendicular é σ' e a paralela é a τ . Considerando a decomposição do peso do elemento de solo acima da ruptura e substituindo na fórmula do fator segurança, obtêm-se a equação do fator de segurança para taludes infinitos, apresentada pela Equação (2.8) (DAS; SOBHAN, 2014).

$$F_s = \frac{c'}{\gamma \cdot H \cdot \cos^2 \beta \cdot \text{tg} \beta} + \frac{\text{tg} \phi'}{\text{tg} \beta} \quad (2.8)$$

Onde, F_s é o fator de segurança, c' a coesão, γ o peso específico do solo, H a altura da camada de solo, β a inclinação do maciço, por fim, ϕ' o ângulo de atrito.

Figura 2.6- Análise de talude infinito (sem percolação).



Fonte: DAS; SOBHAN, (2014), modificado pelo autor.

Braja e Khaled (2014), ainda discorrem que os elementos da equação podem ser substituídos por $F_s = 1$ e $H = H_{cr}$, quando o solo possuir coesão e atrito, pode ser determinada a profundidade do plano de onde ocorre o equilíbrio crítico, resultando na Equação (2.9).

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma} \cdot \frac{1}{\cos^2\beta \cdot (tg\beta - tg\phi')} \quad (2.9)$$

2.8.1.1 Taludes Infinitos com Percolação Constante

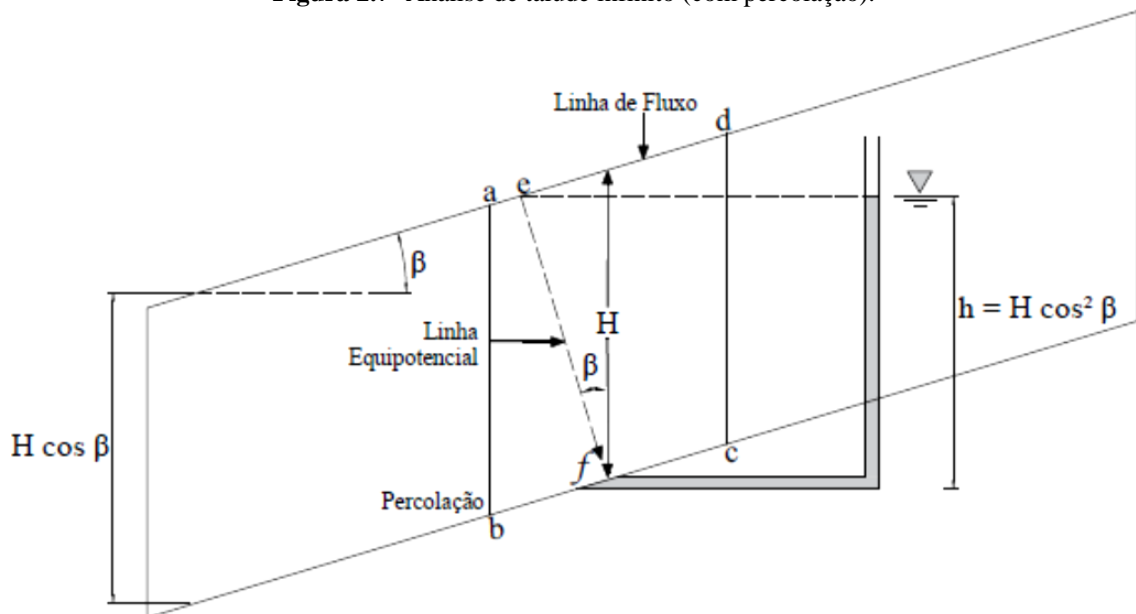
A ocorrência da percolação constante em um talude infinito diferencia do sem percolação por considerar a presença de água no solo, assim, por se tratar de um talude infinito o ponto de ruptura considerado está concentrado na superfície inferior do talude, sendo assim, a percolação interfere no peso total do elemento de solo, pois o peso específico do solo encontra-se saturado (DAS; SOBHAN, 2014).

De acordo com Das e Sobhan (2014), da mesma forma decompondo o valor do peso do elemento do solo com a inclinação do maciço, obtém-se a tensão total e a tensão de cisalhamento, sendo assim a equação geral do fator de segurança com relação à resistência é dada na Equação (2.10), possuindo como parâmetro a Figura 2.7.

$$F_s = \frac{c'}{\gamma_{sat} \cdot H \cdot \cos^2 \beta \cdot \text{tg} \beta} + \frac{\gamma' \cdot \text{tg} \phi'}{\gamma_{sat} \cdot \text{tg} \beta} \quad (2.10)$$

Onde, F_s é o fator de segurança, c' a coesão, γ' o peso específico do solo, γ_{sat} o peso específico saturado do solo, H a altura da camada de solo, β a inclinação do maciço, por fim, ϕ' o ângulo de atrito.

Figura 2.7- Análise de talude infinito (com percolação).



Fonte: DAS; SOBHAN, (2014), modificado pelo autor.

2.8.2 Taludes Finitos

Das e Sobhan (2014), consideram talude finito aquele cujo valor correspondente de H_{cr} fica próximo à altura do maciço. Após o surgimento de vários métodos para análise de estabilidade de taludes, resultaram que a superfície de ruptura real é representada por uma superfície cilíndrica e circular. Assim, o método de Culmann passou a ser menos utilizados em análises de taludes, visto que parte do princípio em que a ruptura do talude ocorre em superfícies de rupturas planas.

Verificações das análises de taludes finitos ocorrem em maioria através da consideração da ruptura em superfícies circulares, cuja ruptura pode resultar no escorregamento da superfície, impedindo a estabilização da face do talude, denominada de ruptura de face. A ruptura superficial de face desenvolve em uma das partes da face da superfície do talude, ou seja, o escorregamento não atinge a face total do mesmo. Na ruptura

de base o escorregamento desenvolve ao longo da face chegando até o pé do talude (DAS; SOBHAN, 2014).

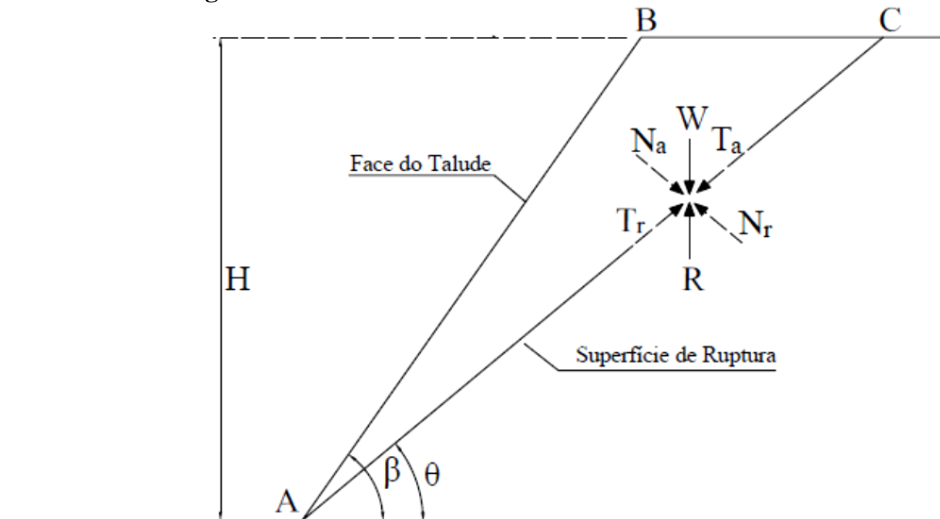
Em taludes finitos as análises podem ocorrer através de superfícies circulares e superfícies planas, mesmo não sendo o recomendado. Devido a algumas circunstâncias de taludes específicos, como em barragens zoneadas e fundações com estratos fracos, a análise mais apropriada é a plana, pois o método fornece resultados satisfatórios em taludes com inclinação alta, por isso em se tratando de taludes finitos o método de Culmann é o mais recomendado (DAS; SOBHAN, 2014).

2.8.2.1 Método de Culmann

Segundo Das e Sobhan (2014), a análise do método baseia-se na ruptura de um talude na ruptura de superfície plana, cuja ruptura inicia-se pelo pé do talude, o escorregamento é provocado quando a tensão cisalhante média é maior que a resistência ao cisalhamento do solo.

Verifica-se na Figura 2.8 o esquema de forças atuantes no maciço, sendo as de peso próprio (W) e as tensões cisalhantes, juntamente com as resultantes e componentes de cada.

Figura 2.8- Análise de talude finito – Método Culmann.



Fonte: DAS; SOBHAN, (2014), modificado pelo autor.

Das e Sobhan (2014), ainda afirmam que a aplicação do método é realizada em taludes íngremes, onde o H_{cr} se aproxima da altura do talude configurando em um talude finito, e para execução da análise é necessário o conhecimento da superfície de ruptura para

determinar as forças de equilíbrio atuantes na superfície, essa análise considera o material da superfície de ruptura como um todo, ou seja, o maciço será homogêneo.

O método possibilita análise de várias superfícies de ruptura com finalidade de encontrar o menor valor do fator de segurança, considerando o fator utilizável como sendo o menor valor obtido. Além disso, o método tem como intuito desenvolver uma análise crítica da estabilidade do talude, sendo assim busca supor o plano de ruptura crítica da estrutura, através da utilização do ângulo de atrito máximo ao longo da superfície de ruptura (ϕ'_d), visando encontrar o ângulo (θ) onde a coesão resultante seria a máxima (DAS; SOBHAN, 2014).

Assim, a coesão desenvolvida ao longo da superfície de ruptura, considerando como máxima é fornecida pela Equação (2.11):

$$c'_d = \frac{\gamma \cdot H}{4} \cdot \left[\frac{1 - \cos \cdot (\beta - \phi'_d)}{\text{sen} \cdot \beta \cdot \cos \cdot \phi'_d} \right] \quad (2.11)$$

Onde, c'_d é a coesão desenvolvida ao longo da superfície de ruptura, γ é o peso específico do solo, H a altura do talude, β o ângulo do talude, por fim, ϕ'_d o ângulo de atrito desenvolvido ao longo da superfície de ruptura.

Considerando $c'_d = c'$ e $\phi'_d = \phi'$ e substituindo na Equação (2.11), determina-se a altura máxima ou crítica, pela Equação (2.12):

$$H_{cr} = \frac{4 \cdot c'}{\gamma} \cdot \left[\frac{\text{sen}\beta \cdot \cos\phi'}{1 - \cos \cdot (\beta - \phi')} \right] \quad (2.12)$$

Onde, H_{cr} a altura máxima ou crítica do talude, c' é a coesão, γ é o peso específico do solo, β o ângulo do talude, por fim, ϕ' o ângulo de atrito.

O fator de segurança pode ser obtido pela expressão do fator de segurança em relação à coesão, dada pela Equação (2.13).

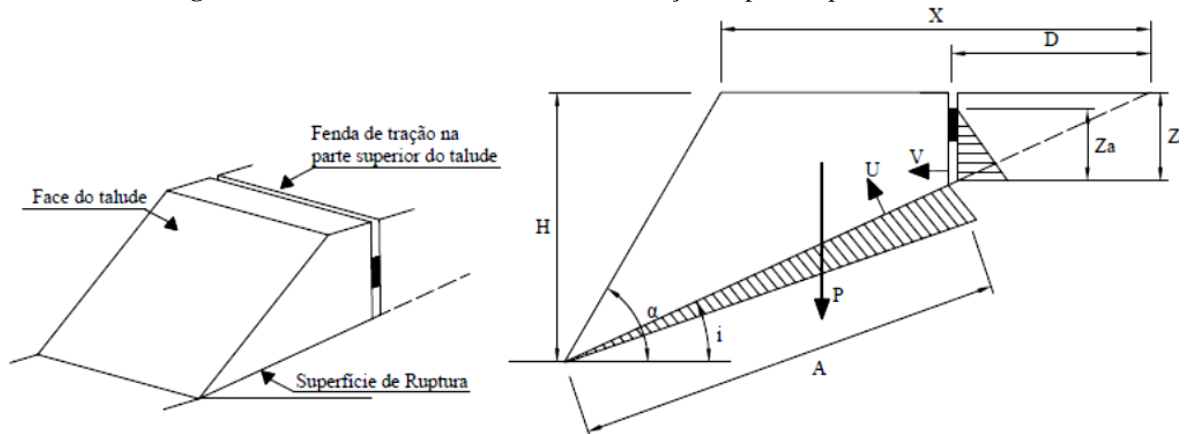
$$F_s \text{ ou } F_{c'} = \frac{c'}{c'_d} \quad (2.13)$$

Sendo, $F_{c'}$ o fator de segurança em relação à coesão, c' a coesão, e c'_d a coesão desenvolvida ao longo da superfície de ruptura.

2.8.3 Método Gráfico

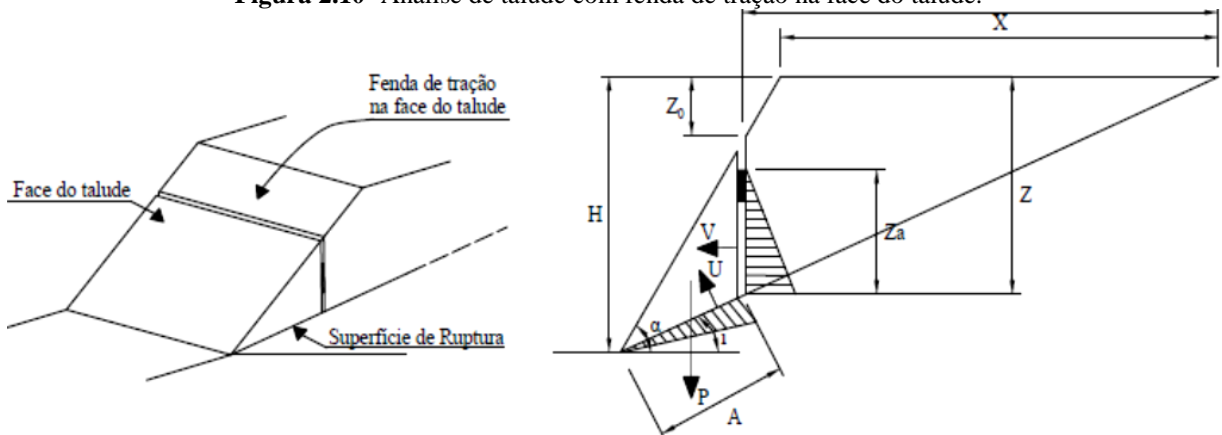
Guidicini e Nieble (1983), afirmam que o método gráfico utiliza-se do modo de ruptura plana, considera-se a hipótese de uma fenda de tração no corpo do talude, podendo estar localizada na face ou na superfície superior do talude, conforme a Figura 2.9 e 2.10. A consideração da fenda assume as seguintes hipóteses, sendo ela vertical, preenchida por água a certa profundidade, inexistência de momentos, resistência nos contornos laterais da linha de ruptura, infiltração da água por meio da fenda na superfície de ruptura e percolação da água até a face do talude e por fim a resistência ao cisalhamento ao longo da linha de ruptura.

Figura 2.9- Análise de talude com fenda de tração na parte superior do talude.



Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

Figura 2.10- Análise de talude com fenda de tração na face do talude.



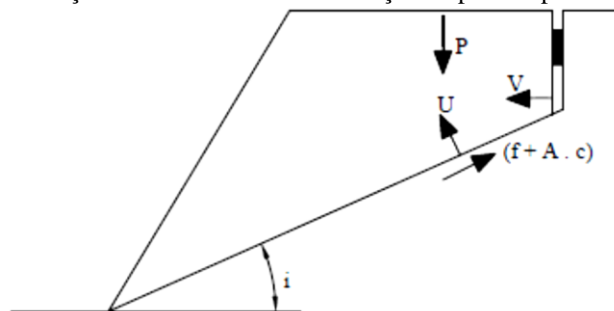
Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

Considerando as condições presentes para as análises de superfícies planas, ditas anteriormente, o método gráfico baseia-se na análise bidimensional da geometria do talude,

executando o diagrama de forças na seção transversal do mesmo (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

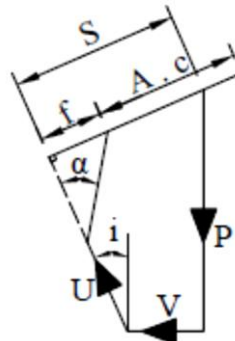
A partir das seções transversais dos taludes com a inserção da fenda de tração, a análise do método consiste graficamente na representação das forças P , V e U atuantes no maciço, conforme a Figura 2.11 e 2.12, onde através de seus resultados serão postos graficamente e analisados para obtenção dos dados que compõem a Equação (14) do fator de segurança (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Figura 2.11- Forças atuantes com fenda de tração na parte superior do talude.



Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

Figura 2.12- Forças atuantes com fenda de tração na face do talude.



Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

A partir da representação gráfica das forças obtém-se o fator de segurança correspondente ao método, dado pela Equação (2.14).

$$F_s = \frac{f + A \cdot c}{S} \quad (2.14)$$

Onde, F_s é o fator de segurança, f a força de atrito que resiste ao escorregamento, $A \cdot c$ o comprimento da força coesiva que resiste ao escorregamento, S representa o esforço sollicitante ao escorregamento.

2.8.4 Método Fellenius

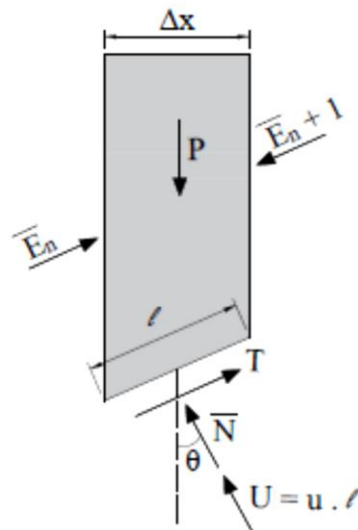
O método de Fellenius também conhecido por outras bibliografias como método sueco ou de fatias, foi desenvolvido por Fellenius e possui como característica principal a análise de fatias ou lamelas do corpo do talude, resultante da divisão do corpo do maciço em fatias verticais. A superfície de ruptura considerada no método é a circular, mesmo não conhecendo de fato a superfície de ruptura o método em si, pressupõe a análise de vários círculos com o intuito da obtenção do menor valor do fator de segurança (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Segundo Massad (2010), a execução dos cálculos se dá através das análises de cada fatia utilizando a teoria do equilíbrio limite como princípio, com o intuito de obter os valores correspondentes da força normal existente na fatia. O objetivo do método é a obtenção da expressão do fator de segurança a partir da realização do equilíbrio das forças na direção da força normal à base da fatia, ou seja, na direção do raio do círculo de ruptura.

Analisando a Figura 2.13 e aplicando o equilíbrio de forças na seção transversal da fatia, obtém-se a Equação (2.15).

$$\bar{N} = P \cdot \cos\theta - u \cdot \Delta x \cdot \sec\theta \quad (2.15)$$

Figura 2.13- Esquemas de forças resultantes na fatia no método de Fellenius.



Fonte: MASSAD, (2010), modificado pelo autor.

Onde, \bar{N} é a força normal na fatia, P a força peso, u é a pressão neutra, Δx a largura da fatia e θ o ângulo resultante entre a força normal na fatia com o eixo y reto, cujo eixo situa no centro da fatia, conforme a Figura 2.13.

A determinação da expressão da força normal possibilita a substituição na equação do fator de segurança, obtendo-se a Equação (2.16).

$$F_s = \frac{\Sigma [c' \cdot l + (P \cdot \cos\theta - u \cdot \Delta x \cdot \sec\theta) \cdot \operatorname{tg}\phi']}{\Sigma (P \cdot \operatorname{sen}\theta)} \quad (2.16)$$

Onde, F_s é o fator de segurança, P a força peso, u é a pressão neutra, Δx a largura da fatia, θ o ângulo resultante entre a força normal na fatia com o eixo y reto, cujo eixo situa no centro da fatia, c' a coesão, ϕ' o ângulo de atrito, por fim, ℓ ou l sendo o comprimento ao longo da linha de ruptura na fatia.

Guidicini e Nieble (1983), complementam que a utilização do método Fellenius não apresenta grande confiabilidade, pois está sujeito a ocorrência de erros graves pela forma que considera as pressões neutras existentes nas faces da fatia.

Assim, o método Fellenius parte da análise que as forças laterais existentes entre as fatias sejam iguais em ambos os lados, resultando-se em uma hipótese equivocada, sendo assim, as componentes das forças da pressão neutra por atuarem também na direção horizontal encontra-se na direção normal da base da fatia, ou seja, no mesmo sentido do equilíbrio de forças, desconsiderando-se nos cálculos a componente horizontal da pressão neutra. (GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Conforme Massad (2010), o método Fellenius é considerado um método simples e não rigoroso, por essa razão não é indicado em estruturas que possuem maior potencial de ruptura ou que estejam em meio propício a ruptura por forças externas ou quando submerso total ou parcial por água, visto que os fatores de segurança obtido possuem grandes desvios quando comparado a métodos rigorosos.

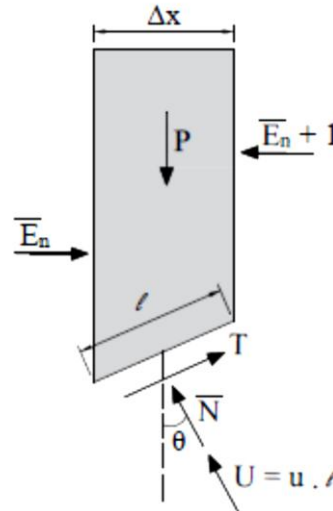
2.8.5 Método Bishop

Em 1955 Bishop deduziu o método para análises de taludes, no qual ficou conhecido como método Bishop simplificado, considerado como o principal método que popularizou o método das fatias, usualmente utilizado na aplicação de superfícies circulares de ruptura é válida também em superfícies planas. Em comparação com outros métodos, o seu diferencial encontra-se em considerar os efeitos dos empuxos e cisalhamento (VARGAS, 1977).

A análise permeia através do equilíbrio de forças na fatia ou lamela, no entanto, o método desconsidera o equilíbrio de forças cortantes, ou seja, supõe que as forças verticais

atuantes nas fatias são nulas, reduzindo o número de incógnitas do método de fatias, assim, o método tem como princípio o equilíbrio de momentos (ECKS, 2014).

Figura 2.14- Esquemas de forças resultantes na fatia no método de Bishop.



Fonte: MASSAD, (2010), modificado pelo autor.

Com a determinação da equação de equilíbrio no sentido vertical, denominada como a força normal total atuante na base da fatia, conforme a Figura 2.14, e tendo em vista a equação (6) deduzida pelo método das fatias, a expressão resultante é a Equação (2.17).

$$N = \frac{P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}}{\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}} \quad (2.17)$$

Onde, \bar{N} é a força normal na fatia, P a força peso, u a pressão neutra, F o coeficiente de segurança referencial, ϕ' o ângulo de atrito, Δx a largura da fatia, c' a coesão e θ o ângulo resultante entre a força normal na fatia com o eixo y reto, cujo eixo situa no centro da fatia.

Assim, isolando a expressão em função de F_s , com a substituição da Equação (2.17) com a Equação (2.7), obtém-se a Equação (2.18).

$$F_s = \frac{\Sigma \left[c' \cdot l + \frac{P - u \cdot \Delta x - c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta / F}{\cos \theta + \operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta / F} \cdot \operatorname{tg} \phi' \right]}{\Sigma (P \cdot \operatorname{sen} \theta)} \quad (2.18)$$

Onde considera para cada fatia do maciço, F_s o fator de segurança, F o fator de segurança de referência ou fator referencial, P a força peso, u a pressão neutra, Δx a largura

da fatia, θ o ângulo resultante entre a força normal na fatia com o eixo y reto, cujo eixo situa no centro da fatia, c' a coesão, ϕ' o ângulo de atrito, por fim, ℓ ou l sendo o comprimento ao longo da linha de ruptura na fatia.

De acordo com Massad (2010), a obtenção do resultado é condicionada a adoção de um valor inicial de F alocado dentro da equação do método de Bishop, denominado de fator de segurança referencial, onde esse valor pode ser definido por exemplo, como $F1$, para que assim o resultado do cálculo informe o valor do coeficiente de segurança, denominado como $F2$.

O procedimento do método continua com a análise comparativa do valor adotado $F1$ e o valor resultante de $F2$, verificando a precisão decimal entre os dois valores, caso a precisão escolhida não for satisfatória, o mesmo procedimento é realizado, utilizando agora o resultado do $F2$ como valor adotado dentro da expressão, desse modo, é encontrado o novo valor para o fator de segurança, denominado como $F3$, assim realiza consecutivamente até obter a precisão estipulada (MASSAD, 2010).

O método de Bishop não é recomendado quando o denominador de \overline{N} for negativo e nulo, isso ocorre quando o ângulo (θ) no pé do talude e o denominador de F forem negativo e quando a pressão neutra (u) for satisfatoriamente grande, logo é necessário a aplicação de um método mais rigoroso (MASSAD, 2010).

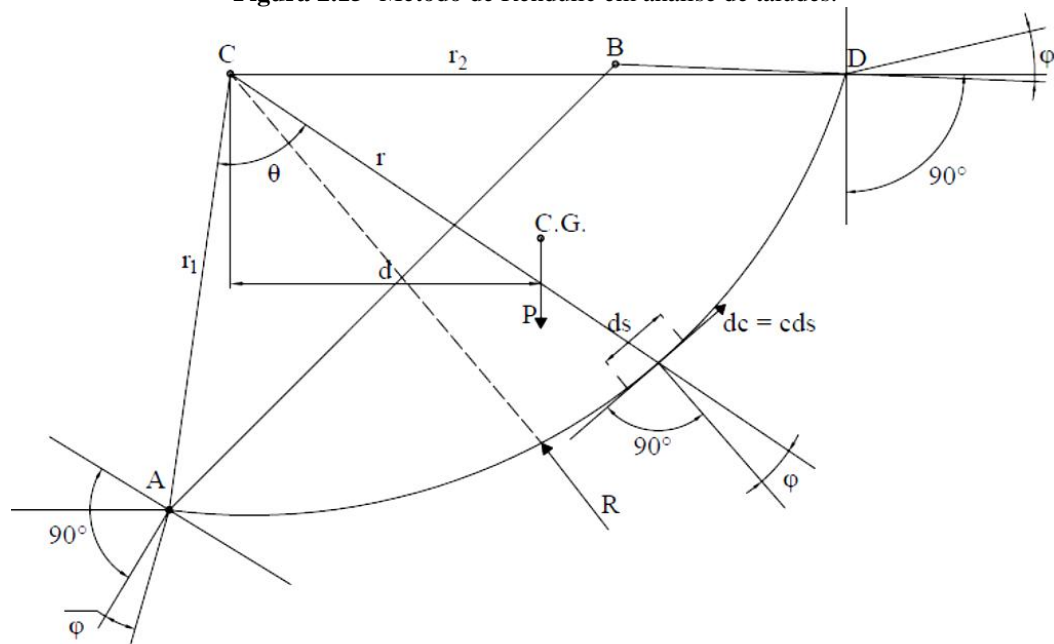
2.8.6 Método de Rendulic ou da Espiral Logarítmica

Segundo Vargas (1977), a análise do método possui como princípio uma espiral logarítmica como superfície de escorregamento, ainda assim é considerado como um método de ruptura circular, mesmo que o raio vetor da espiral não seja constante.

De acordo com Guidicini e Nieble (1983), para análise de estabilidade é necessário realizar o equilíbrio dos momentos das forças atuantes, no qual é o peso próprio do maciço na superfície de ruptura, e dos momentos das forças resistentes em relação ao ponto O , cujo momento da resultante da força de atrito serão nulos.

As condições de análise para tal método configura em considerar o início da linha de ruptura no pé do talude, traçar um ponto O de forma arbitrária como centro da espiral logarítmica, onde as resistências de atrito passando pelo centro da espiral resultarão no ângulo de atrito ϕ , conforme a Figura 2.15 (VARGAS, 1977).

Figura 2.15- Método de Rendulic em análise de taludes.



Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

. Diante das hipóteses e considerações do método, a resultante do fator de segurança é dada pela Equação (2.19).

$$F_s = \frac{c \cdot (r_2^2 - r_1^2)}{2 \cdot \text{tg} \phi \cdot Pd} \quad (2.19)$$

Onde, o fator de segurança é o F_s ; a coesão do solo é o c ; o raio inicial da espiral logarítmica, que inicia no pé do talude ao ponto O é o r_1 ; o raio final da espiral logarítmica, que inicia na parte superior ou topo do talude ao ponto O é o r_2 ; o ângulo de atrito do solo é o ϕ ; e o momento resultante em relação ao ponto O , denominado como Pd .

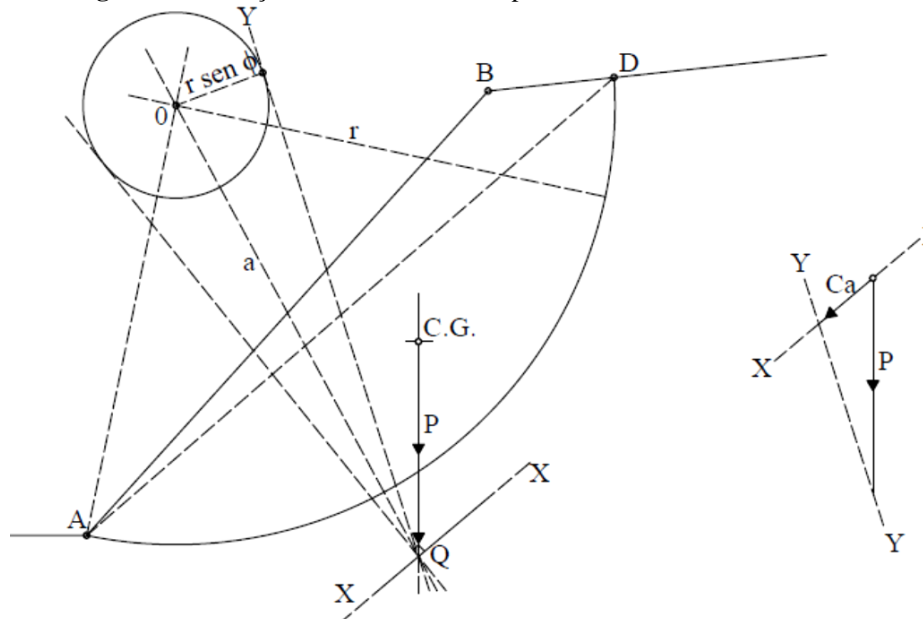
Vargas (1977), reforça que ao aplicar o método em um maciço que no qual não se conhece sobre a superfície de ruptura, é necessário a repetição do método sucessivamente até a descoberta da possível superfície de ruptura, variando a posição do ponto O para cada superfície de ruptura analisada. Além do mais, o fator de segurança deve ser superior a 1,3 para que o talude seja considerado estável.

2.8.7 Método do Círculo de Atrito

Segundo Guidicini e Nieble (1983), o método baseia-se no conceito de cone de atrito desenvolvido por Hoek e Bray, é um método bastante gráfico, bastante usual em taludes

rochosos, cuja superfície de ruptura considerada é a circular. O método consiste em traçar um círculo qualquer como sendo a possível superfície de ruptura, com centro O e raio r , em seguida o círculo de atrito com o centro também no ponto O e de raio $r \sin \phi$. A partir de então, determina-se as direções das forças de coesão (C) e do peso do material (P), traçando posteriormente um diagrama de forças para obtenção da seção de análise, conforme a Figura 2.16.

Figura 2.16- Forças atuantes em taludes pelo método do círculo de atrito.



Fonte: GUIDICINI; NIEBLE, (1983), modificado pelo autor.

Guidicini e Nieble (1983), ainda afirmam que esse tipo de método utiliza-se de duas equações para a obtenção do fator de segurança, sendo o fator de segurança em relação à coesão do solo e em relação ao ângulo de atrito do solo, conforme as Equações (2.20) e (2.21).

$$F_{SC} = \frac{C}{C_{FS}} \quad (2.20)$$

Sendo, o fator de segurança em relação a força devida a coesão de F_{SC} , a força devida a coesão de C e a força coesiva necessária para o equilíbrio de C_{FS} .

$$F_{S\phi} = \frac{tg\phi}{tg\phi_{FS}} \quad (2.21)$$

Onde, o fator de segurança em relação ao ângulo de atrito é $F_{S\phi}$, o ângulo de atrito necessário para a estabilidade é ϕ_{FS} , e por fim, o ângulo de atrito é ϕ .

Assim, aplicando de acordo com os métodos anteriormente descritos, quando não se tem conhecimento da superfície de ruptura é necessário realizar sucessivas tentativas de vários círculos prováveis de ruptura, para o descobrimento do círculo de ruptura que resulta nos valores mínimos de F_{SC} e $F_{S\phi}$.

2.9 PARÂMETROS DO SOLO PELO ENSAIO SPT

Schnaid e Odebrecht (2014), apresentam uma resolução para obtenção de parâmetros do solo a partir dos resultados de um ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), onde o ensaio permite correlacionar as propriedades do solo com a resistência à penetração do amostrador SPT (N_{SPT}).

As equações relacionadas aos índices físicos do solo torna-se uma alternativa para determinação de valores característicos do solo, quando não realiza-se ensaios específicos para essa finalidade. O peso específico natural do solo pode ser obtido através da Equação (2.22), onde γ_{nat} é o peso específico natural do solo, γ_d o peso específico aparente seco e w o teor de umidade, (PINTO,2006).

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{nat}}{1 + w} \quad (2.22)$$

Em prosseguimento ao método de obtenção dos parâmetros do solo, Pinto (2006), utiliza-se do princípio das tensões no solo, mais conhecido como princípio de Terzaghi, para a determinação das tensões atuantes no maciço. A tensão vertical total exercida no maciço é definida pela Equação (2.23), onde σ é a tensão vertical total, z a altura ou profundidade, γ_{nat} sendo o peso específico do solo natural.

$$\sigma = z \cdot \gamma_{nat} \quad (2.23)$$

A pressão atuante da água é determinada através da Equação (2.24), onde u é a pressão neutra ou poropressão, z_w a profundidade em relação ao nível de água e γ_w o peso específico da água, adotado como 10 kN m³, (PINTO, 2006).

$$u = z_w \cdot \gamma_w \quad (2.24)$$

A partir da constatação do princípio de Terzaghi, a tensão vertical efetiva (σ'_v) é obtida através da subtração da tensão vertical total (σ) pela pressão neutra (u), conforme a Equação 2.25, (PINTO,2006).

$$\sigma'_v = \sigma - u \quad (2.25)$$

Conforme Schnaid e Odebrecht (2014), solos granulares, ou seja, solos com presença de areias recomendam-se a correção do valor do N_{SPT} , podendo ser por meio da aplicação de conceitos de energia. O coeficiente de correção tem como intuito corrigir a tensão efetiva de sobrecarga no maciço, considerando o efeito do nível de tensões no local, garantindo assim resultados mais precisos. A Equação (2.26) determina o coeficiente de correção, onde o CN é o coeficiente de correção e σ'_v a tensão vertical efetiva. (SCHNAID; ODEBRECHT, 2014).

$$CN = \sqrt{\frac{100}{\sigma'_v}} \quad (2.26)$$

A Equação (2.27) denominada de $N_{SPT,1}$ corrigido, se dá pelo número de golpes, N_{SPT} , e pelo coeficiente de correção CN .

$$N_{SPT,1} = N_{SPT} \cdot CN \quad (2.27)$$

A correção da energia de cravação do N_{SPT} é indispensável sempre quando se utiliza ensaios como o SPT para a determinação de parâmetros físicos do solo. Logo, a Equação (2.28) determina os valores corrigidos da energia de cravação do N_{SPT} , implementando um valor de referência baseado no padrão internacional entre a energia de referência e a energia empregada durante o ensaio. Com isso, a Equação (2.28) do $N_{SPT,60}$ corrigido é estabelecida pelo número de golpes corrigido ($N_{SPT,1}$), a energia liberada adotada pelo padrão internacional de 60% ou 0,6, e a energia aplicada proposta no estudo de cerca de 66% da energia teórica de queda livre (*Energia Aplicada*), (SCHNAID, ODEBRECHT, 2014).

$$N_{SPT,60} = \frac{N_{SPT,1} \cdot \text{Energia Aplicada}}{0,60} \quad (2.28)$$

Segundo Schnaid e Odebrecht (2014), obtendo o valor do N_{SPT} e realizado suas devidas correções, a estimativa do valor do ângulo de atrito pode ser determinada através da Equação (2.29) proposta por Hatanaka e Uchida, onde ϕ' é o ângulo de atrito e $N_{SPT,60}$ é o valor corrigido.

$$\phi' = 20^\circ + \sqrt{15,4 \cdot N_{SPT,60}} \quad (2.29)$$

O valor do ângulo de atrito encontrado possibilita a determinação da tensão cisalhante através da Equação (2.30), conhecida como equação da envoltória de Coulomb, onde σ é a tensão total, ϕ' o ângulo de atrito e τ a tensão cisalhante, (SCHNAID, ODEBRECHT, 2014).

$$\tau = \sigma \cdot \text{tang}\phi' \quad (2.30)$$

Com a obtenção desses parâmetros do solo, a coesão pode ser determinada por meio da Equação (2.31), onde c' é a coesão efetiva, σ'_v a tensão vertical efetiva, ϕ' o ângulo de atrito e τ a tensão cisalhante, (SCHNAID, ODEBRECHT, 2014).

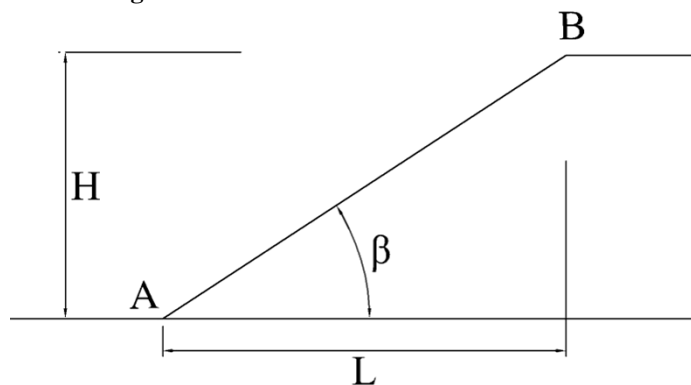
$$c' = \tau - \sigma'_v \cdot \text{tang}\phi' \quad (2.31)$$

3 METODOLOGIA

3.1 ESPECIFICAÇÕES DO TALUDE

A Figura 3.1 apresenta o modelo de talude utilizado no estudo, onde H é altura do talude, L o comprimento da inclinação do talude, A o pé do talude, B a crista ou topo do talude e β inclinação do talude.

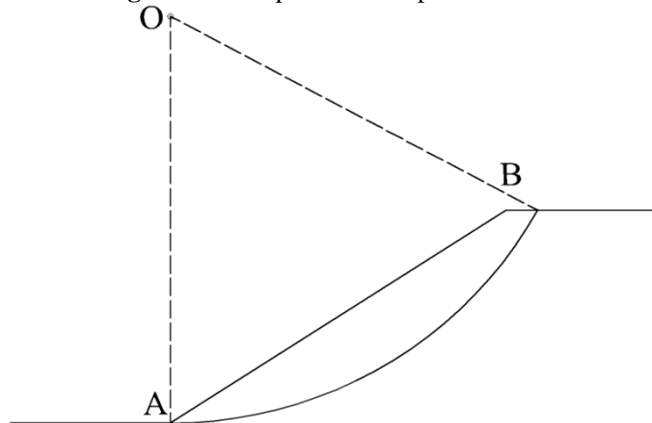
Figura 3.1 – Índices físicos do solo analisado.



Fonte: Autor, (2020).

O conhecimento da área de potencial ruptura no talude será através da ruptura circular, devido ser o mais utilizado em análises de estabilidade e por ser frequente em aplicações nos métodos de Fellenius e Bishop. Conforme a Figura 3.2 é fixada o ponto O como centro da circunferência, com raio que possibilita que o círculo incide no vértice A do talude, delimitando a superfície de ruptura.

Figura 3.2 – Superfície de ruptura circular.



Fonte: Autor, (2020).

O presente estudo aplicará o método das fatias para análise de estabilidade dos taludes, no qual a superfície de ruptura dos cinco taludes será dividida em seis fatias, onde as larguras das fatias do talude analisado serão iguais. Assim, a largura da fatia (Δx) estará condicionada pelo comprimento reto da superfície de ruptura, compreendida entre o início do arco de ruptura no ponto *A* até o encontro final no topo do talude, conforme a Figura 3.2.

O dimensionamento dos taludes obedecerá cinco variações de altura, correspondendo em taludes de T – 1 ao T – 5. A Tabela 3.1 traz os taludes, juntamente com sua altura *H*, seu comprimento *L* e seu ângulo de inclinação β , conforme a Figura 3.1. O ângulo de inclinação do talude é obtido através de relações trigonométricas, através do arco tangente da divisão do cateto oposto (*H*) pelo cateto adjacente (*L*), resultando no ângulo β .

Tabela 3.1 – Especificação das características dos taludes.

Taludes	<i>H</i> (m)	<i>L</i> (m)	β
T – 1	4,50	5,00	41,99°
T – 2	4,00	5,00	38,66°
T – 3	3,50	5,00	34,99°
T – 4	3,00	5,00	30,96°
T – 5	2,50	5,00	26,56°

Fonte: Autor, (2020).

3.2 DETERMINAÇÕES DO FATOR DE SEGURANÇA

A análise da estabilidade do talude será determinada pelo método das fatias conjuntamente com o método de Bishop Simplificado. A Equação (2.18), que se refere ao fator de segurança do método de Bishop Simplificado, é condicionada à adoção de um valor referencial do fator de segurança aplicado dentro da equação, para assim resultar no fator de segurança final, após a realização de análises do valor encontrado com o valor de referência.

Conforme a NBR 11682 (ABNT, 2009) adotando o grau de segurança no local como alto, de acordo com a Tabela 3.2, o valor de referência considerado para o fator segurança será o mínimo de 1,50 para o dimensionamento do primeiro talude, adotando aos demais dimensionamentos o fator de segurança obtido nos dimensionamentos anteriores, para que

não haja a necessidade de efetuar vários recálculos, caso o fator de segurança de referência de 1,50 não for suficiente para determinar um valor correto e próximo.

Tabela 3.2 – Utilização de modelos matemáticos para análise de estabilidade.

Grau de segurança necessário ao local	Métodos baseados no equilíbrio limite	Tensão deformação
	Padrão: fator de segurança mínimo	Padrão: deslocamento máximo
Alto	1,50	Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o grau de segurança necessário ao local, à sensibilidade de construções vizinhas e à geometria do talude. Os valores assim calculados devem ser justificados.
Médio	1,30	
Baixo	1,15	

Fonte: ABNT, (2009), modificado pelo autor.

Assim, conforme afirma Massad (2010), o método de Bishop Simplificado é condicionado a adoção do fator de segurança de referência ou referencial, fazendo parte da expressão e atuando como um fator divisor no cálculo. A efetuação dos cálculos da expressão, resulta no fator de segurança, no entanto, para satisfazer o método é necessário comparar o fator de segurança adotado e o fator de segurança resultante, verificando a aproximação e enquadramento na precisão decimal estipulada, essa precisão é definida de forma transitória, pelo responsável do dimensionamento, conforme as características do estudo.

Com isso, o método pressupõe a efetuação de recálculos para obtenção de um valor real e preciso do coeficiente, partindo de uma análise comparativa da variação entre o fator de segurança de referência e o valor final resultante, nesse estudo a variação permitida será de 3 centésimos de diferença entre o valor final e o de referência, variação definida conveniente.

Logo, a determinação do fator de segurança resultará de um processo iterativo e consecutivo, até que os valores se enquadram na precisão permitida, caso contrário, o fator de segurança obtido é recalculado utilizando-o como fator de segurança referencial.

De acordo com a Equação (2.18) do fator de segurança por Bishop, a equação foi dividida em etapas de (1) a (5) para entendimento e demonstração dos cálculos, conforme a

Tabela 3.3. A etapa (5) determina o valor do fator de segurança, após a execução dos cálculos das etapas anteriores.

Tabela 3.3 – Etapas de cálculo para definição do fator de segurança.

Fator de Segurança (5)				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \text{tg}\theta}{F}$	$\cos\theta + \frac{\text{tg}\phi' \cdot \text{sen}\theta}{F}$	$P \cdot \text{sen}\theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \text{tg}\phi'$	$F_s = \frac{\Sigma(4)}{\Sigma(3)}$

Fonte: Autor, (2020).

Assim, as etapas (1), (2), (3) e (4) estão alocadas dentro da expressão do método de Bishop Simplificado, divididas dessa forma com o intuito de melhor entendimento e visualização. Na etapa (5) é apresentado o resultado do fator de segurança das etapas efetuadas anteriormente de forma sequenciada, onde o resultado da etapa (4) é definido como o somatório dos esforços resistentes e a etapa (3) sendo o somatório dos esforços atuantes.

3.3 PARÂMETROS DO SOLO

O talude proposto para objeto de estudo foi especificado através de uma sondagem, executando-se o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) para obtenção das características e parâmetros do solo. As informações obtidas do ensaio resultaram no tipo de solo classificado como silte arenoso em toda sua totalidade, conforme o Anexo A.

O SPT realizado não identificou os parâmetros do solo, com isso realizou-se a obtenção através de fórmulas desenvolvidas por Liao e Withman e equações dos índices físicos, no qual a identificação das informações está em função do peso específico natural do solo, coeficiente de correção do ensaio, profundidade e o N_{SPT} .

De acordo com os resultados do ensaio há a necessidade de calcular a atuação da pressão neutra no maciço, por apresentar o nível de água a três metros de profundidade. Assim, a pressão atuante da água é determinada através da Equação (2.24), onde z_w será compreendido pela profundidade entre a linha do nível de água até profundidade do SPT, e o peso específico da água γ_w será adotado de 10 kN m³.

A Tabela 3.4 permite relacionar o tipo de solo identificado no ensaio obtendo-se valores típicos do peso específico aparente seco (γ_d) e o teor de umidade (w), através desses índices, o peso específico natural do solo (γ_{nat}) pode ser estimado.

Tabela 3.4 – Índice de vazios, teor de umidade e peso específico seco para alguns solos típicos em estado natural.

Tipo de solo	Índice de Vazios (e)	Teor de umidade	Peso específico seco (γ_d)	
		Natural em um Estado saturado (%)	lb/ft ³	kN/m ³
Areia uniforme fofa	0,8	30	92	14,5
Areia uniforme compacta	0,45	16	115	18
Areia siltosa com granulação angular fofa	0,65	25	102	16
Areia siltosa com granulação angular compacta	0,4	15	121	19
Argila rijá	0,6	21	108	17
Argila mole	0,9-1,4	30-50	73-93	11,5-14,5
Loess	0,9	25	86	13,5
Argila orgânica mole	2,5-3,2	90-120	38-51	6-8
Till glacial	0,3	10	134	21

Fonte: BRAJA; KHALED, (2014), modificado pelo autor.

O peso específico natural do solo é obtido através da Equação (2.22), onde γ_{nat} é o peso específico natural do solo, γ_d o peso específico aparente seco e w o teor de umidade. O tipo de solo determinado através do ensaio SPT é correlacionando com a Tabela 3.4, que apresenta os parâmetros típicos de solos e obtém-se o peso específico aparente seco.

Extraindo os valores do teor de umidade e peso específico aparente seco através da Tabela 3.4, obtém-se a Tabela 3.5 com os resultados das considerações utilizadas.

Tabela 3.5 – Índices físicos do solo analisado.

Solo	γ_d (kN/m^3)	w (%)	γ_{nat} (kN/m^3)
Areia siltosa com granulação angular compacta	19	15	21,85

Fonte: Autor, (2020).

A tensão vertical total exercida no maciço é calculada pela Equação (2.23), considerando uma camada de silte arenoso conforme a Tabela 3.5, compreendida pela profundidade do ensaio.

Pela incidência do nível de água no solo, a tensão total e efetiva não será igual, havendo a necessidade de sua determinação. A tensão vertical efetiva (σ'_v) é obtida através da Equação 3.4.

Pelo o ensaio SPT possuir grande ocorrência de variáveis que podem influenciar na execução e resultado do procedimento, é necessário determinar um coeficiente de correção da tensão efetiva de sobrecarga (CN), definido pela Equação (2.26). Em seguida a correção do número de golpes corrigido pela tensão de sobrecarga ($N_{SPT,I}$), obtido pela Equação (2.27), pois o solo em questão é um solo granular e de acordo com Schnaid e Odebrecht (2014) é recomendado a correção do N_{SPT} .

Além da correção das tensões efetivas no solo, o $N_{SPT,I}$ passa por uma segunda correção referente a energia de cravação, conforme a Equação (2.28), implementando um valor de referência de 60% baseado no padrão internacional, além disso, a energia de aplicação no estudo é estipulada em 66% da energia teórica de queda livre.

O ângulo de atrito pode ser determinado a partir de vários modos, pelo ensaio SPT, por ensaios específicos, ábacos e tabelas, dentre das variadas bibliografias e equações, a determinação do ângulo de atrito foi definida pela Equação (2.29), proposta por Hatanaka e Uchida, no qual se utiliza de resultados do ensaio SPT.

A tensão cisalhante será definida pela equação da envoltória de Coulomb, expressa pela Equação (2.30). Posteriormente com a obtenção da tensão de cisalhamento, prossegue a determinação da coesão do solo, de acordo com a Equação (2.31), obtendo-se a coesão efetiva do solo.

Por fim, os parâmetros do solo determinado pelo ensaio SPT serão utilizados nos dimensionamentos dos fatores de segurança dos taludes. Assim, através dos resultados do SPT obtidos na execução do ensaio na área de análise do talude e após as deduções em equações, a Tabela 3.6 demonstra as especificações dos parâmetros do solo.

Tabela 3.6 – Especificação dos parâmetros do solo no talude.

Ensaio SPT								
σ (kPa)	u (kPa)	σ'_v (kPa)	CN	$N_{SPT,1}$	$N_{SPT,60}$	Φ'	τ (kPa)	c' (kPa)
162,78	44,50	118,28	0,91	47,32	52,05	48,31°	182,76	49,96

Fonte: Autor, (2020).

3.4 OBTENÇÃO DOS DADOS RESULTANTES DO MÉTODO DAS FATIAS

O método das fatias possibilitará a determinação da análise de estabilidade, através dos dados fornecidos após a aplicação do método no *croqui* do talude. A obtenção das informações será obtida através do *software* AutoCAD® 2019, no qual as especificações de cada talude foram representadas em desenho, possibilitando a aplicação do método das fatias.

Os taludes representados serão todos divididos em 6 fatias iguais, logo, o Δx irá variar de acordo com o comprimento da reta compreendida do início e o fim da superfície de ruptura, dividindo assim a área de ruptura em fatias. Com o auxílio do *software* é determinado os valores resultantes da largura da fatia (Δx), comprimento inclinado da linha de ruptura (l), ângulo (θ) e a área, através dos comandos de medições de comprimento reto, inclinado, ângulo e área, respectivamente.

A determinação da força peso (P) atuante em cada fatia é obtida pela multiplicação da área da fatia pelo peso específico natural do solo, ressaltando que a força peso atua no centro da fatia.

A pressão neutra (u) é determinada individualmente em cada fatia, pela Equação (2.24), o peso específico da água é adotado de 10 kN m³ e a profundidade em relação ao nível da água obedecerá de uma análise nas fatias sobre se há influência ou não da pressão neutra. Caso haja influência da pressão neutra na fatia, a profundidade em relação ao nível da água será compreendida pelo comprimento que se inicia no eixo do nível da água até o ponto de encontro da força peso (P) com o limite da linha de ruptura de cada fatia.

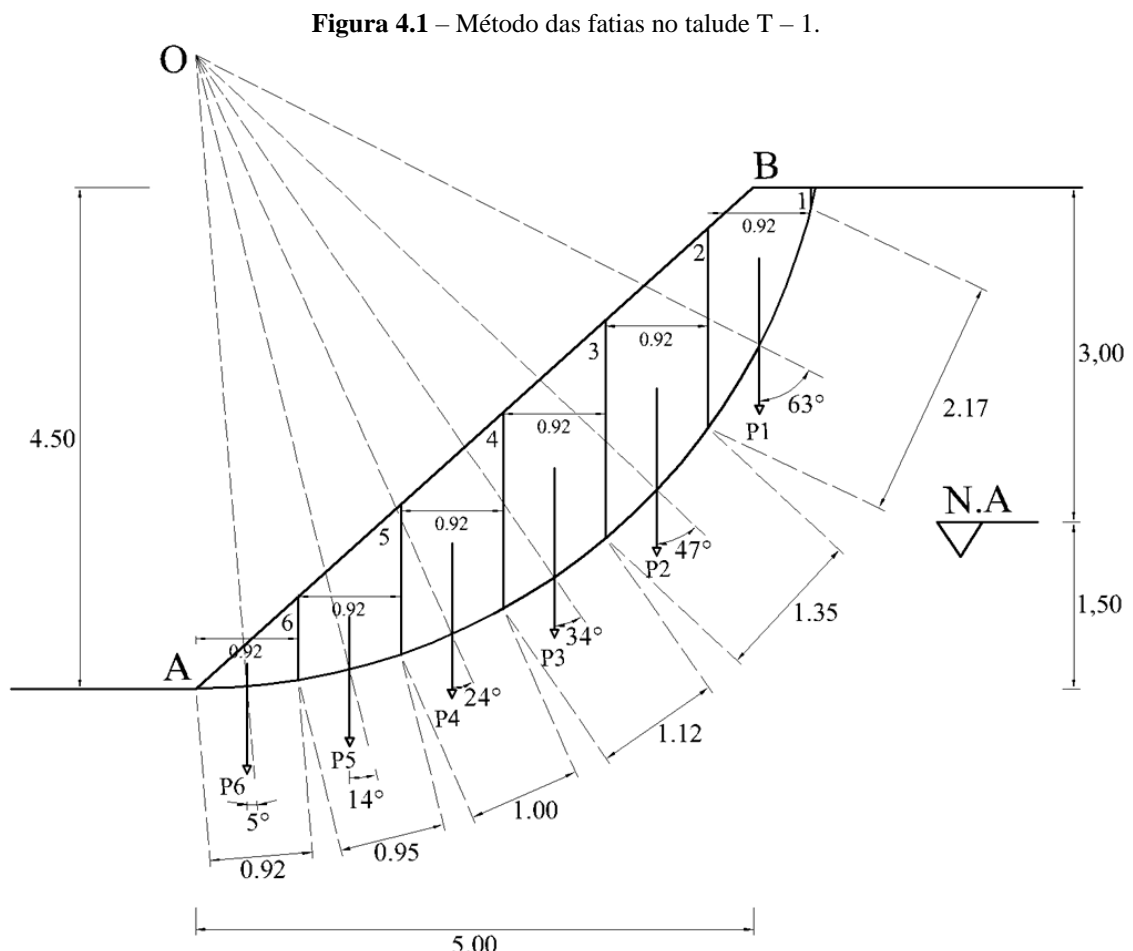
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. DIMENSIONAMENTO DO FATOR DE SEGURANÇA

Os dimensionamentos dos 5 taludes foram utilizados os parâmetros do solo conforme a Tabela 3.6, determinados a partir das informações do ensaio SPT efetuado na área do talude. O procedimento para a determinação do fator de segurança é compreendido no Apêndice B e os resultados completos dos cálculos e recálculos de cada talude no Apêndice C.

4.1.1 Fator de Segurança Talude T – 1

Aplicando o método das fatias no talude denominado como T – 1, e conforme as especificações do corpo do talude pela Tabela 3.1, o talude T – 1 é dividido em fatias, nesse caso em 6 fatias, cuja largura da fatia (Δx) é de 0,92 metros, determinado após a divisão das fatias no comprimento reto do início ao fim da área de ruptura, de acordo com a Figura 4.1.



Conforme a Figura 4.1, após a divisão das fatias extrai os resultados referentes a cada fatia, de acordo com a Tabela 4.1, obtendo-se a área da superfície de ruptura, a força peso exercida (P), o ângulo formado pela linha do ponto O até o ponto da força peso (θ), o comprimento da linha de ruptura (l) e a pressão neutra (u), que age a partir da profundidade de 3 metros no maciço.

Tabela 4.1 – Resultados encontrados pelo método das fatias.

T-1 Fatias	<i>Área (m²)</i>	<i>P (kN/m)</i>	θ	Δx (m)	l (m)	<i>u (kN/m³)</i>
1	1,15	25,13	63°	0,92	2,17	0
2	1,76	38,46	47°	0,92	1,35	0
3	1,73	37,80	34°	0,92	1,12	5,00
4	1,44	31,46	24°	0,92	1,00	10,00
5	0,97	21,19	14°	0,92	0,95	13,30
6	0,35	7,65	5°	0,92	0,92	14,80

Fonte: Autor, (2020).

Através da Figura 4.1, a superfície de ruptura foi dividida em seis fatias iguais de largura de 0,92 metros, e a partir desse *croqui* no *software* AutoCAD® foi obtido os valores correspondentes de cada fatia e conseqüentemente a força peso atuante, através da multiplicação do peso específico natural do solo com a área da fatia.

O ângulo (θ) é formado através de uma linha que liga o ponto O ao ponto de encontro da força peso (P) com a linha de ruptura, o mesmo procedimento é aplicado as outras fatias. A pressão neutra é determinada nas fatias abaixo do nível de água, através da Equação (3.3), onde a faixa que possui influência da pressão neutra é compreendida pela distância entre o nível de água até o ponto de encontro da força peso (P) com a linha de ruptura.

Conforme a Tabela 4.2, o cálculo é realizado por etapas que foram desmembradas da Equação (2.18), considerando o fator de segurança referencial (F) de 1,50, o cálculo completo com as demais fatias é apresentado no Apêndice C, juntamente com os recálculos.

Tabela 4.2 – Cálculo do fator de segurança T - 1, considerando F = 1,50.

T-1	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 1,50 Fatia	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	-35,01	1,12	22,39	73,35
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				3,95

Fonte: Autor, (2020).

De acordo com o método de Bishop Simplificado, é necessário realizar consecutivamente os cálculos para obtenção de um novo valor do fator de segurança, pois houve uma grande variação entre o valor adotado do fator de segurança de referência de 1,50 para o valor obtido na Tabela 4.2, de 3,95 não se enquadrando na variação permitida do estudo. Assim, o coeficiente de segurança encontrado não é o valor exato que age no maciço, caracterizando na margem de erro que o método prevê na execução dos cálculos.

O coeficiente de segurança encontrado não pode ser considerado, logo, é necessário realizar o recálculo de modo análogo ao cálculo do fator de segurança, utilizando o fator de segurança encontrado na Tabela 4.2 como o novo valor de referência (F), conforme a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Recálculo do fator de segurança T - 1, considerando F = 3,95.

T-1	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 3,95 Fatia	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	2,29	0,71	22,39	112,05
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				5,07

Fonte: Autor, (2020).

O coeficiente de segurança encontrado na Tabela 4.3 ainda não satisfaz a variação permitida, havendo mais de 3 centésimos de diferença entre o valor considerado de referência e o valor final, a partir disso realiza-se o segundo recálculo adotando novo fator de segurança de referência (F) de 5,07, conforme a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Recálculo do fator de segurança T - 1, considerando $F = 5,07$.

T-1	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 5,07				
Fatia	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	7,34	0,65	22,39	121,06
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				5,30

Fonte: Autor, (2020).

Novamente o fator de segurança de referência não foi suficiente para enquadrar-se na variação permitida, portanto, é realizado o terceiro recálculo com o novo valor de (F), de 5,30, apresentado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Recálculo do fator de segurança T - 1, considerando $F = 5,30$.

T-1	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 5,30				
Fatia	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	8,11	0,64	22,39	122,58
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				5,33

Fonte: Autor, (2020).

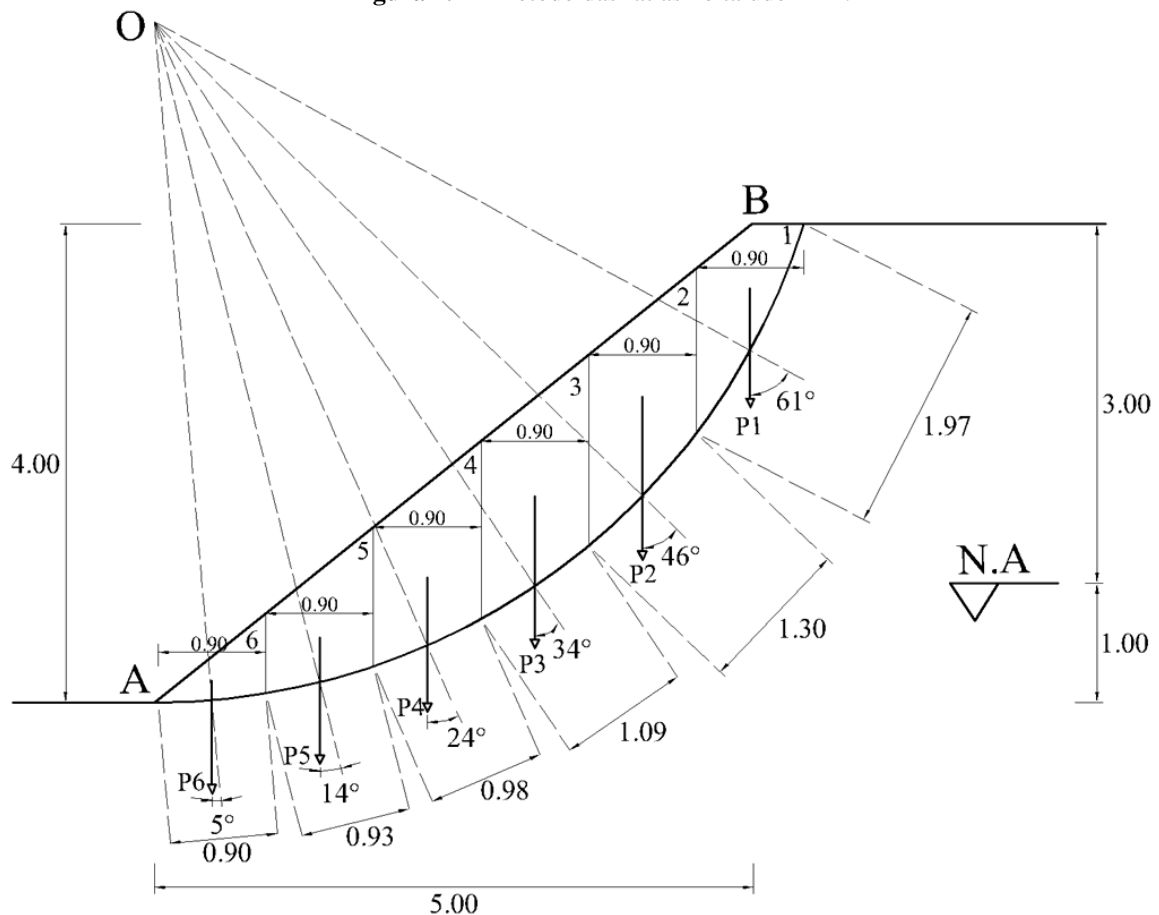
Por fim, a Tabela 4.5 resultou no fator de segurança de 5,33, cujo valor foi considerado aceitável, pois a variação encontrada com o fator de segurança de referência foi

de exatamente 3 centésimos. A análise demonstrou que o talude T – 1 possui a condição estável, pois as forças resistentes são maiores que as solicitantes, apresentando um coeficiente de segurança de 5,33, considerado alto.

4.1.2 Fator de Segurança Talude T – 2

A determinação do talude T – 2 será condicionada as características do talude apresentado na Tabela 3.1, sendo a altura de 4 metros, o comprimento de 5 metros e a inclinação do talude de $38,66^\circ$, de acordo com a Figura 4.2.

Figura 4.2 – Método das fatias no talude T-2.



Fonte: Autor, (2020).

A Figura 4.2 apresenta a variação T – 2 submetido ao método das fatias, cuja largura da fatia (Δx) é de 0,90 metros, a resultante dos valores pelo método das fatias é demonstrado na Tabela 4.6. Segundo a determinação do ensaio SPT, o nível da água está localizado a uma profundidade de três metros do nível do topo do talude.

Tabela 4.6 – Resultados encontrados pelo método das fatias na variação T -2.

T-2 Fatias	Área (m²)	P (kN/m)	θ	Δx (m)	l (m)	u (kN/m³)
1	0,81	17,70	61°	0,90	1,97	0
2	1,37	29,93	46°	0,90	1,30	0
3	1,40	30,59	34°	0,90	1,09	0
4	1,20	26,22	24°	0,90	0,98	5,20
5	0,83	18,13	14°	0,90	0,93	8,30
6	0,32	6,99	5°	0,90	0,90	9,80

Fonte: Autor, (2020).

O procedimento de cálculo descrito no dimensionamento do talude T – 1 será realizado de forma análoga para o dimensionamento do talude T – 2, extraindo-se as informações da Figura 4.2. Por já ter conhecimento do fator de segurança do talude T – 1, o valor de 5,33 encontrado será utilizado como fator de segurança de referência no dimensionamento da variação T – 2, de acordo com a Tabela 4.7, pois os parâmetros do solo de ambos são iguais e a tendência é que o valor de T – 2 seja superior.

Tabela 4.7 – Cálculo do fator de segurança T - 2, considerando F = 5,33.

T-2 Fatias	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 5,33				
	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	2,48	0,67	15,48	102,58
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				6,40

Fonte: Autor, (2020).

O fator de segurança referencial de 5,33 não foi suficiente para resultar em um fator de segurança adequado, cujo valor encontrado na Tabela 4.7 foi de 6,40, por essa razão

procede o recálculo utilizando 6,40 como o fator de segurança referencial (F), conforme com a Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Recálculo do fator de segurança T -2, considerando $F = 6,40$.

T-2	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 6,40				
Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \text{tg}\theta}{F}$	$\cos\theta + \frac{\text{tg}\phi' \cdot \text{sen}\theta}{F}$	$P \cdot \text{sen}\theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \text{tg}\phi'$
1	5,03	0,64	15,48	107,26
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				6,56

Fonte: Autor, (2020).

O coeficiente de segurança determinado na Tabela 4.8 de 6,56 e o coeficiente de referência de 6,40 resultaram próximos, no entanto, não se enquadraram na variação de 3 centésimos, havendo a necessidade de recálculo com (F) sendo 6,56, segundo a Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Recálculo do fator de segurança T -2, considerando $F = 6,56$.

T-2	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 6,56				
Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \text{tg}\theta}{F}$	$\cos\theta + \frac{\text{tg}\phi' \cdot \text{sen}\theta}{F}$	$P \cdot \text{sen}\theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \text{tg}\phi'$
1	5,33	0,63	15,48	107,86
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				6,58

Fonte: Autor, (2020)

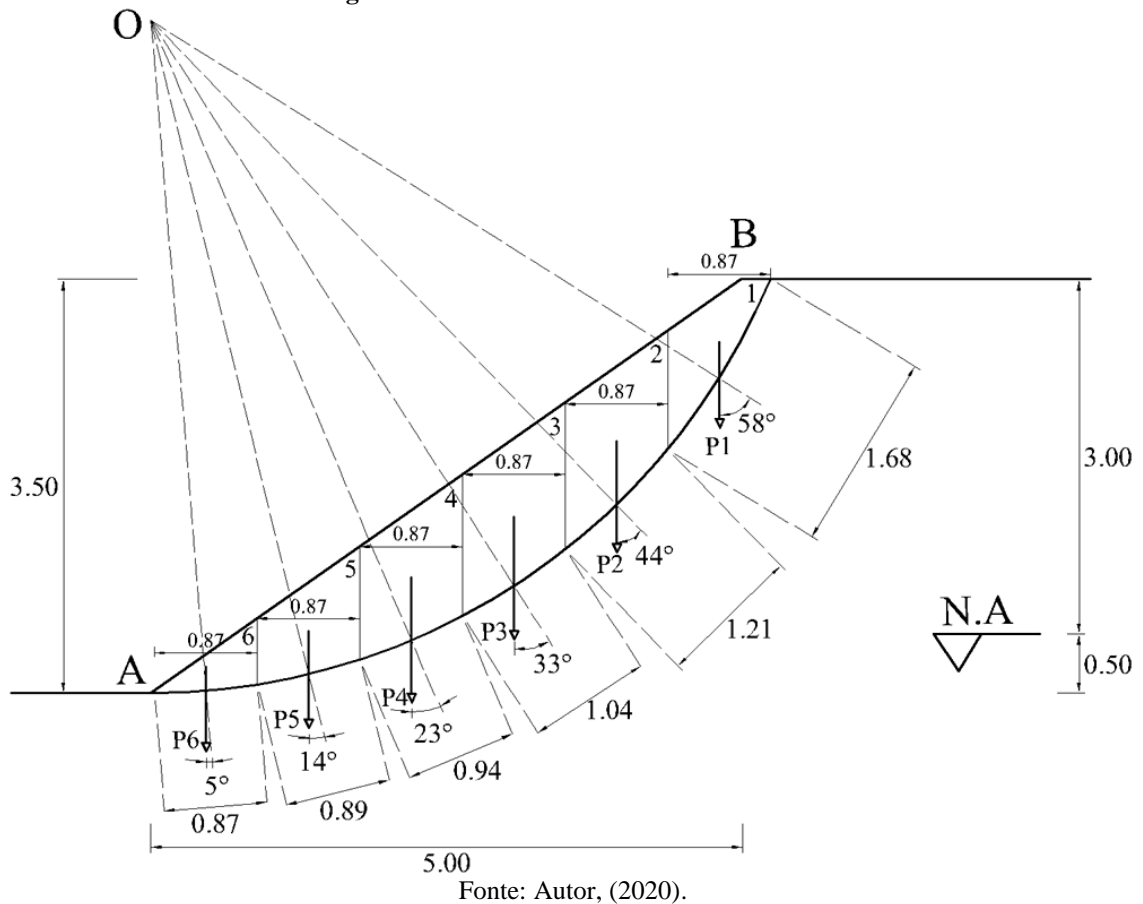
Enfim, conforme a Tabela 4.9, o fator de segurança obtido de 6,58 foi considerado apropriado em comparação com o fator referencial (F) de 6,56, estando dentro da variação permitida. Assim, pode-se afirmar que o talude T – 2 possui uma condição estável, pois

quanto maior o coeficiente de segurança em relação ao coeficiente mínimo de 1,50, menor será a possibilidade de o talude sofrer ruptura.

4.1.3 Fator de Segurança Talude T – 3

O dimensionamento referente ao T – 3 está especificado a uma altura de 3,50 metros, comprimento de 5 metros, inclinação do talude de $34,99^\circ$ e o nível da água verificado a 3 metros de profundidade do topo do talude. A Figura 4.3 apresenta os valores resultantes da aplicação do método das fatias na variação T – 3, cuja área da superfície de ruptura foi dividida em 6 fatias de largura de 0,87 metros (Δx).

Figura 4.3 – Método das fatias no talude T-3.



A partir da Figura 4.3, obtém-se os dados pertinentes para o dimensionamento apresentado na Tabela 4.10, onde apresenta os resultados das fatias sobre a área, força peso (P), comprimento da linha de ruptura (l), interferência da pressão neutra (u) e o ângulo atuante (θ), obtidos através do procedimento descrito nos dimensionamentos anteriores.

Tabela 4.10 – Resultados encontrados pelo método das fatias na variação T -3.

T-3 Fatias	<i>Área (m²)</i>	<i>P (kN/m)</i>	<i>θ</i>	<i>Δx (m)</i>	<i>l (m)</i>	<i>u (kN/m³)</i>
1	0,56	12,24	58°	0,87	1,68	0
2	1,04	22,72	44°	0,87	1,21	0
3	1,08	23,60	33°	0,87	1,04	0
4	0,95	20,76	23°	0,87	0,94	0
5	0,67	14,64	14°	0,87	0,89	3,50
6	0,26	5,68	5°	0,87	0,87	4,80

Fonte: Autor, (2020).

De acordo com a Tabela 4.11, o fator de segurança determinado no talude T – 2, de 6,58 foi utilizado como fator de referência (*F*) no dimensionamento do talude T – 3, por se tratar de um valor conhecido sobre o solo em questão.

Tabela 4.11 – Cálculo do fator de segurança T - 3, considerando *F* = 6,58.

T-3 Fatias	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 6,58				
	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	1,67	0,67	10,38	86,71
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				8,05

Fonte: Autor, (2020).

Tendo em vista a Tabela 4.11, o resultado obtido do fator de segurança foi de 8,05 considerando o fator referencial de 6,58, a comparação entre ambos foi maior que a variação de 3 centésimos permitida no estudo, logo, a Tabela 4.12 apresenta o recálculo realizado com o fator referencial (*F*) de 8,05.

Tabela 4.12 – Recálculo do fator de segurança T - 3, considerando F = 8,05.

T-3	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 8,05				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	3,60	0,65	10,38	90,17
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				8,21

Fonte: Autor, (2020).

O fator de segurança resultante de 8,21 não foi satisfatório em comparação com o fator referencial adotado de 8,05, havendo cerca de 16 décimos de diferença. Assim, a Tabela 4.13 demonstra o recálculo utilizando o valor de 8,21 como fator de segurança referencial (F).

Tabela 4.13 – Recálculo do fator de segurança T - 3, considerando F = 8,21.

T-3	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 8,21				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	3,77	0,65	10,38	90,48
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				8,23

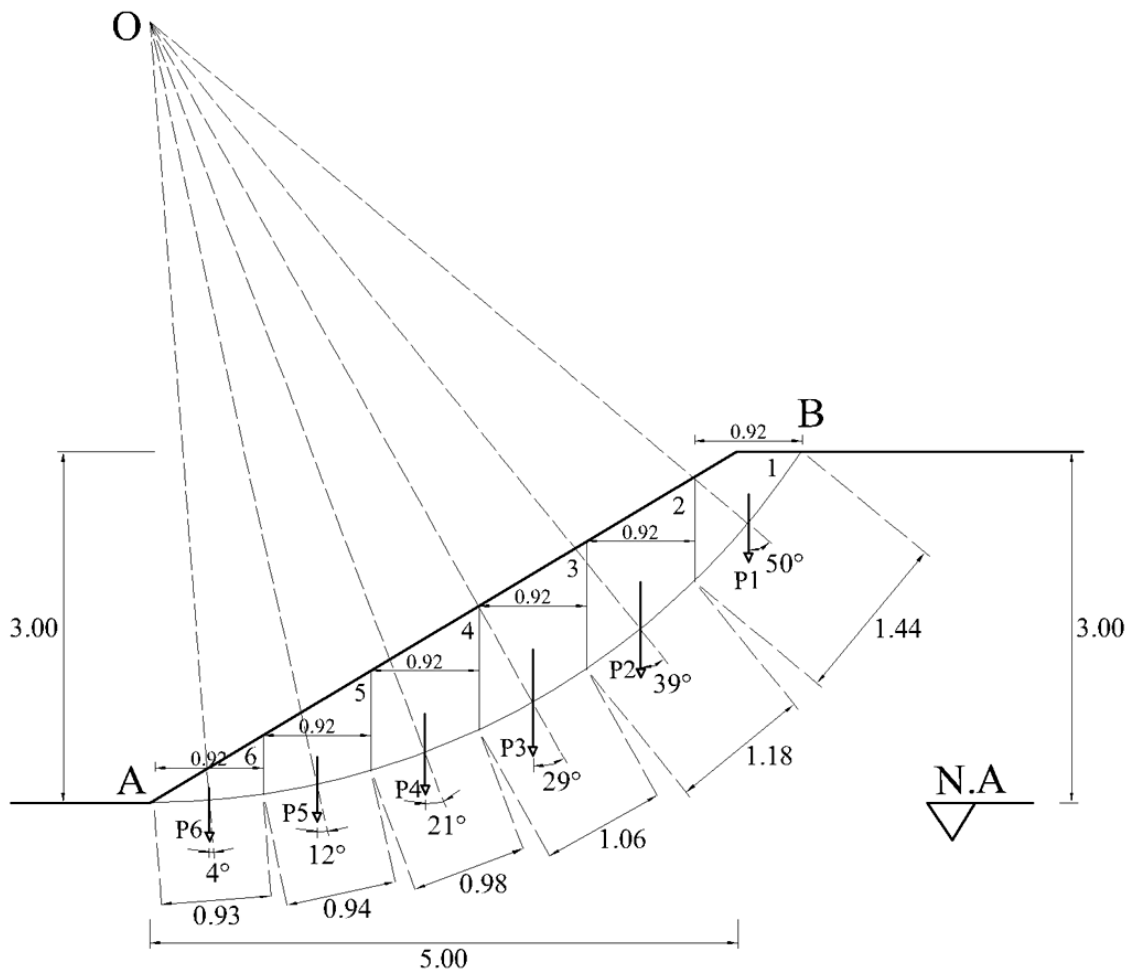
Fonte: Autor, (2020).

Por fim, a Tabela 4.13 objetivou em um valor adequado com 2 centésimos de discrepância, resultando no fator de segurança do talude T – 3 de 8,23. Portanto, o talude se encontra em condição estável, pois apresenta o coeficiente diferente e maior que 1, ou seja, não se encontra no estado limite de estabilidade associada a iminência de ruptura, visto que as forças resistentes não são iguais e menores que as forças solicitantes.

4.1.4 Fator de Segurança Talude T – 4

Em conformidade com os dimensionamentos anteriores, o fator de segurança no talude T – 4 terá como base a Figura 4.4, que apresenta os valores após a aplicação do método das fatias, no qual a superfície de ruptura foi dividida em 6 fatias, que resultaram na largura da fatia (Δx) de 0,92 metros cada uma. As especificações da variação T – 4 é compreendida pela altura de 3 metros, comprimento de 5 metros e inclinação do talude de $30,96^\circ$.

Figura 4.4 – Método das fatias no talude T– 4.



Fonte: Autor, (2020).

A partir da Figura 4.4, obtém-se as informações da Tabela 4.14, determinado conforme o procedimento descrito no dimensionamento do talude T – 1. Os valores obtidos das 6 fatias são a área, força peso (P), comprimento da linha de ruptura (l), interferência da pressão neutra (u) e o ângulo atuante (θ). Nesse talude não haverá interferência da pressão neutra, pois o nível da água se encontra a 3 metros de profundidade do topo do talude, não incidindo na área das fatias.

Tabela 4.14 – Resultados encontrados pelo método das fatias na variação T - 4.

T-4 Fatias	<i>Área (m²)</i>	<i>P (kN/m)</i>	<i>θ</i>	<i>Δx (m)</i>	<i>l (m)</i>	<i>u (kN/m³)</i>
1	0,51	11,14	50°	0,92	1,44	0
2	0,94	20,54	39°	0,92	1,18	0
3	1,01	22,07	29°	0,92	1,06	0
4	0,89	19,45	21°	0,92	0,98	0
5	0,64	13,98	12°	0,92	0,94	0
6	0,25	5,46	4°	0,92	0,93	0

Fonte: Autor, (2020).

De acordo com o resultado do fator de segurança do talude T – 3 de 8,23, será adotado o mesmo valor para o fator de segurança referencial (*F*) do talude T – 4, conforme a Tabela 4.15, visto que já se tem conhecimento do coeficiente de segurança do talude com as mesmas especificações de solo e dimensões semelhantes.

Tabela 4.15 – Cálculo do fator de segurança T - 4, considerando *F* = 8,23.

T-4	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 8,23 Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	4,48	0,75	8,53	78,68
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				9,81

Fonte: Autor, (2020).

A Tabela 4.15 resultou da variação T – 4 o fator de segurança de 9,81, portanto, esse valor não é considerado, por não satisfazer a variação de 3 centésimos. Na Tabela 4.16 demonstra o recálculo utilizando o fator de segurança 9,81 como o fator referencial (*F*).

Tabela 4.16 – Recálculo do fator de segurança T - 4, considerando F = 9,81.

T-4	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 9,81				
Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	5,56	0,73	8,53	80,48
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				9,93

Fonte: Autor, (2020).

Conforme a Tabela 4.17 o recálculo será novamente feito, adotando o fator referencial (F) de 9,93, pois esse valor não atingiu a variação estipulada em comparação com o fator referencial de 9,81 adotado na Tabela 4.16, por isso não pôde ser considerado.

Tabela 4.17 – Recálculo do fator de segurança T - 4, considerando F = 9,93.

T-4	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 9,93				
Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	5,62	0,73	8,53	80,60
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				9,93

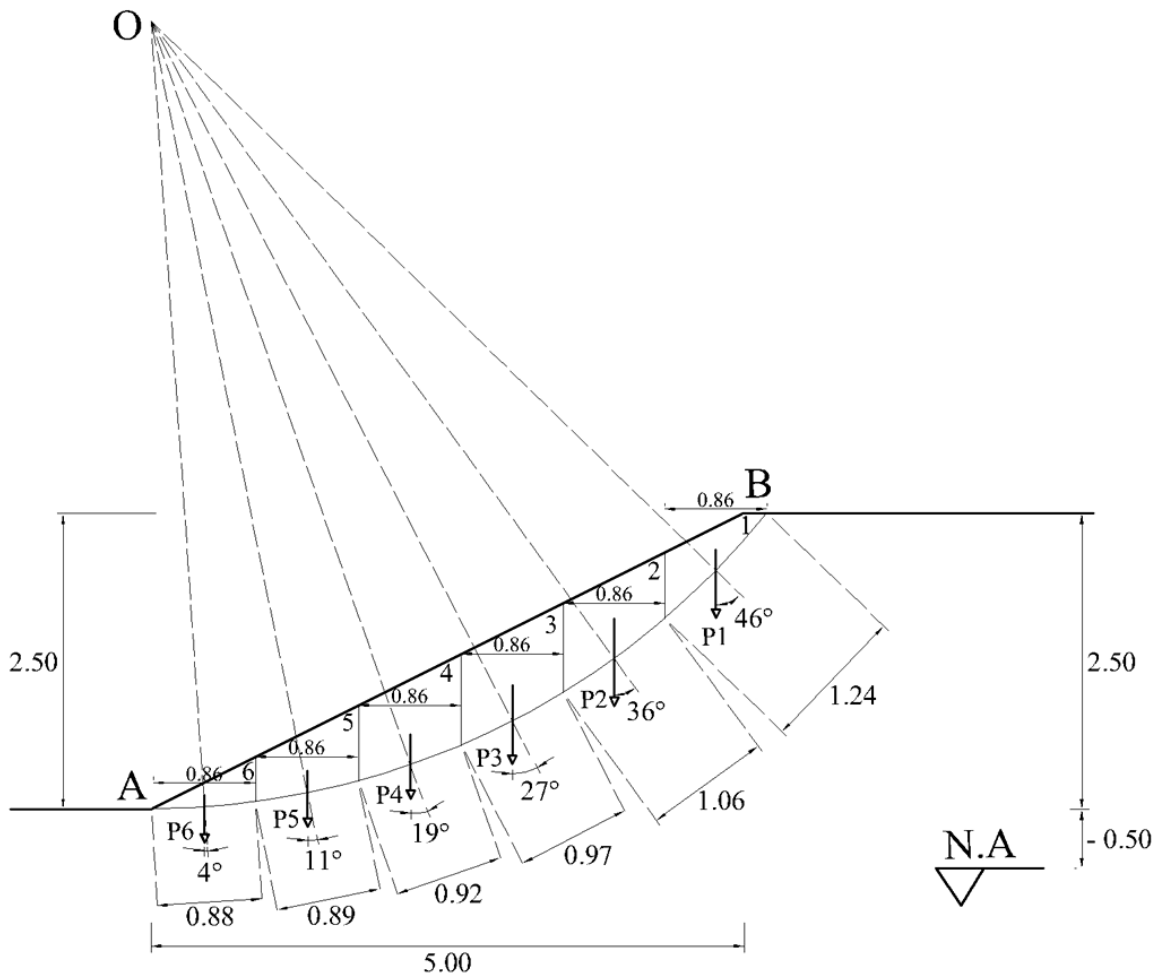
Fonte: Autor, (2020).

Após o recálculo, a Tabela 4.17 resultou no fator de segurança de 9,93, satisfazendo a condição do método, não havendo variação. Esse valor possibilita dizer que o talude T – 4 possui um fator de segurança alto e estável, ou seja, as forças resistentes no maciço são maiores que as forças solicitantes.

4.1.5 Fator de Segurança Talude T – 5

Por fim, o talude T – 5 prosseguirá o procedimento dos taludes anteriores, partindo da Figura 4.5, onde demonstra as características do talude e os resultados após a aplicação do método das fatias. As especificações do tipo T – 5 são compreendidas pela altura de 2,50 metros, comprimento de 5 metros e inclinação do talude de 26,56°, a área de ruptura será dividida em 6 fatias, cuja largura da fatia (Δx) resultou em 0,86 metros.

Figura 4.5 – Método das fatias no talude T– 5.



Fonte: Autor, (2020).

A partir da Figura 4.5, foram obtidas as informações para cada fatia, sendo a área, o ângulo (θ) formado pelo sentido da força peso com a linha traçada pelo ponto O , a força peso (P) e o comprimento da linha de ruptura (l), conforme a Tabela 4.18. No talude tipo T – 5 não houve influência da pressão neutra, pois o nível da água se encontra a 3 metros de profundidade, ou seja, abaixo das fatias analisadas.

Tabela 4.18 – Resultados encontrados pelo método das fatias na variação T - 5.

T-5 Fatias	<i>Área (m²)</i>	<i>P (kN/m)</i>	<i>θ</i>	<i>Δx (m)</i>	<i>l (m)</i>	<i>u (kN/m³)</i>
1	0,30	6,55	46°	0,86	1,24	0
2	0,58	12,67	36°	0,86	1,06	0
3	0,67	14,64	27°	0,86	0,97	0
4	0,62	13,55	19°	0,86	0,92	0
5	0,45	9,83	11°	0,86	0,89	0
6	0,18	3,93	4°	0,86	0,88	0

Fonte: Autor, (2020).

Conforme os dimensionamentos anteriores e devido a determinação do fator de segurança de taludes com os mesmos parâmetros de solo, o cálculo do fator de segurança T – 5 considerara o fator de segurança de 9,93 obtido no talude anterior como o fator de segurança referencial (*F*) para o dimensionamento deste, de acordo com a Tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Cálculo do fator de segurança T - 5, considerando *F* = 9,93.

T-5	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 9,93				
Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \text{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\text{tg} \phi' \cdot \text{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \text{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \text{tg} \phi'$
1	2,07	0,78	4,71	64,94
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				14,02

Fonte: Autor, (2020).

Analisando o resultado da Tabela 4.19, verificou que o fator de segurança não se enquadrou na variação de 3 centésimos entre o valor referencial e o valor obtido, desse modo, é necessário executar o recálculo considerando o fator de segurança encontrado de 14,02 como o fator referencial (*F*), conforme a Tabela 4.20.

Tabela 4.20 – Recálculo do fator de segurança T - 5, considerando F = 14,02.

T-5	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 14,02				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P.sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	3,38	0,75	4,71	66,99
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				14,24

Fonte: Autor, (2020).

Apesar de utilizar o fator referencial (F) de 14,02, o resultado do fator de segurança não foi apropriado, atingindo o valor de 14,24, com isso o recálculo será realizado considerando o novo valor do fator de segurança referencial (F) de 14,24, de acordo com a Tabela 4.21.

Tabela 4.21 – Recálculo do fator de segurança T - 5, considerando F = 14,24.

T-5	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 14,24				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P.sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	3,43	0,75	4,71	67,07
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
Fator de Segurança (5)				14,25

Fonte: Autor, (2020).

Por fim, o resultado do fator de segurança apropriado foi de 14,25, variando 1 centésimo entre o fator de segurança referencial adotado. Assim, o talude T – 5 possui uma condição estável, visto que o fator de segurança é maior que 1, isto é, as forças resistentes do talude são maiores que as forças solicitantes.

4.2. RESULTADOS DOS FATORES DE SEGURANÇA

A Tabela 4.22 apresenta os resultados dos fatores de segurança considerados apropriados para os dimensionamentos dos taludes e a condição de estabilidade em vista do grau de segurança alto pela NBR 11682 (ABNT, 2009) proposta no estudo.

Tabela 4.22 – Resultados dos dimensionamentos dos taludes.

Taludes	Fator de Segurança (F_s)	Condição ($F_s > 1,50$)
T - 1	5,33	Estável
T- 2	6,58	Estável
T - 3	8,23	Estável
T - 4	9,93	Estável
T - 5	14,25	Estável

Fonte: Autor, (2020).

De acordo com as inclinações adotadas, os resultados encontrados foram satisfatórios em relação à estabilidade do maciço, não resultando em taludes instáveis. Os resultados possibilitaram prever que, inclinações muito superiores ao do talude T – 1 de $41,99^\circ$, que é a maior inclinação do estudo, podem resultar em fatores de segurança menores e dependendo do valor serem considerados instáveis.

A partir dos resultados foi verificado que a inclinação máxima adotada no estudo resultou no talude com condição estável, logo, observou-se uma tendência nos taludes posteriores onde quanto menor a inclinação maior foi o resultado do fator de segurança.

Observado essa tendência, os fatores de segurança dos 5 taludes obteve aumentos significativos entre si, onde o maior aumento ocorreu em relação ao talude T – 4 para o T – 5, resultando no aumento de 4,32 de um para o outro. Além disso, ao comparar os taludes de maior inclinação e o de menor inclinação, verificou-se o aumento do fator de segurança do talude T – 5 em mais que o dobro em relação ao talude T – 1, constatando em maior estabilidade, garantindo que o maciço tenha menor probabilidade de sofrer ruptura.

5 CONCLUSÃO

O estudo buscou apresentar e indicar os principais métodos de cálculo conhecidos, identificando sua aplicação e metodologia empregada para que os cálculos pudessem ser realizados.

Este trabalho apresentou a análise de estabilidade de cinco taludes artificiais com diferentes tipos de variações de inclinações e alturas, na qual exigiu uma profunda abordagem de estudos, através de cálculos e na identificação dos parâmetros do solo, através de uma sondagem obtida pelo ensaio de SPT (*Standard Penetration Test*), que através dos resultados obtidos foi determinado os valores do fator de segurança, deste modo conclui-se que para obtenção dos mesmos é necessário obter as características do solo. No método foi utilizado um referencial de F de 1,50, para se obter os demais resultados através de recálculos, para uma estabilidade estável sem que o mesmo pudesse chegar a sua linha de ruptura.

Através da primeira análise T - 1 pode-se concluir que para um talude de altura de 4,5 metros, largura de 5 metros e ângulo de inclinação de $41,99^\circ$, resultou-se em um fator de segurança de 5,33, consideravelmente aceitável devido forças resistentes serem maiores que as solicitantes.

A segunda análise T - 2 consistiu em um talude de altura de 4 metros, largura de 5 metros e ângulo de inclinação de $38,66^\circ$, resultando em um fator de segurança de 6,58, apresentando uma condição estável em virtude de o coeficiente de segurança ser maior que o coeficiente mínimo, dificultando assim a sua ruptura.

Para a terceira análise T - 3, podemos concluir que para um talude de dimensionamento de 3,5 metros de altura, largura de 5 metros e ângulo de inclinação de $34,99^\circ$, obteve-se um fator de segurança de 8,23, sendo considerável estável em virtude que as forças resistentes é diferente das forças solicitantes.

Na quarta análise T - 4 pode-se concluir que para um talude de 3 metros, largura de 5 metros e ângulo de inclinação de $30,96^\circ$, resultou-se em um fator de segurança de 9,93, sendo considerado estável, já que as forças resultantes serem maiores que as solicitantes e o valor de segurança obtido ser alto.

Já a quinta análise T - 5, conclui-se que para um talude de 2,5 metros, largura de 5 metros e ângulo de inclinação de $26,56^\circ$, obteve-se um fator de segurança de 14,25, sendo considerado totalmente estável, em virtude do fator de segurança ser maior que 1 e as forças resistentes maiores que as solicitantes.

Sendo assim, podemos concluir que o fator de segurança é influenciado pela altura e inclinação no qual o talude foi projetado, e os valores abaixo do que se preveem as normas e cálculos é um dos grandes influenciadores para o rompimento dos mesmos.

Deste modo, os resultados para os fatores de segurança dos diferentes tipos de taludes, foram todos satisfatórios, conforme a NBR 11682 (ABNT, 2009), que define o valor mínimo de 1,15 para o fator de segurança considerando a pior condição, já que os valores obtidos houve um aumento significativo, em virtude da inclinação e altura, na qual evidenciou a importância no cuidado com o posicionamento correto. Com isso, já que os mesmos atendem as normas de segurança apropriadas e os valores de segurança são fundamentais para que não haja a ruptura dos taludes, verificou-se a grande importância de estudos e análises de taludes artificiais, para que haja um alto índice de confiabilidade de projeto e uma pequena probabilidade de falha.

Para trabalhos futuros, recomenda-se um projeto construtivo com todas as etapas das obras de um talude artificial com as seguintes dimensões obtidas neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR – 11682: **Estabilidade de taludes**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR – 6484: **Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2009.

ROSMARINHO, Henrique. **O rompimento de barragens no Brasil e no mundo: desastres mistos ou tecnológicos?** Disponível em: http://www.domhelder.edu.br/uploads/artigo_HRA.pdf. Acesso em 20 set 2019.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 8 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

ECKS, Jonathan. **Aplicação da teoria do equilíbrio-limite na análise de estabilidade de talude: Estudo de caso**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – Santa Catarina, 2014.

Estabilidade de encostas. Informações de catálogo. Disponível em: <https://www.vdocuments.site/nbr-11682-2009-estabilidade-de-encostas.html>. Acesso em 11 set 2019.

FERNANDES, M. M. **Mecânica dos solos: conceitos e princípios**. Vol. 1. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

GERSCOVICH, Denise. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Blucher, 1983.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **O manual de deslizamentos – Um guia para a compreensão de deslizamentos**. Virginia: U.S. Geological Survey Circular, 2008.

MASSAD, Faïçal. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MELO, et al. **Métodos de obtenção de valores de ângulo de atrito e coesão: Comparação entre o ensaio de cisalhamento direto e cálculo baseado no SPT**. Artigo Científico – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2018.

NERTAN, S. A. O. B.; SANTOS, A. M. S. **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

RODRIGUES, H. et al. **Estabilidade de taludes**. 2015.

VARGAS, Milton. **Introdução a mecânica dos solos**. São Paulo: Mcgraw Hill, 1977.

PINTO, Carlos. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PIORI, A. P. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e Rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo : Oficina de Textos, 2012.

ZANOL, Saulo. **Comparativo entre dois métodos de taludes infinitos na geração de mapas de suscetibilidade e deslizamentos translacionais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

APÊNDICES

A.1. CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO SOLO PELO ENSAIO SPT

A.1.1 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

A.1.1.1 Equação (2.22) – Cálculo do Peso Específico Natural do Solo (γ_{nat}).

$$\gamma_d = \frac{\gamma_{nat}}{1 + w}$$

$$19 = \frac{\gamma_{nat}}{1 + 0.15}$$

$$\gamma_d = 21,85 \text{ kN/m}^3$$

A.1.1.2 Equação (2.23) – Cálculo da Tensão Vertical Total (σ).

$$\sigma = z \cdot \gamma_{nat}$$

$$\sigma = 7,45 \cdot 21,85$$

$$\sigma = 162,78 \text{ kPa}$$

A.1.1.3 Equação (2.24) – Cálculo da Pressão Neutra (u).

$$u = z_w \cdot \gamma_w$$

$$u = 4,45 \cdot 10$$

$$u = 44,5 \text{ kPa}$$

A.1.1.4 Equação (2.25) – Cálculo da Tensão Vertical Efetiva (σ'_v).

$$\sigma'_v = \sigma - u$$

$$\sigma'_v = 162,78 - 44,5$$

$$\sigma'_v = 118,28 \text{ kPa}$$

A.1.1.5 Equação (2.26) – Cálculo do Coeficiente de Correção (CN).

$$CN = \sqrt{\frac{100}{\sigma'_v}}$$

$$CN = \sqrt{\frac{100}{118,28}}$$

$$CN = 0,91$$

A.1.1.6 Equação (2.27) – Cálculo do $N_{SPT,1}$ Corrigido Pela Tensão Efetiva.

$$N_{SPT,1} = N_{SPT} \cdot CN$$

$$N_{SPT,1} = 52 \cdot 0,91$$

$$N_{SPT,1} = 47,32$$

A.1.1.7 Equação (2.28) – Cálculo do $N_{SPT,60}$ Corrigido Pela Energia de Cravação.

$$N_{SPT,60} = \frac{N_{SPT,1} \cdot \text{Energia Aplicada}}{0,60}$$

$$N_{SPT,60} = \frac{47,32 \cdot 0,66}{0,60}$$

$$N_{SPT,60} = 52,05$$

A.1.1.8 Equação (2.29) – Cálculo do Ângulo de Atrito (ϕ').

$$\phi' = 20^\circ + \sqrt{15,4 \cdot N_{SPT,60}}$$

$$\phi' = 20^\circ + \sqrt{15,4 \cdot 52,05}$$

$$\phi' = 48,31^\circ$$

A.1.1.9 Equação (2.30) – Cálculo da Tensão Cisalhante, Envoltória de Coulomb (τ).

$$\tau = \sigma \cdot \text{tang}\phi'$$

$$\tau = 162,78 \cdot \text{tang} 48,31$$

$$\tau = 182,76 \text{ kPa}$$

A.1.1.10 Equação (2.31) – Cálculo da Coesão Efetiva (c').

$$c' = \tau - \sigma'_v \cdot \text{tang}\phi'$$
$$c' = 182,76 - 118,28 \cdot \text{tang} 48,31$$
$$c' = 49,96 \text{ kPa}$$

B.1. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DO FATOR DE SEGURANÇA T – 1

B.1.1 CÁLCULO DAS ETAPAS NA FATIA 1 DO TALUDE T - 1, F= 1,50

B.1.1.1 Cálculo da Etapa (1).

$$Etapa (1) = P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot tg\theta}{F}$$

$$Etapa (1) = 25,13 - 0 \cdot 0,92 - \frac{49,96 \cdot 0,92 \cdot tg 63}{1,50}$$

$$Etapa (1) = -35,01$$

B.1.1.2 Cálculo da Etapa (2).

$$Etapa (2) = \cos\theta + \frac{tg\phi' \cdot \text{sen}\theta}{F}$$

$$Etapa (2) = \cos 63 + \frac{tg 48,31 \cdot \text{sen} 63}{1,50}$$

$$Etapa (2) = 1,12$$

B.1.1.3 Cálculo da Etapa (3).

$$Etapa (3) = P \cdot \text{sen}\theta$$

$$Etapa (3) = 25,13 \cdot \text{sen} 63$$

$$Etapa (3) = 22,39$$

B.1.1.4 Cálculo da Etapa (4).

$$Etapa (4) = c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot tg\phi'$$

$$Etapa (4) = 49,96 \cdot 2,17 + \frac{(-35,01)}{(1,12)} \cdot tg 48,31$$

$$Etapa (4) = 73,35$$

B.1.2 CÁLCULO FINAL DO FATOR DE SEGURANÇA DO TALUDE T – 1, F = 1,50

B.1.2.1 Cálculo da Etapa (5).

$$Etapa (5) = F_s = \frac{\Sigma(4)}{\Sigma(3)}$$

$$Etapa (5) = F_s = \frac{\Sigma (73,35 + 72,56 + 67,23 + 57,90 + 48,74 + 36,82)}{\Sigma (22,39 + 28,13 + 21,14 + 12,80 + 5,13 + 0,67)}$$

$$Etapa (5) = F_s = 3,95$$

C.1. RESULTADOS DOS FATORES DE SEGURANÇA E RECÁLCULOS

C.1.1 TALUDE T - 1

C.1.1.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 1, F= 1,50.

	(1)	(2)	(3)	(4)
T-1				
F = 1,50	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	-35,01	1,12	22,39	73,35
2	5,60	1,23	28,13	72,56
3	12,53	1,25	21,14	67,23
4	8,62	1,22	12,80	57,90
5	1,31	1,15	5,13	48,74
6	-8,65	1,06	0,67	36,82
		$\Sigma =$	90,25	356,60
Fator de Segurança (5)				3,95

Fonte: Autor, (2020).

C.1.1.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 1, F = 3,95.

	(1)	(2)	(3)	(4)
T-1				
F = 3,95	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	2,29	0,71	22,39	112,05
2	25,98	0,89	28,13	100,23
3	25,35	0,99	21,14	84,76

4	17,08	1,03	12,79	68,59
5	6,05	1,04	5,13	54,00
6	-6,98	1,02	0,67	38,28
		$\Sigma =$	90,25	457,92
Fator de Segurança (5)				5,07

Fonte: Autor, (2020).

C.1.1.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 1, F = 5,07.

T-1	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 5,07	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \theta}{F}$	$\cos \theta + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{sen} \theta}{F}$	$P \cdot \operatorname{sen} \theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \operatorname{tg} \phi'$
1	7,34	0,65	22,39	121,06
2	28,74	0,84	28,13	105,68
3	27,09	0,95	21,14	87,87
4	18,22	1,00	12,79	70,35
5	6,69	1,02	5,13	54,80
6	-6,76	1,02	0,67	38,49
		$\Sigma =$	90,25	478,25
Fator de Segurança (5)				5,30

Fonte: Autor, (2020).

C.1.1.4 Recálculo do Fator de Segurança T - 1, F = 5,30.

T-1	(1)	(2)	(3)	(4)
-----	-----	-----	-----	-----

F = 5,30

$$P - u.\Delta x - \frac{c'.\Delta x . tg\theta}{F} \cos\theta + \frac{tg\phi'.sen\theta}{F} P.sen\theta \quad c'.l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$$

1	8,11	0,64	22,39	122,58
2	29,16	0,84	28,13	106,57
3	27,35	0,95	21,14	88,37
4	18,40	1,00	12,79	70,62
5	6,79	1,02	5,13	54,93
6	-6,72	1,01	0,67	38,52
		$\Sigma =$	90,25	481,58
Fator de Segurança (5)				5,33

Fonte: Autor, (2020).

C.1.2 TALUDE T – 2

C.1.2.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 2, F = 5,33.

T-2	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 5,33				
Fatias	$P - u.\Delta x - \frac{c'.\Delta x . tg\theta}{F}$	$\cos\theta + \frac{tg\phi'.sen\theta}{F}$	$P.sen\theta$	$c'.l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	2,48	0,67	15,48	102,58
2	21,19	0,85	21,53	93,07
3	24,90	0,95	17,11	83,98
4	17,78	1,00	10,66	68,94
5	8,56	1,02	4,39	55,87
6	-2,57	1,01	0,61	42,12
		$\Sigma =$	69,78	446,57

Fator de Segurança (5) 6,40

Fonte: Autor, (2020).

C.1.2.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 2, F = 6,40.

T-2	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 6,40				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	5,03	0,64	15,48	107,26
2	22,65	0,82	21,53	95,94
3	25,85	0,93	17,11	85,76
4	18,41	0,98	10,66	69,95
5	8,91	1,01	4,39	56,34
6	-2,44	1,01	0,61	42,25
		$\Sigma =$	69,78	457,50

Fator de Segurança (5) 6,56

Fonte: Autor, (2020).

C.1.2.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 2, F = 6,56.

T-2	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 6,56				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	5,33	0,63	15,48	107,86
2	22,83	0,82	21,53	96,30
3	25,97	0,92	17,11	85,98

4	18,49	0,98	10,66	70,07
5	8,95	1,01	4,39	56,40
6	-2,43	1,01	0,61	42,27
		$\Sigma =$	69,78	458,88
Fator de Segurança (5)				6,58

Fonte: Autor, (2020)

C.1.3 TALUDE T – 3

C.1.3.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 3, F = 6,58.

T-3	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 6,58				
Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \text{tg}\theta}{F}$	$\cos\theta + \frac{\text{tg}\phi' \cdot \text{sen}\theta}{F}$	$P \cdot \text{sen}\theta$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \text{tg}\phi'$
1	1,67	0,67	10,38	86,71
2	16,34	0,84	15,78	82,35
3	19,31	0,93	12,85	75,23
4	17,96	0,99	8,11	67,38
5	9,95	1,01	3,54	55,51
6	0,93	1,01	0,50	44,49
		$\Sigma =$	51,16	411,67
Fator de Segurança (5)				8,05

Fonte: Autor, (2020).

C.1.3.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 3, F = 8,05.

T-3	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 8,05 Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	3,60	0,65	10,38	90,17
2	17,51	0,82	15,78	84,53
3	20,09	0,91	12,85	76,62
4	18,47	0,98	8,11	68,23
5	10,25	1,00	3,54	55,93
6	1,03	1,01	0,50	44,61
		$\Sigma =$	51,16	420,09
Fator de Segurança (5)				8,21

Fonte: Autor, (2020).

C.1.3.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 3, F = 8,21.

T-3	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 8,21 Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	3,77	0,65	10,38	90,48
2	17,61	0,81	15,78	84,73
3	20,16	0,91	12,85	76,75
4	18,51	0,97	8,11	68,30
5	10,28	1,00	3,54	55,96
6	1,04	1,01	0,50	44,62
		$\Sigma =$	51,16	420,85

Fator de Segurança (5) 8,23

Fonte: Autor, (2020).

C.1.4 TALUDE T – 4

C.1.4.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 4, F = 8,23.

T-4	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 8,23				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	4,48	0,75	8,53	78,68
2	16,02	0,86	12,93	79,79
3	18,97	0,94	10,70	75,60
4	17,31	0,98	6,97	68,74
5	12,79	1,01	2,91	61,23
6	5,07	1,01	0,38	52,11
		$\Sigma =$	42,42	416,16

Fator de Segurança (5) 9,81

Fonte: Autor, (2020).

C.1.4.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 4, F = 9,81.

T-4	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 9,81				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	5,56	0,73	8,53	80,48

2	16,75	0,85	12,93	81,09
3	19,47	0,93	10,70	76,46
4	17,65	0,97	6,97	69,30
5	12,98	1,00	2,91	61,51
6	5,13	1,01	0,38	52,19
		$\Sigma =$	42,42	421,04
Fator de Segurança (5)				9,93

Fonte: Autor, (2020).

C.1.4.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 4, F = 9,93.

T-4	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 9,93				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg \theta}{F}$	$cos \theta + \frac{tg \phi' . sen \theta}{F}$	$P . sen \theta$	$c' . l + \frac{(1)}{(2)} . tg \phi'$
1	5,62	0,73	8,53	80,60
2	16,79	0,85	12,93	81,18
3	19,50	0,93	10,70	76,52
4	17,67	0,97	6,97	69,33
5	13,00	1,00	2,91	61,53
6	5,14	1,01	0,38	52,20
		$\Sigma =$	42,42	421,36
Fator de Segurança (5)				9,93

Fonte: Autor, (2020).

C.1.5 TALUDE T – 5

C.1.5.1 Cálculo do Fator de Segurança T - 5, F = 9,93.

T-5	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 9,93				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$P. sen\theta$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	2,07	0,78	4,71	64,94
2	9,53	0,88	7,45	65,17
3	12,44	0,94	6,65	63,28
4	12,06	0,98	4,41	59,75
5	8,99	1,01	1,88	54,52
6	3,63	1,01	0,27	48,02
		$\Sigma =$	25,37	355,68
Fator de Segurança (5)				14,02

Fonte: Autor, (2020).

C.1.5.2 Recálculo do Fator de Segurança T - 5, F = 14,02.

T-5	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 14,02				
Fatias	$P - u. \Delta x - \frac{c'. \Delta x . tg\theta}{F}$	$cos\theta + \frac{tg\phi'. sen\theta}{F}$	$\frac{P. sen}{\theta}$	$c'. l + \frac{(1)}{(2)} . tg\phi'$
1	3,38	0,75	4,71	66,99
2	10,44	0,86	7,45	66,65
3	13,08	0,93	6,65	64,30
4	12,49	0,97	4,41	60,40
5	9,23	1,00	1,88	54,86
6	3,72	1,00	0,27	48,12

$$\Sigma = 25,37 \quad 361,33$$

Fator de Segurança (5) 14,24

Fonte: Autor, (2020).

C.1.5.3 Recálculo do Fator de Segurança T - 5, F = 14,24.

T-5	(1)	(2)	(3)	(4)
F = 14,24				
Fatias	$P - u \cdot \Delta x - \frac{c' \cdot \Delta x \cdot \text{tg}\theta}{F}$	$\cos\theta + \frac{\text{tg}\phi' \cdot \text{sen}\theta}{F}$	$\frac{P \cdot \text{sen}\theta}{\theta}$	$c' \cdot l + \frac{(1)}{(2)} \cdot \text{tg}\phi'$
1	3,43	0,75	4,71	67,07
2	10,48	0,86	7,45	66,71
3	13,10	0,93	6,65	64,33
4	12,51	0,97	4,41	60,43
5	9,24	1,00	1,88	54,88
6	3,72	1,00	0,27	48,13
		$\Sigma =$	25,37	361,55

Fator de Segurança (5) 14,25

Fonte: Autor, (2020).

ANEXOS

A.1. RELATÓRIO DO ENSAIO SPT

FURO
SP 01

PERFIL DE SONDAGEM - SPT

Profundidade (m)	Número da amostra	Nível D'água (m)	Soma do número de golpes		RESIST. À PENETRAÇÃO DO BARRILHETE TIPO SPT					Perfil Geológico	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
			1º+2º	2º+3º	PRIMEIROS 15 cm		ÚLTIMOS 30 cm				
					GRÁFICO DO N.º GOLPES						
				10	20	30	40	50	DESCRIÇÃO TÁCTIL VISUAL		
-1.00	0										Silte arenoso amarelo com veios variegado e pedregulhos
-2.00	1		7	6							Silte arenoso pouco compacto rosa com veios variegado e mica
-3.00	2		15	17							Silte arenoso medianamente compacto com veios variegado
-4.00	3		20	21							Silte arenoso compacto rosa com veios variegado
-5.00	4		23	24							Silte arenoso compacto rosa com veios variegado
-6.00	5		32	34							Silte arenoso compacto amarelo com veios variegado
-7.00	6		40	44							Silte arenoso muito compacto rosa com veios variegado
-7.45	7		51	52							Silte arenoso muito compacto rosa com veios variegado
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											

ENSAIO LAVAGEM (MIN.)	10	20	30
AVANÇO A CADA 10 MIN. (cm)			

MEDIDAS DE NÍVEL D'ÁGUA			
DATA	HORA	N.A. (m)	Prof.Furo
01/08/18		-3,00	-7,45

COORDENADAS	
X:	
Y:	

CONTRATANTE:	OBSERVAÇÃO:
OBRA:	
LOCAL:	
CIDADE:	

INÍCIO: 01/08/18	COTA DO FURO: 0,00
TÉRMINO: 01/08/18	

INÍCIO LAVAGEM:	COMP. REVESTIMENTO:	APROVADO

ORDEM DE SERVIÇO	NÚMERO DO RELATÓRIO	VISTO

Fonte: Particular, (2020).