

CUTTER 5676A

ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO SILVEIRA SOARES

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE DO SHOPPING VIA CAFÉ GARDEN
EM VARGINHA - MG**

**Varginha
2015**

Grupo Educacional UNTS

RODRIGO SILVEIRA SOARES

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE DO SHOPPING VIA CAFÉ GARDEN
EM VARGINHA - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Professor Armando Belato Pereira.

**Varginha
2015**

RODRIGO SILVEIRA SOARES

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE DO SHOPPING VIA CAFÉ GARDEN
EM VARGINHA - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em ____ / ____ / ____.

Prof. Armando Belato Pereira

Prof. Leopoldo Freire Bueno

Prof. Thiago Luis Nogueira Silva

Obs.:

Dedico este trabalho à minha família e à minha esposa, que foram e são a principal força e razão para que eu pudesse concluir essa etapa tão importante em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela força nos momentos mais difíceis, ao meu orientador de TCC, aos meus colegas, professores, companheiros de trabalho, minha família, e à minha esposa por terem ajudado na construção e conclusão deste trabalho.

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho um estudo da análise de estabilidade do talude de aterro, onde será demonstrada a estabilidade sem as cargas da edificação, e com as cargas da edificação do Shopping Via Café Garden em Varginha/MG. Para isto, o estudo se inicia no reconhecimento do tipo de solo, pelos SPT's, que é demonstrado pelos ensaios, informando as camadas de solo existente no local em questão.

Com os resultados dos ensaios de SPT's, e as informações sobre peso específico, coesão e ângulo de atrito, obtidos com a utilização da tabela de parâmetros de solo médio de Ivan Joppert Junior, temos a condição de realizar os parâmetros necessários para chegar ao fator de segurança existente.

Estas informações foram anexadas ao programa computacional GeoStudio módulo SLOPE/W 2012 e sendo realizado a modelagem do talude, em que foi possível empregar o método de Mohr – Coulomb que será fornecido o fator de segurança, e obtendo um resultado satisfatório da condição, em que o fator de segurança é igual ou maior que 1,0 ($F.S. \geq 1,00$) para taludes que não vão sofrer cargas da edificação e para taludes que vão ter a sobrecarga da edificação será o fator de segurança de 1,5 ($F.S. \geq 1,50$), que se identifica como o grau de segurança do talude de ruptura global conforme NBR 11.682, 1991 (tabela 01).

E obtendo um resultado satisfatório das análises de estabilidade de ruptura global para o talude de estudo. Que nas duas condições estudada se desmontou um fator de segurança acima do permitido pela norma.

Palavras-chave: 1 – Análise de estabilidade de talude; 2 – Fator de Segurança; 3 - Parâmetros de solo.

ABSTRACT

It is presented in this paper a study of the embankment slope stability analysis, which will be demonstrated stability without the loads of the building, and with loads of building the Via Shopping Coffee Garden in Varginha / MG. For this, the study is initiated on recognition of the type of soil, the SPT's, which is demonstrated by the assays informing the existing ground layers at the location concerned.

The results of the tests SPT'se information on the specific weight, cohesion and angle of friction, obtained with the use of medium soil parameters Ivan Joppert Junior table have the condition to perform the necessary parameters to reach factor existing security.

This information was sent to the computer program GeoStudio SLOPE / W 2012 and being carried out modeling of the slope, it was possible to employ the Mohr method - Coulomb that the safety factor will be provided, and obtaining a satisfactory outcome of the condition, in which the safety factor is equal to or greater than 1.0 ($FS \geq 1.00$) for slopes that will not suffer the building loads and slopes that will have the overhead of the building will be the safety factor of 1.5 ($FS \geq 1.50$), which identifies the degree of security of global rupture slope according to NBR 11682, 1991 (table 01).

And obtaining a satisfactory result of the analyzes of overall stability for breaking the study slope. That the two conditions studied fell down a safety factor above those permitted by the standard.

Keywords: 1 - slope stability analysis; 2 - Safety Factor; 3 - Soil Parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação das partes do talude	18
Figura 2 – Sinais que evidenciam a presença de rastejo:(A) blocos deslocados de sua posição inicial; (B) árvores inclinadas ou com troncos recurvados; (C) estratos de camadas rochosas sofrendo variações bruscas (encosta abaixo) ou xistosidade; (D) deslocamento de postes e cercas; (E) trincas e rupturas em elementos rígidos, como muretas, muros e paredes; (F) eixos de estradas e ferrovias sofrendo inflexões no alinhamento; (G) matacões arredondados; (H) linhas de seixos recobertas por regolito em movimentação de rastejo (Sharpe,331).	20
Figura 3 – Escorregamento de talude	21
Figura 4 – Queda ou tombamento de talude.....	22
Figura 5 – Erosões do solo	22
Figura 6 – Modos de ruptura circular	23
Figura 7 – Modos de ruptura plana.....	24
Figura 8 – Modos de ruptura em cunha.....	25
Figura 9 – Modos de Fatias	27
Figura 10 – Método de Morgenstern e Price	28
Figura 11 – Modos de Bishop Simplificado.....	30
Figura 12 – Representação de esquema de caixa de cisalhamento.....	34
Figura 13 – Representação de resultado típico de ensaio.....	34
Figura 14 – Representação câmara de ensaio triaxial.....	35
Figura 15 – Representação do programa GeoStudio 2012	36
Figura 16 – Representação do programa GeoStudio 2012	37
Figura 17 – Representação do local do estudo de caso (Shopping)	38
Figura 18 – Representação do local do estudo de caso (Shopping)	38
Figura 19 – Representação do local que será realizado o estudo	39
Figura 20 – Representação das curvas de nível do local de estudo.....	40
Figura 21 – Representação do SPT 119.....	41
Figura 22 – Representação do SPT 121.....	41
Figura 23 – Representação da geometria do talude.....	44
Figura 24 – Representação do talude com suas camadas	45
Figura 25 – Representação das informações do método Mohr-Coulomb	46
Figura 26 – Saída gráfica para ruptura local talude 01.....	47
Figura 27 – Saída gráfica para ruptura local talude 02.....	48

Figura 28 – Saída gráfica para ruptura Global	48
Figura 29 – Representação da geometria do talude com a dimensão da edificação.....	50
Figura 30 – Representação da Modelagem de talude com as cargas do Shopping Via Café Garden	51
Figura 31 – Representação da informação da carga do Shopping Via Café Garden.....	52
Figura 32 – Saída gráfica para ruptura local 01 com as cargas da edificação	53
Figura 33 – Saída gráfica para ruptura local 02 com as cargas da edificação	54
Figura 34 – Saída gráfica para ruptura Global com as cargas da edificação.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores típicos de Fator de segurança.	26
Tabela 2 – Representação de resultado de N	42
Tabela 3 – Representação de resultados, Peso Especifico, Coesão e Ângulo de Atrito.....	43
Tabela 4 – Tabela de Parâmetro do Solo de Ivan Joppert Junor	44
Tabela 5 – Representação pontos de coordenada	45
Tabela 6 – Representação resultados e fator de segurança do talude	48
Tabela 7 – Representação pontos de coordenada	51
Tabela 7 – Representação resultados e fator de segurança do talude com as cargas da edificação.....	53
Tabela 8 – Representação de comparação de resultados do fator de segurança (F.S.), sem as cargas e com as cargas do Shopping Via Café Garden	56
Tabela 9 – Representação somatória das cargas da edificação	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Fa – Força atuante

Fr – Força resistente

F.S. – Fator de Segurança

Ma – Momento Atuante

NBR – Norma Brasileira

SPT - Standard Penetration Test

Σ - Somatória

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVA	15
3 OBJETIVO	16
3.1 Objetivo Geral	16
3.2 Objetivo Específico	16
4 METODOLOGIA.....	17
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
5.1 Talude	18
5.1.1 Taludes Construtivos	19
5.1.2 Taludes Naturais	19
5.2 Modo de Ruptura de Talude	19
5.2.1 Movimento de Massa.....	19
5.2.2 Escoamento.....	20
5.2.3 Escorregamento	20
5.2.4 Queda e Tombamento.....	21
5.2.5 Erosões	22
5.3 Causas dos Movimentos	22
5.4 Mecanismo de Ruptura	23
5.4.1 Ruptura Circular	23
5.4.2 Ruptura Plana	23
5.4.3 Ruptura em Cunha.....	24
5.5 Métodos de Análise de Estabilida	25
5.6 Fator de Segurança	25
5.7 Métodos para Cálculo de Estabilidade de Talude	27
5.7.1 Método das Fatias	27
5.7.2 Método de Morgenstern e Price.....	28
5.7.3 Método de Fellenius	29
5.7.4 Método de Bishop Simplificado	29
5.8 Resistência do Solo	31
5.8.1 Definição	31
5.8.2 Atrito.....	32
5.8.3 Coesão	32

5.8.4 Critério de Ruptura	32
5.8.5 Ensaio de Cisalhamento	33
5.8.6 Cisalhamento Direto.....	33
5.8.7 Compressão Triaxial	35
5.8.8 Compressão Simples.....	35
5.9 Programa GeoStudio.....	36
6 ESTUDO DE COMPARAÇÃO DE ESTABILIDADE DO TALUDE COM AS CARGAS E SEM AS CARGAS DA EDIFICAÇÃO DO SHOPPING	38
6.1 Localização da Área de Estudo	38
6.2 Levantamento Topografico.....	39
6.3 Resultados dos SPT's	40
6.4 Resultado do Programa GeoStudio	42
6.4.1 Desenvolvimento	42
6.4.2 Modelagem do talude sem as cargas da edificação	45
6.4.3 Programa GeoStudio	46
6.4.4 Entrada de dados no software	46
6.4.5 Análises de estabilidade sem as cargas da edificação do shopping	48
6.4.6 Análises de estabilidade com as cargas da edificação do shopping	50
7 CONCLUSÃO.....	55
7.1 Sugestões para trabalhos futuros	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	60

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade o crescimento desordenado das cidades e a falta de planejamento geram uma deficiência na ocupação do solo, e uma inadequada construção nas áreas de risco, interferindo no meio ambiente e provocando movimentos de terra. Analisando os aspectos de crescimento desordenado, é relevante que se tenha um estudo criterioso na parte de geotécnica na criação de taludes, para que se obtenha uma definição e caracterização das áreas de risco, proporcionando uma segurança na construção e minimizando ou mesmo evitando a ocorrência de movimentos de terra.

Para (GEORSCOVICH, 2012, p. 13), “Talude é a denominação que se dá a qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha. Ele pode ser natural, também denominado de encostas, ou construído pelo homem, como, por exemplo, os aterros e cortes”. Tendo uma análise das geometrias do talude, podemos evitar tragédias de escorregamento de massas, evitando prejuízos financeiros e perdas de pessoas na pior situação.

Portanto, a necessidade de se trabalhar com taludes em nossa região é muito grande. A topografia existente no nosso relevo apresenta desníveis muito acentuados, tendo que realizar taludes para a minimização de riscos e melhor aproveitamento do solo. Na construção do talude devemos estar preparados para as diversas situações, existindo diferentes métodos para ser realizado, com isso, deve ser executado um projeto para demonstrar a melhor forma de se fazer o corte ou aterro, para que se possa compensar a movimentação do solo.

Há que se verificar a finalidade de execução do talude, para não ocorrer problemas futuros de ruptura. Para isso, serão realizados estudos para obter os parâmetros do solo, que são: coesão, ângulo de atrito, peso específico. Ao longo do trabalho serão apresentados como foram obtido os parâmetros, demonstrando o método utilizado para chegar as informações necessárias para utilizar o programa computacional GeoStudio SLOPE/W 2012, que fornecerá o fator de segurança.

O talude em estudo encontra-se na obra do Shopping Via Café Garden, localizado na Avenida Humberto Pizzo, S/N - Jardim Petrópolis, Varginha/MG, conforme figura 19. As informações necessárias do talude em questão foram fornecidas pela Empresa TSC - Via Café Shopping S.A.

2 JUSTIFICATIVA

O tema abordado foi escolhido devido à grande utilização de taludes na construção civil, sendo de grande importância na nossa região. Além disso, os taludes são a forma mais barata para o nivelamento do terreno quando é necessário o corte ou aterro, pois o solo é de fácil acesso. Por este motivo, tem que se ter o conhecimento de suas propriedades, para que se desenvolvam os projetos com economia e segurança.

Este estudo valerá para determinar o fator de segurança do talude do Shopping Via Café Garden de Varginha / MG, pois a geometria do local se mostra com altura elevada, grande desnível, e irá receber uma carga muito grande para a finalidade em questão.

Para realização do projeto, o Engenheiro Civil projetista, deve ter um conhecimento aprofundado na área de solos e seus parâmetros. Tais parâmetros serão apresentados no presente trabalho, com a finalidade de fornecer o fator segurança do talude, garantindo a segurança da construção civil e de seus usuários.

3 OBJETIVO

O presente trabalho tem o intuito de demonstrar como foi realizado o estudo de caso do talude de aterro da edificação Shopping Via Café Garden em Varginha / MG, que será demonstrado a estabilidade do talude com as cargas da edificação e sem as cargas da edificação do shopping, para se obter o resultado do seu fator de segurança e demonstrar a situação que ele se encontra.

3.1 Objetivo geral

- Definição da característica do talude e demonstrando a sua estabilidade;

3.2 Objetivo específico

- Levantamento topográfico, planialtimétrico do talude;
- Estudo dos boletins de sondagem;
- Determinação da geometria do talude;
- Determinação do fator de segurança – F.S;
- Estudo das cargas de fundação da edificação do shopping;

4 METODOLOGIA

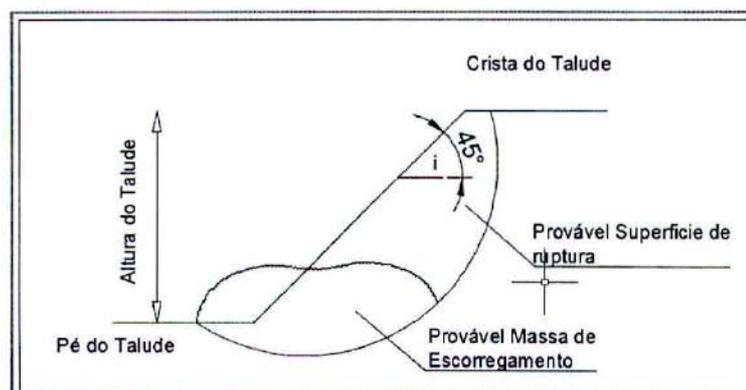
O estudo de estabilidade do talude em questão será realizado por meio de modelagem computacional utilizando o software GeoStudio 2012 módulo SLOPE/W, que baseia-se em análise via equilíbrio limite pelo método de Bishop. Os parâmetros de resistência do solo foram obtidos através de boletins de sondagens e demonstrados pelas figuras 23 e 24, e pela tabela 4 que nos mostra os parâmetros médios do solo. A geometria do solo foi demonstrada pelo levantamento topográfico planialtimétrico, com este levantamento foi mostrado às curvas de nível do local, a altura do talude, suas dimensões e a distância do pé do talude até sua crista. Com isso foi possível realizar a análise de estabilidade do talude das duas condições estudada, que é a análise de ruptura global, para a condição sem as cargas da edificação e para a condição com as cargas da edificação. O estudo foi realizado através das bibliografias sobre o assunto e conversas com engenheiros do ramo.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Taludes

Talude é qualquer terreno inclinado. O corpo do talude é a parte interna, e é a parte que geólogos e engenheiros realizam os estudos para a sua constituição. Na realização deste estudo foram verificadas as suas propriedades, como coesão, limite de plasticidade e o tipo de material (argila, silte, areia e rocha). Na figura 1 esta sendo demonstrado as partes do talude e suas definições.

Figura 1 – Representação das partes do talude



Fonte: (o autor)

Onde:

Altura do talude;

Crista é a parte mais alta do talude;

Pé é a parte mais baixa do talude;

Massa escorregada é o solo que se deslocou do talude;

I é o ângulo formado pelo talude em um plano;

Superfície de ruptura é o local onde o talude vai sofrer a ruptura.

5.1.1 Taludes Construídos

São os taludes construídos pelo homem, podendo ser realizados com cortes ou aterros em locais diversos como: barragens, nas laterais de estradas e ruas, nas escavações, em valas e em locais que necessitam de um plano, sendo este inclinado.

Na execução dos taludes necessita-se do conhecimento do local e estudos do solo, respeitando a inclinação necessária para a melhor estabilidade do talude, sendo de suma importância a correta inclinação para os cortes e o devido índice de compactação para os aterros. (GERSCOVICH, 2012).

5.1.2 Taludes Naturais

É o talude que pode ser construído por solo residual e coluvionar e também as rochas. Os solos residuais são os que permanecem no mesmo local onde foram gerados. Já os coluvionares são os solos que foram transportados de um local para outro com a ação da gravidade. Os taludes naturais sempre vão ter o problema de movimentação, por causa da ação da gravidade que contribui naturalmente para que ocorram os movimentos.

5.2 Modo de ruptura de talude

5.2.1 Movimento de massa

Eventualmente, os problemas da movimentação de massas vêm acontecendo inúmeras vezes, causando grandes acidentes catastróficos, como exemplo, os deslizamentos de terra, que acontecem em função de fenômenos, que apesar de ser natural, pode ser intensificado pela ação humana.

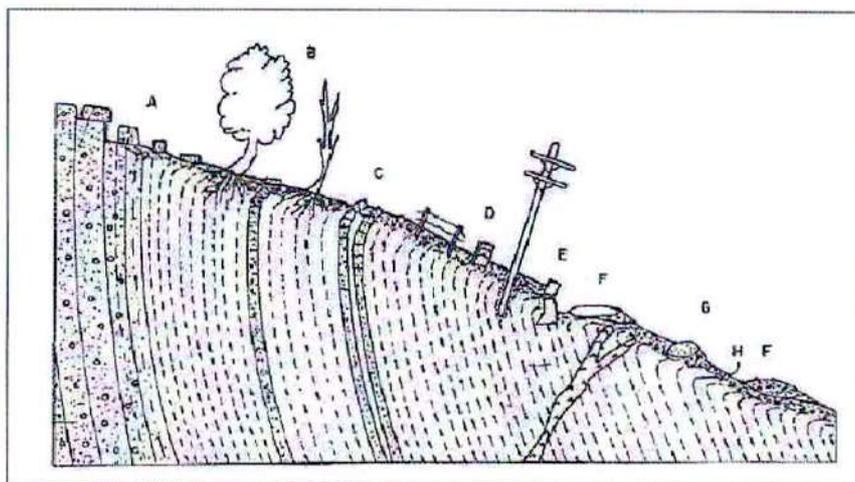
O movimento de terra é qualquer deslocamento de rochas ou sedimentos de uma superfície inclinada, ou seja, que transporta e deposita seus sedimentos de um ponto para outro, com isso sendo um dos mais elementares processos de transformação do relevo.

Segundo Gerscovich (2012), movimento de massa é qualquer deslocamento de um determinado volume de solo, no qual diz ainda que na literatura geral, estes movimentos de massa são tratados como processos associados a problemas de instabilidade de encostas. E estes movimentos de massa são agrupados por quedas ou tombamentos, escorregamentos, escoamentos e erosões.

5.2.2 Escoamento

Conforme (GERSCOVICH 2012, p.3), os escoamentos são movimentos contínuos, com ou sem superfícies de deslocamento definida, e não tendo uma associação com a velocidade específica. Tendo o nome de rastejo quando seu movimento é lento, e tendo o nome de corrida pelo seu movimento rápido. E tendo uma um mecanismo de deformação semelhante e sua movimentação de um fluido viscoso, conforme figura 2.

Figura 2 – Sinais que evidenciam a presença de rastejo: (A) blocos deslocados de sua posição inicial; (B) árvores inclinadas ou com troncos recurvados; (C) estratos de camadas rochosas sofrendo variações bruscas (encosta abaixo) ou xistosidade; (D) deslocamento de postes e cercas; (E) trincas e rupturas em elementos rígidos, como muretas, muros e paredes; (F) eixos de estradas e ferrovias sofrendo inflexões no alinhamento; (G) matacões arredondados; (H) linhas de seixos recobertas por regolito em movimentação de rastejo (Sharpe,331).



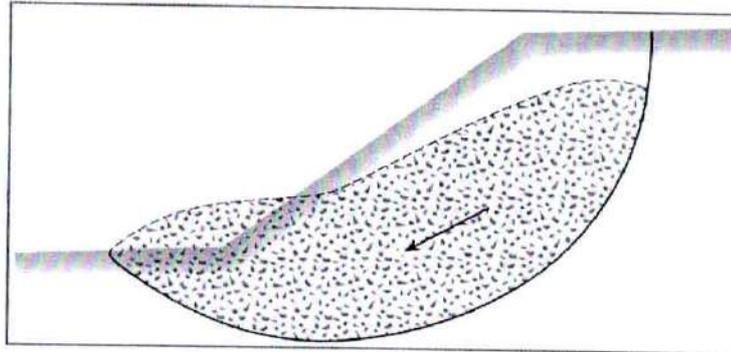
Fonte: (Guidicini e Nieble, 1983, p. 20).

5.2.3 Escorregamento

Escorregamento é a nomenclatura mais específica para os deslizamentos. Os escorregamentos se caracterizam por movimentos de solo de pequeno ou grande porte que se manifestam de maneira mais acelerada. Precedem da separação de uma cunha de solo que se movimenta em relação do resto maciço.

Por (DAS, Braja M., 2013, p. 469), escorregamento se define como o movimento de descende do movimento de uma massa de solo. Ocorre na superfície da ruptura, conforme figura 3

Figura 3 – Escorregamento de talude.

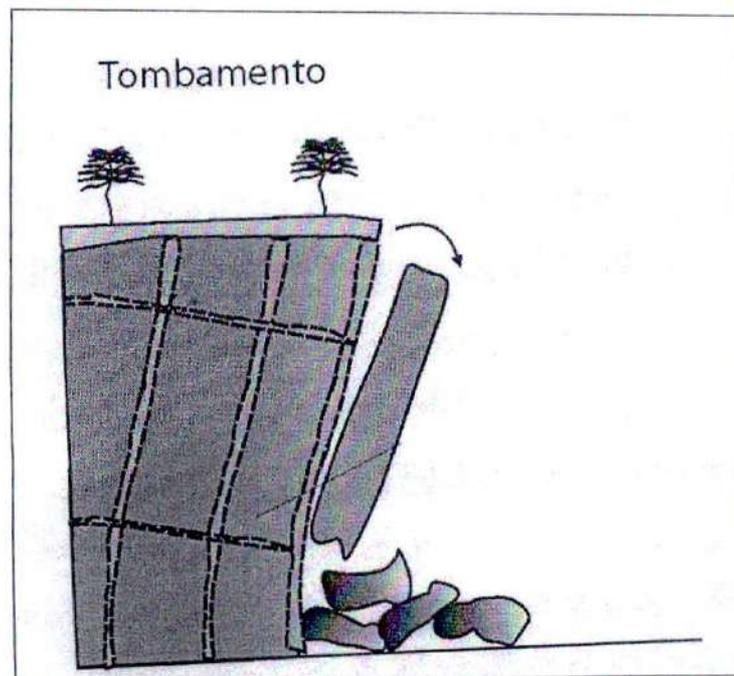


Fonte: (DAS, Braja M., 2013, p. 470).

5.2.4 Quedas ou tombamentos

Quedas ou tombamentos são os movimentos rápidos, resultante da ação da gravidade sobre a massa de solo que se destaca de restante do maciço e rola talude abaixo. Gerando um afastamento evidente da massa que se desloca em relação à parte fixa do maciço.

Figura 4 – Queda ou tombamento de talude.

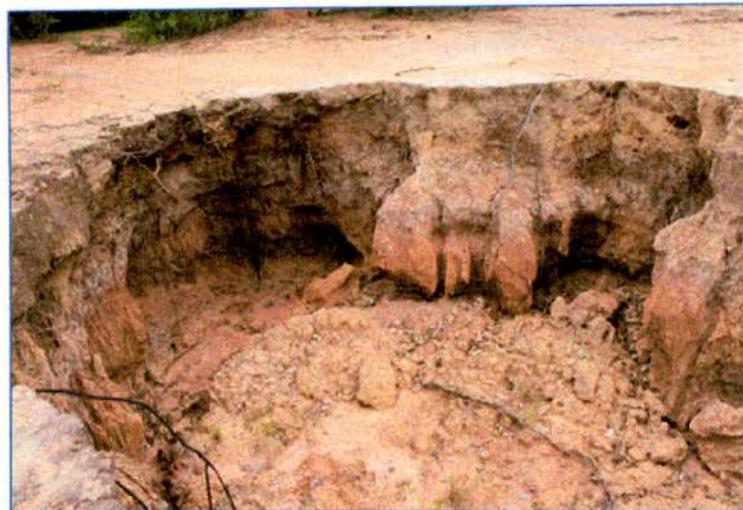


Fonte: (GERSCOVICH 2012, p.20).

5.2.5 Erosões

As erosões podem ser provenientes da falta de vegetação do talude ou da própria falta de drenagem do local, que vão deteriorando o talude e perdendo todas as suas propriedades, conforme figura 5. As erosões podem ser também da ação humana, que realiza o talude de forma inadequada, o que traz problemas futuros para o talude.

Figura 5 – Erosão do solo.



Fonte: (www.mundoeducacao.com/geografia/erosao.htm)

5.3 Causas dos movimentos

Os grandes problemas de instabilidade de taludes são:

- O aumento de cargas na crista do talude. (Ex: Aumento das edificações próximo a crista, elevando as cargas.);
- Diminuição da resistência ao cisalhamento. (Ex: poro pressão.);
- Erros na execução do talude (Ex: Não respeitar as inclinações corretas.);
- Erros de execução de algum trabalho perto do pé do talude (Ex: Realização de escavações ou diminuição do pé do talude para outras edificações.);
- Falta de drenagem (Ex: penetração da água no solo ocasionando a saturação do maciço.);
- Liquefação do solo (Ex: Perda parcial ou total da resistência de cisalhamento.).

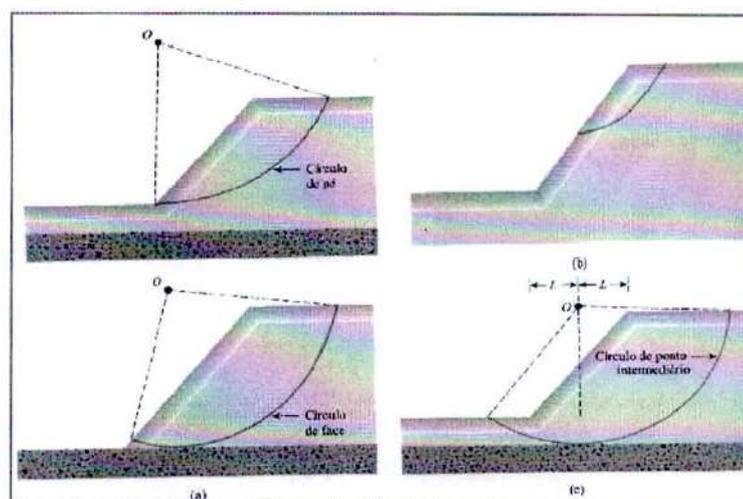
5.4 Mecanismo de ruptura

5.4.1 Ruptura circular

Ao ser rompida uma massa de solo verificamos que a superfície cisalhada se caracteriza por sua geometria, como de um círculo. Quando o talude tem uma homogeneização ao seu todo de camada por camada, ou quando sofre o rompimento; a sua superfície se aproxima muito de um círculo.

Em algumas definições feitas pelo (DAS, Braja M., 2013, p. 469), quando a ruptura passa interceptando a face do talude, ou seja, acima da base, é chamado de ruptura de face, conforme figura 9 a, podendo ocorrer a ruptura passando acima do pé do talude, e em certas circunstâncias podendo chamar ruptura superficial de face conforme figura 9 b, e quando a ruptura passa em algumas distancias do pé do talude ela é chamada de ruptura de base conforme figura 9 c.

Figura 6 – Modos de ruptura circular.

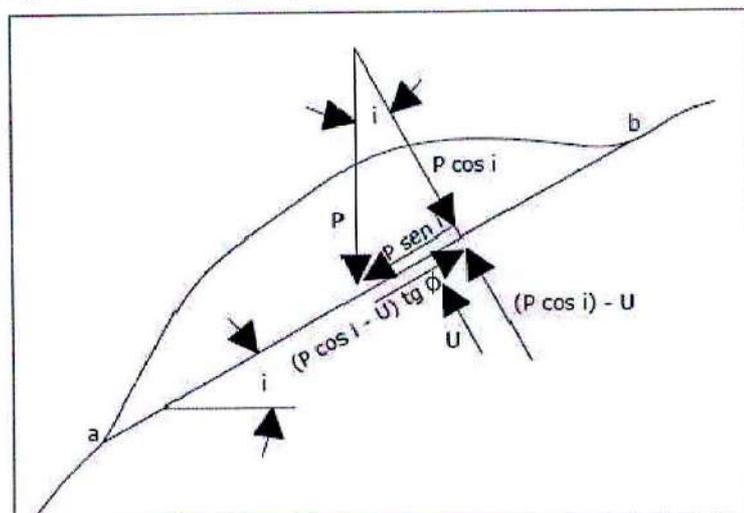


Fonte: (DAS, Braja M., 2013, p. 480).

5.4.2 Ruptura plana

É a ruptura que pode se desenvolver ao longo de um plano, podendo ser de origem natural ou artificial, tendo uma inclinação aproximada de 90° , sendo aceitável em taludes homogêneos, conforme figura 7.

Figura 7 – Modos de ruptura plana.



Fonte: (Guidicini e Nieble, 1983, p. 141).

Onde:

P = peso do bloco;

U = subpressão na base do bloco;

i = inclinação do plano de ruptura;

ϕ = ângulo de atrito do contato bloco-plano;

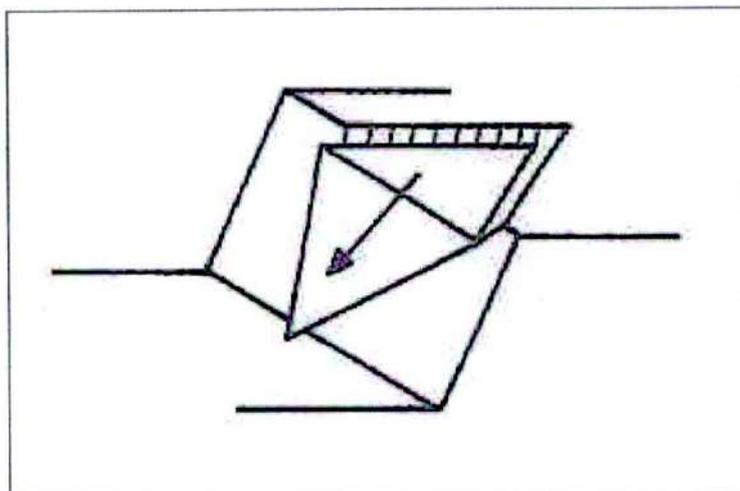
$(P \cos i - U) \operatorname{tg} \phi$ = esforço resistente ao escorregamento;

$P \operatorname{sen} i$ = esforço solicitante.

5.4.3 Ruptura em cunha

Corresponde ao deslizamento de um bloco em forma de cunha, formado por dois planos de descontinuidades, na direção de sua linha de intersecção. Para que seja produzido este tipo de ruptura os dois planos devem aflorar na superfície do talude, conforme figura 8.

Figura 8 – Modos de ruptura em cunha.



Fonte: (Guidicini e Nieble, 1983, p. 121).

5.5 Métodos de análise de estabilidade

Na maioria das vezes as análises são abordadas pelo equilíbrio limite. Este equilíbrio limite é uma ferramenta empregada pela teoria da plasticidade para análise do equilíbrio dos corpos.

Conforme a (NBR 11.682, p. 17) o talude visa à determinação de projeto em função do grau de segurança do local, dentro dos critérios definidos pela 6.1.4.1, que mostram o grau de segurança exigido no caso de proximidade imediata de edificações.

5.6 Fator de segurança

É a relação entre os esforços resistentes e esforços atuantes que vão levar a determinação dos cálculos a serem adotados (NBR 11.682).

A função do engenheiro é analisar o talude, e determinar o fator de segurança. Este fator é definido pela equação 1:

(1)

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Onde:

F_s : Fator de Segurança em relação a resistência;

τ_f : resistência média ao cisalhamento do solo;

τ_d : tensão de cisalhamento em média desenvolvida ao longo da superfície potencial a ruptura.

Com este resultado temos a comparação da estabilidade do talude.

Se o $F_s < 1$, indica que a estabilidade do talude não está boa e com possibilidade de ruptura.

Se o $F_s = 1$, indica que o talude está no seu limite, e podendo sofrer ruptura.

Se o $F_s > 1$, indica que a estabilidade do talude está dentro dos parâmetros de segurança e dificilmente vai sofrer ruptura.

Nos projetos de talude é verificado o fator de segurança (F_s), tendo que verificar para qual finalidade vai ser executado o talude. A partir daí obtém-se os parâmetros reais do local, podendo-se direcionar os graus de segurança fornecidos pela NBR 11.682/1991, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Valores típicos de Fator de segurança.

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	

* Podem ser adotados fatores diferentes, desde que justificados

Fonte: (NBR 11.682, 1991, p.18).

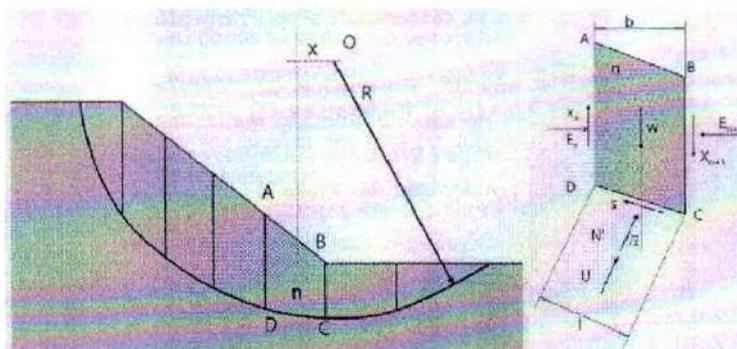
5.7 Métodos para cálculo de estabilidade de talude

Os métodos para cálculos de talude, podem ser realizados de várias formas, para fins deste trabalho vai ser mencionado o método das fatias utilizados em Bishop Simplificado, Fellenius e Morgenstern&Price, que nos dá um parâmetro diferenciado quanto ao mecanismo de ruptura do talude.

5.7.1 Método das Fatias

Este é o método de estudo de estabilidade mais utilizado, pois não apresenta restrições de homogeneização do solo, do tipo de talude, e sua geometria. Assim, neste método, o talude pode apresentar irregularidades da sua superfície, pois permite que o solo seja heterogêneo e possibilita a distribuição de poropressão, tendo as análises das condições mais críticas conforme figura 9.

Figura 9 – Modos de Fatias.



Fonte: (GERSCOVICH 2012, p.88).

Onde:

W = peso da fatia

b = largura da lamela

h = altura da lamela medida no centro

N = força na base da fatia

N' = tensão normal efetiva

U = tensões totais

S = resistência na base

c' = coesão efetiva

A partir do equilíbrio de momentos, temos a equação geral do cálculo do fator de segurança para o método de fatias, conforme equação 2:

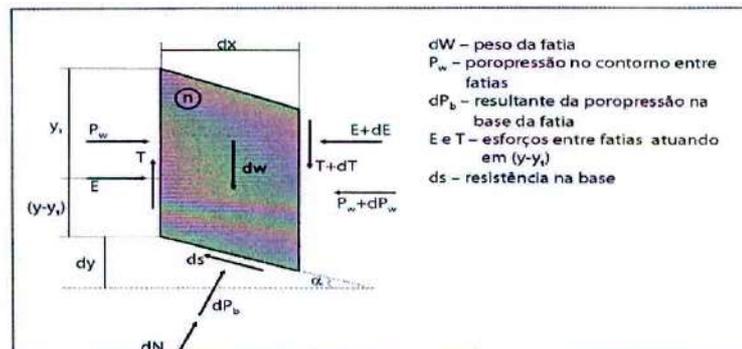
(2)

$$F. S. = \frac{c' \cdot L + Tg\phi \cdot \sum N'}{\sum W \cdot \text{sen } \alpha}$$

5.7.2 Método de Morgenstern & Price

Este método torna o problema estaticamente determinado, ao contrário dos demais métodos rigorosos que estabelecem uma relação constante entre as forças entre as fatias. (GEORSCOVICH, 2012, p. 138). Estabelece que o equilíbrio estático e a massa estável são divididas em fatias e com isso é necessário o auxílio de programas computacionais para execução dos cálculos.

Figura 10 – Método de Morgenstern e Price.



Fonte: (GEORSCOVICH, 2012).

5.7.3 Método de Fellenius

Conforme, (GEORSCOVICH, 2012), este método é denominado como método sueco, onde as forças têm o equilíbrio em cada fatia, e com isso é feito nas direções normais e tangenciais à superfície de ruptura, e utilizando a equação 3.

(3)

$$F.S. = \frac{c' \cdot La + \text{tg}\phi \cdot \sum(W \cdot \cos \alpha - U \cdot l)}{\sum W \cdot \text{sen } \alpha}$$

Onde:

W = peso da fatia

U = tensões totais

La = somatório dos comprimentos (l) das lamelas

c' = coesão efetiva

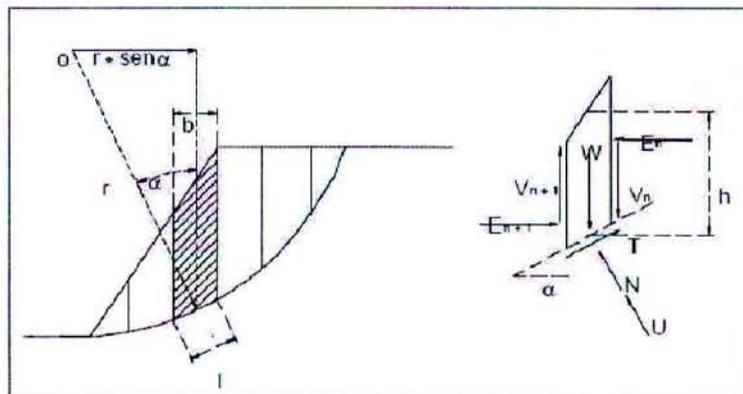
ϕ = ângulo de atrito

α = ângulo de inclinação da base da fatia

5.7.4 Método de Bishop Simplificado

Este método foi desenvolvido para uma superfície de ruptura circular, podendo ser adaptados para superfícies não circulares. A força que atua no centro da fatia é derivada da soma de forças verticais. O equilíbrio das forças horizontais não sendo satisfatória, conforme a figura 11.

Figura 11 – Modos de Bishop Simplificado.



Fonte: (Gomes, 2003, p. 10).

Onde:

W = peso total da lamela

N = força normal atuante na base da lamela

U = resultado das pressões neutras na base da lamela

T = força resistente na base da lamela

E_m, E_{m+1} = forças horizontais nas laterais da lamela

V_n, V_{n+1} = forças verticais nas laterais da lamela

b = largura da lamela

h = altura da lamela

l = comprimento da base da lamela

r = raio de círculo

O = centro do círculo

α = ângulo de atrito da lamela com a horizontal

A equação para o cálculo do método de Bishop Simplificado pode ser demonstrada pelo fator de segurança e equilíbrio das forças, conforme a equação 4. O valor de M_a é obtido pela equação 5:

(4)

$$F.S = \frac{\sum [c \cdot b + (W \cdot u \cdot b) \cdot \text{tg} \phi] \cdot \frac{1}{M_a}}{\sum W \cdot \text{sen} \alpha}$$

(5)

$$Ma = \left[1 + \left(\text{tg} \varphi \cdot \frac{\text{tg} \alpha}{2} \right) \right] \cdot \cos \alpha$$

5.8 Resistência do solo

5.8.1 Definição

Conforme (PINTO, Carlos de Souza, p. 260) a ruptura dos solos é quase um fenômeno de cisalhamento, que acontece, por exemplo, quando uma sapata de fundação é carregada até a ruptura ou quando ocorre o escorregamento de um talude. Só em condições especiais ocorrem rupturas por tensões de tração. A resistência ao cisalhamento de um solo define-se como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer rupturas, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura ocorrer.

De acordo com (CAPUTO, 1988, p. 158), o solo para suportar as cargas e conservar a sua estabilidade, vai depender da resistência de cisalhamento do solo; toda massa de solo é rompida se exceder o solo.

A equação para a resistência de cisalhamento do solo, que tem uma aproximação significativa é a equação de Coulomb, conforme a equação 6:

(6)

$$\tau = C + \sigma \cdot \text{tg} \varphi$$

Onde:

τ = resistência de cisalhamento;

C = coesão;

σ = tensão normal atuante no plano de ruptura; e

φ = ângulo de atrito do solo

5.8.2 Atrito

O atrito tem uma resistência entre as partículas dependendo do seu coeficiente, e pode ser definida como força tangencial necessária para ocorrer um deslizamento de um plano, e outro paralelamente a ele. A força existente vai ter uma relação proporcional à força normal ao plano. O ângulo que vai se obter entre a força normal e a resultante das forças, tangencial e normal, é reconhecido como ângulo de atrito Φ . Com este ângulo tem-se a maior inclinação que a força de cisalhamento pode ter para que não haja um deslizamento.

O atrito tem o fenômeno que se diferencia entre dois corpos, porque seu deslocamento vai envolver um grande número de grãos, podendo rolar uns sobre outros ou deslizar entre si acomodando-se em vazios que encontram em percurso.

Há uma diferença entre as forças transmitidas nos contatos entre os grãos de argila e areia. As forças transmitidas pelos grãos de areia são suficientes para expulsar a água da superfície, e tendo o contato dos dois minerais. Já no caso da argila, o número de partículas de solo é muito maior sendo menor a força, e esta força não suficiente expulsa a água absorvida, ficando a água responsável pela transmissão das forças.

5.8.3 Coesão

Os grãos têm o atrito devido essencialmente à resistência do cisalhamento. Mas a atração química entre as partículas, independente da força normal atuante no plano, vai se denominar em coesão real. A coesão real não pode ser confundida com a coesão aparente, a coesão real ela não é de solos saturados, determinada pela pressão capilar. Quando o solo vai sendo saturado vai perdendo a sua resistência.

De acordo com Pinto (1988, p. 158), o solo para suportar as cargas e conservar a sua estabilidade, vai depender da resistência de cisalhamento do solo e toda massa de solo é rompida se ceder o solo.

5.8.4 Critério de ruptura

Conforme (PINTO, Carlos de Souza, p. 263), as rupturas são as formulações que procuram refletir as condições em que ocorre a ruptura dos materiais. As rupturas possuem critérios que indicam as máximas tensões de compressão, de tração ou de cisalhamento.

Outras fontes se referem à ruptura como a máxima deformação. Outros, ainda, consideram como energia de deformação.

O estudo das tensões que provocam ruptura se dá, pela análise de cisalhamento do solo. E estes estudos são representados por Mohr e Coulomb que são os critérios de ruptura de melhor representação.

“O critério de Coulomb pode ser expresso como: não há ruptura se a tensão de cisalhamento não ultrapassar um valor dado pela expressão $C+f\cdot\sigma$, sendo C e f constantes do material e σ a tensão normal existente no plano de cisalhamento. Os parâmetros C e f são denominados, respectivamente, coesão e coeficiente de atrito interno, que é expresso como a tangente de um ângulo, denominado ângulo de atrito interno.(PINTO, Carlos de Souza, p. 263).

“O critério de Mohr pode ser expresso como: não há ruptura enquanto o círculo representativo do estado de tensões se encontrar no interior de uma curva, que é envoltória dos círculos relativos a estados de ruptura, observados experimentalmente para o material. (PINTO, Carlos de Souza, p. 263).

5.8.5 Ensaio de cisalhamento

Segundo (CAPUTO, 1988, p. 158), a resistência de cisalhamento de um solo é, usualmente, determinada no laboratório por um dos seguintes ensaios:

- ✓ Cisalhamento direto;
- ✓ Compressão triaxial;
- ✓ Compressão simples.

5.8.6 Cisalhamento direto

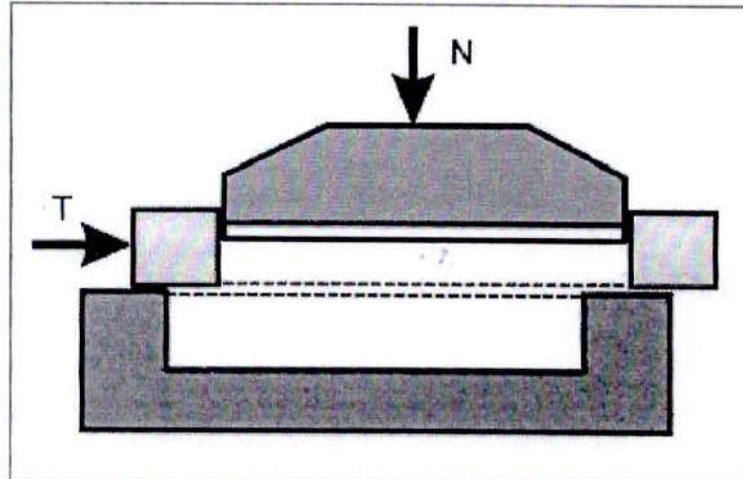
Para (CAPUTO, 1988, p. 161), o cisalhamento direto tem a função de determinar sob uma função σ , para a tensão de cisalhamento $\tau = \tau_r$, que realiza a ruptura de uma amostra de solo.

Já (PINTO, Carlos de Souza, p. 265), diz que o ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo procedimento para a determinação da resistência ao cisalhamento e se utiliza diretamente o critério de Coulomb.

Na execução do ensaio com o corpo de prova do solo, o material é colocado dentro de uma caixa de cisalhamento, conforme a figura 12. Aplicando uma força vertical N. Uma força

tangencial T que é aplicada no anel que contém a parte superior do corpo de prova, e provocando o deslocamento, e medindo a força suportada pelo solo.

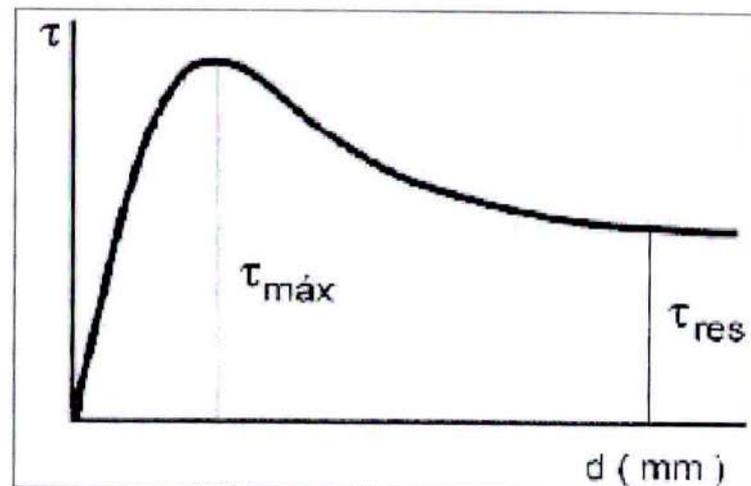
Figura 12 – Representação de esquema de caixa de cisalhamento



Fonte: (PINTO, Carlos de Souza, p. 263)

A tensão τ pode ser representada em função do deslocamento e no sentido do cisalhamento conforme no gráfico da figura 13. Com o gráfico se identifica a τ máxima e τ residual que o corpo de prova ainda vai sustentar, após a ultrapassagem da situação de ruptura.

Figura 13 – Representação de resultado típico de ensaio



Fonte: (PINTO, Carlos de Souza, p. 263)

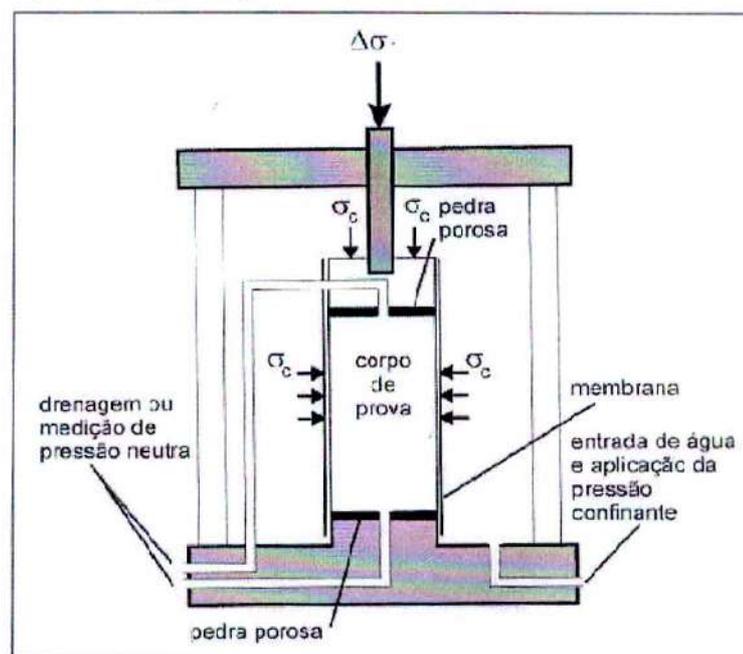
5.8.7 Compressão triaxial

Neste ensaio de compressão triaxial, consiste em uma aplicação de pressão confinante e de um carregamento axial, sobre o corpo de prova cilíndrico. Este corpo de prova é colocado de uma câmara de ensaio conforme é mostrado na figura 14. Esta câmara será cheia de água, e posteriormente é aplicada uma força, esta força é chamada de pressão confinante ou pressão de confinamento de ensaio.

Por não ter tensões de cisalhamento nas suas bases do seu corpo de prova, vai ser atuada a pressão confinante e tendo a tensão de axial ou tensão desviadora, e com isso podendo traçar o círculo de Mohr.

Para (CAPUTO, 1988, p. 161), este ensaio é teoricamente mais perfeito que o de cisalhamento direto e, atualmente mais utilizado.

Figura 14 – Representação câmara de ensaio triaxial



Fonte: (PINTO, Carlos de Souza, p. 263)

5.8.8 Compressão simples

Este é um ensaio adicional de compressão axial e trata-se de um caso especial de compressão triaxial. Neste ensaio o material não é encamisado em uma membrana de

borracha e o solo é carregado rapidamente axialmente, e também não é confinado, ou seja, $\sigma_3 = 0$.

Conforme (CAPUTO, 1988, p. 165), a função da resistência a compressão $R(\sigma_1 = R)$, o valor de coesão de um solo puramente coesivo é igual à sua metade ($c = R/2$), resultado particularmente expressivo e que se obtém do diagrama de Mohr.

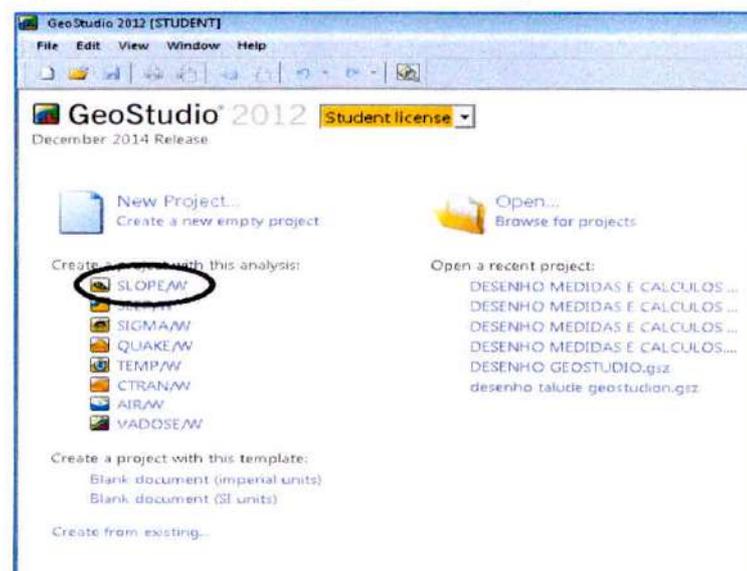
5.9 Programa GeoStudio

Na engenharia estão sendo utilizado os programas computacionais. Com base neste contexto foi utilizado o programa GeoStudio 2012 SLOPE/W, como ferramenta de análise de estabilidade do talude. Conforme a figura 15 e 16.

O SLOPE/W realiza a teoria de Equilíbrio-Limite para calcular o fator de segurança do talude constituído de solo ou rocha. E o cálculo de Fator de Segurança podendo utilizar vários métodos como:

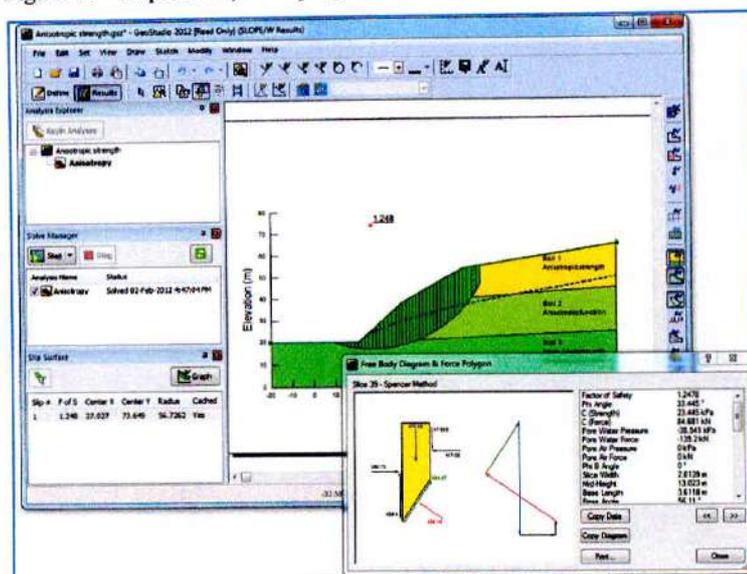
- ✓ Método de Fellenius;
- ✓ Método de Bishop Simplificado;
- ✓ Método de Morgenstern-Price;
- ✓ E outros.

Figura 15 – Representação do programa GeoStudio 2012



Fonte: (O autor).

Figura 16 – Representação do programa GeoStudio 2012



Fonte: (Programa GeoStudio - <http://static.geo-slope.com/images/screen-slope-full.png>).

O programa GeoStudio 2012 tem três funções que representam o modo de se executar: Define; Solve e Contour. Na programação, Define, é a modelagem do talude que está em análise, e definindo as camadas do solo existente; o Solve computa os resultados e o Contour visualiza os resultados.

Na sequência definimos o método de análise, que vai ser o método de Mohr-Coloumb, inserimos os dados de peso específico, coesão e ângulo de atrito para cada camada de solo que foi relacionada no ensaio do SPT.

Conforme no talude de estudo vai ser analisado a ruptura local e ruptura global. Para a ruptura local será analisado somente um talude de cada vez, e na ruptura global o estudo será realizado nos dois taludes.

6 ESTUDO DE COMPARAÇÃO DE ESTABILIDADE DO TALUDE COM E SEM AS CARGAS DA EDIFICAÇÃO DO SHOPPING

6.1 Localização da área de estudo

O estudo de caso está sendo realizado no empreendimento Shopping Via Café Garden, localizado na Avenida Humberto Pizzo, S/N – Jardim Petrópolis, Varginha/MG. Contendo a área do seu terreno de 90.582,61 m², sendo 34.508,76 m² a construção do empreendimento apresentado na figura 17 e figura 18.

Figura 17 – Representação do local do estudo de caso (Shopping)



Fonte: (<https://www.google.com.br/maps/place/Varginha>)

Figura 18 – Representação do local do estudo de caso (Shopping)



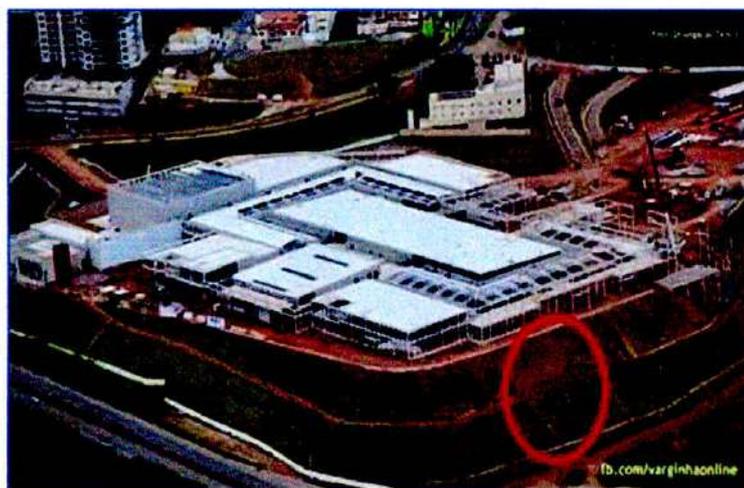
Fonte: (<fb.com/varginhaonline>)

6.2 Levantamento topográfico

O levantamento foi realizado por uma estação total que grava os pontos de coordenada do terreno levantado, onde se definiu a geometria do terreno realizando o platô onde será construído o empreendimento. A cota de projeto foi de 865,00. Com esta cota foram definidos os locais que seriam de aterro e de corte. E com isso, definindo o talude de estudo. A figura 19 mostra a parte onde será realizado o estudo e na figura 20 a geometria do talude nas curvas de nível.

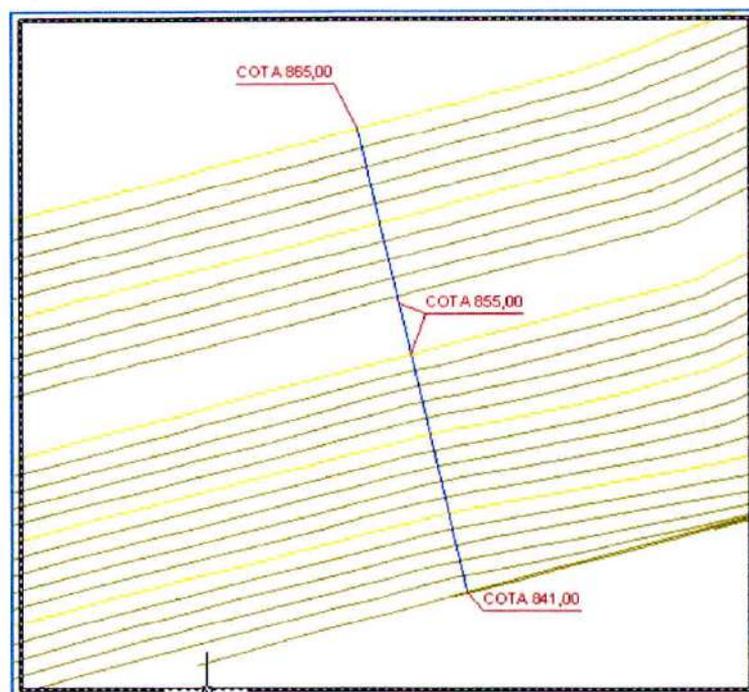
O talude de estudo pela altura muito excessiva foi construído em duas partes, começando no platô, que está na cota 865,00 que é a crista do primeiro talude, e vai até a cota 855,00 que é o pé do talude, tendo uma Berna de 3,50 metros, e começando outro talude na cota 855,00 que é nova crista e terminado na cota 841,00 que é o segundo pé, tendo assim as dimensões do local de estudo, mostrado na figura 19.

Figura 19 – Representação do local que será realizado o estudo.



Fonte:(fb.com/varginhaonline)

Figura 20 – Representação das curvas de nível do local de estudo.



Fonte: (O autor).

6.3 Resultado dos SPT's

Na realização do projeto do empreendimento do Shopping, foram realizadas sondagens no local da construção para reconhecimento do solo, para definir suas especificações. Para o estudo de talude deste trabalho foi selecionado 02 SPT's, o SPT 119 e 121, que está localizado em linha reta com o local de estudo.

O estudo de reconhecimento do solo do SPT 119 teve as seguintes especificações: foi realizada uma perfuração de 13,72 m, que foi definida conforme figura 21. O SPT 121 teve as seguintes especificações: foi realizada uma perfuração de 9,10 m conforme figura 22.

Figura 21 – Representação do SPT 119.

ESTACA:							NA:	N.F.E	E:
PROF. (m)	Índice: 1	Índice: 2	Índice: 3	I	F	N. A.	DUREZA	CLASSIFICAÇÃO VISUAL	
1	2	3	2	5	5		MEDIA	0,00 à -1,10m - Argila areno pouco siltsosa com veios de pedregulho, vermelha.	
2	2	1	2	3	3		FOFO		
3	2	3	4	5	7		MED. COMPACTO	-1,10 à - 8,30m - Silte areno pouco argiloso, com veios de pedregulho, rosa com veios cinza.	
4	3	4	4	7	8		MED. COMPACTO		
5	6	5	5	11	10		MED. COMPACTO		
6	5	6	8	11	14		MED. COMPACTO		
7	10	11	12	21	23		COMPACTO		
8	11	13	10	24	23		COMPACTO		
9	12	14	15	26	29		COMPACTO		
10	11	12	14	23	26		COMPACTO		
11	12	14	14	26	28		COMPACTO		
12	13	15	15	28	30		MUITO COMPACTO		
13	12	15	20	27	35		MUITO COMPACTO		-8,30 à -13,72m - Silte areno pouco argiloso com veios de pedregulho, rosa e roxo com veios preto, variegado.

Fonte: (Empresa Fonte).

Figura 22 – Representação do SPT 121.

ESTACA:							NA:	N.F.E	E:
PROF. (m)	Índice: 1	Índice: 2	Índice: 3	I	F	N. A.	DUREZA	CLASSIFICAÇÃO VISUAL	
1	2	2	4	4	6			0,00 à -1,40m - Argila areno pouco siltsosa, vermelha.	
2	3	2	3	5	5				
3	5	7	8	12	15			-1,40 à -4,20m - Silte areno pouco argiloso, com veios de pedregulho, rosa e roxo, com veios brancos, variegado.	
4	6	5	6	11	11				
5	7	2	2	9	4				
6	11	15	15	26	30			-4,20 à -9,10m - Silte areno pouco argiloso, roxo e rosa, com veios de pedregulho graúdo.	
7	13	17	19	30	36				
8	14	18	23	32	41				
9	28/5	-	-	28/5	-				

Fonte: (Empresa Fonte).

6.4 Resultados do Programa GeoStudio

6.4.1 Desenvolvimento

O estudo de estabilidade do talude teve seu início pelos resultados do SPT. Com estas informações pode-se retirar os números de golpes de cada camada conforme a tabela 2, e podendo ter os parâmetros necessários para realizar o estudo no programa GeoStudio 2012 SLOPE/W.

Para a realização do índice de penetração (N), é realizado a seguinte equação 7, e os resultados na tabela2.

(7)

$$N = \frac{\sum N^{\circ} \text{ de golpes}}{N_{SPT's}}$$

- N° de Golpe = É o numero de golpe que o operador realizou para vencer a camada necessária de 1 metro.

- $N_{SPT's}$ = É o numero de camadas que foi rompida na profundidade de 1 metro.

Tabela 2 – Representação de resultado de N.

SPT	CAMADA	Nº DE GOLPES	Nº POR CAMADA	RESULTADO
119	ARGILA	8	2	4
119	SILTE	85	6	14,17
121	ARGILA	11	2	5,5
121	SILTE	137	6	22,83

Fonte: (O autor).

Com os resultados de índice de penetração (N), pode-se achar coesão e ângulo de atrito pela tabela de parâmetros médios de solo, conforme (JOPPERT, 2007, pag. 99) demonstrada na tabela 4, e os parâmetros relacionado tabela 3.

Tabela 3 – Representação de resultados, Peso Específico, Coesão e Ângulo de Atrito.

SPT	CAMADA	RESULTADO (N)	PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)	COESÃO (kPa)	ÂNGULO DE ATRITO
119	ARGILA	4	17	23	15°
119	SILTE	14,17	19	30	24°
121	ARGILA	5,5	18	30	25°
121	SILTE	22,83	20	40	25°

Fonte: (O autor).

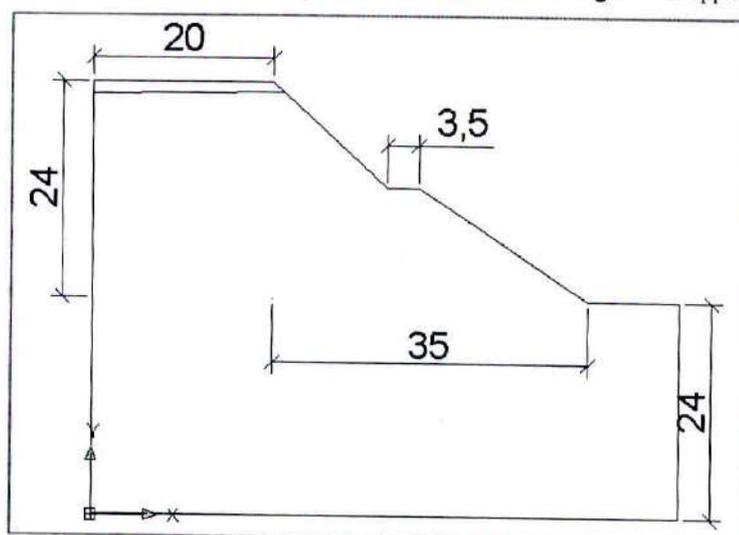
Tabela 4 – Tabela de Parâmetro do Solo de Ivan JoppertJunor.

Tabela nº 13 - Parâmetros médios do solo						
Tipo de solo	Faixa de STP	Módulo de elasticidade (t/m ²)	Peso específico (g)		Ângulo atrito efetivo (f)	Coesão efetiva (tf/m ²)
			Natural (t/m ³)	Saturado (t/m ³)		
Areia pouco siltosa / pouco argilosa	0 - 4	2000 - 5000	1,7	1,8	25°	–
	5 - 8	4000 - 8000	1,8	1,9	30°	–
	9 - 18	5000 - 10000	1,9	2,0	32°	–
	19 - 41	8000 - 15000	2,0	2,1	35°	–
	≥ 41	16000 - 20000	2,0	2,1	38°	–
Areia média e fina muito argilosa	0 - 4	2000	1,7	1,8	25°	0
	5 - 8	4000	1,8	1,9	28°	0,5
	9 - 18	5000	1,9	2,0	30°	0,75
	19 - 41	10000	2,0	2,1	32°	1,0
Argila porosa vermelha e amarela	0 - 2	200 - 500	1,5	1,7	20°	0,75
	3 - 5	500 - 1000	1,6	1,7	23°	1,5
	6 - 10	1000 - 2000	1,7	1,8	25°	3,0
	≥ 10	2000 - 3000	1,8	1,9	25°	3,0 a 7,0
Argila siltosa pouco arenosa (terciário)	0 - 2	100	1,7	1,8	20°	0,75
	3 - 5	100 - 250	1,8	1,9	23°	1,5
	6 - 10	250 - 500	1,9	1,9	24°	2,0
	11 - 19	500 - 1000	1,9	1,9	24°	3,0
	20 - 30	3000 - 10000	2,0	2,0	25°	4,0
	≥ 30	10000 - 15000	2,0	2,0	25°	5,0
Argila arenosa pouco siltosa	0 - 2	500	1,5	1,7	15°	1,0
	3 - 5	500 - 1500	1,7	1,8	15°	2,0
	6 - 10	1500 - 2000	1,8	1,9	18°	3,5
	11 - 19	2000 - 3500	1,9	1,9	20°	5,0
	≥ 20	3500 - 5000	2,0	2,0	25°	6,5
Turfa / argila orgânica (quaternário)	0 - 1	40 - 100	1,1	1,1	15°	0,5
	2 - 5	100 - 150	1,2	1,2	15°	1,0
Silte arenoso pouco argiloso (residual)	5 - 8	8000	1,8	1,9	25°	1,5
	9 - 18	1000	1,9	2,0	26°	2,0
	19 - 41	15000	2,0	2,0	27°	3,0
	≥ 41	20000	2,1	2,1	28°	5,0

6.4.2 Modelagem do talude sem as cargas da edificação

Foi executado no programa AutoCAD o desenho da geometria do talude, para ser anexado no programa GeoStudio 2012. Este desenho foi realizado na cota 0,0 para se ter as coordenadas para digitar no programa GeoStudio POINTS. A geometria do talude ficou conforme a figura 23, e a tabela 5 está definindo as coordenadas da geometria do talude de estudo.

Figura 23 – Representação da geometria do talude sem as cargas do Shopping (cota em metro).



Fonte: (O autor).

Tabela 5 – Representação pontos de coordenada.

PONTOS	COORDENADAS EM X (m)	COORDENADAS EM Y (m)
01	0,0	0,0
02	0,0	24,0
03	0,0	46,6
04	0,0	48,0
05	20,0	48,0
06	21,193	46,9

PONTOS	COORDENADAS EM X (m)	COORDENADAS EM Y (m)
07	32,68	36,3086
08	36,18	36,3086
09	55,0	24,0
10	65,0	24,0
11	65,0	0,0

Fonte: (O autor).

6.4.3 Programa GeoStudio

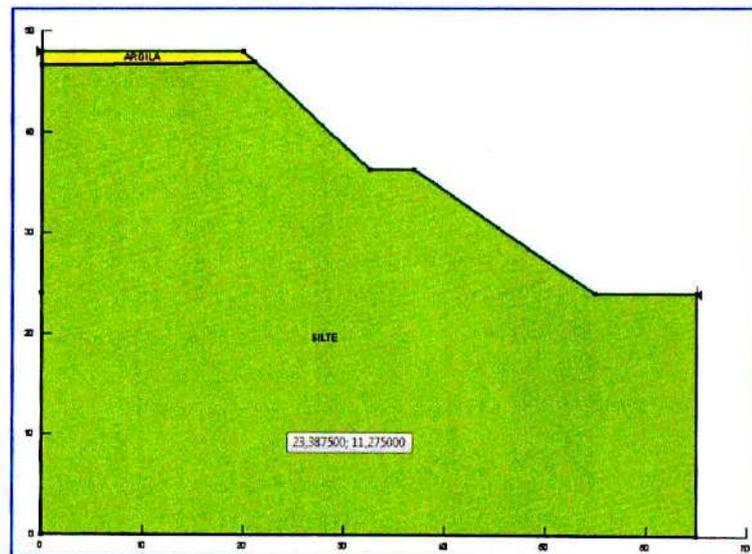
Na execução do programa computacional, foi definido o uso do GeoStudio 2012 na função SLOPE/W, onde foi realizada a geometria do talude conforme as coordenadas retiradas pelo AutoCAD. O programa GeoStudio 2012 foi utilizado para a definição de estabilidade do talude, mas com algumas restrições pelo motivo de estar utilizando o módulo estudante. O programa não aceita realizar exportação dos pontos de coordenadas e não aceita realizar estudos com mais de duas camadas de materiais.

6.4.4 Entrada de dados no software

Com as informações encontradas ao longo do estudo foi possível determinar a geometria do talude, suas camadas conforme a figura 24, e seus parâmetros de coesão, ângulo de atrito e peso específico.

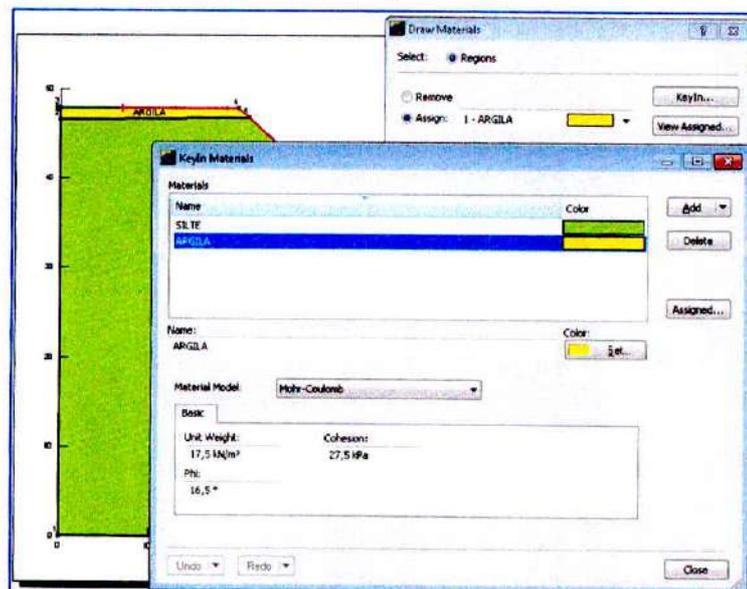
Com estas informações foi realizada a média dos dois SPT's (119 / 121) com os resultados conforme tabela 3, inserindo as informações no programa, utilizando o método de Mohr – Coulomb, sendo demonstrado na figura 25.

Figura 24 – Representação do talude com suas camadas.



Fonte: (O autor).

Figura 25 – Representação das informações do método Mohr-Coulomb.



Fonte: (O autor).

6.4.5 Análises de estabilidade sem as cargas da edificação do shopping

Já com as informações no programa, é realizado o estudo dos fatores de segurança. O estudo de estabilidade do talude foi definido como estudo de ruptura local e ruptura global, sendo demonstrado nas figuras 26, 27 e 28.

Na ruptura local é realizado o estudo nos taludes separadamente, sendo talude 01 e talude 02. Para determinar o campo de ruptura, utilizamos a função Draw Slip Surface, que vai ser o local de possível ruptura, dando o fator de segurança do talude, conforme figura 26 e 27. Já para ruptura global foi realizado o estudo no talude completo, tendo suas informações conforme figura 29.

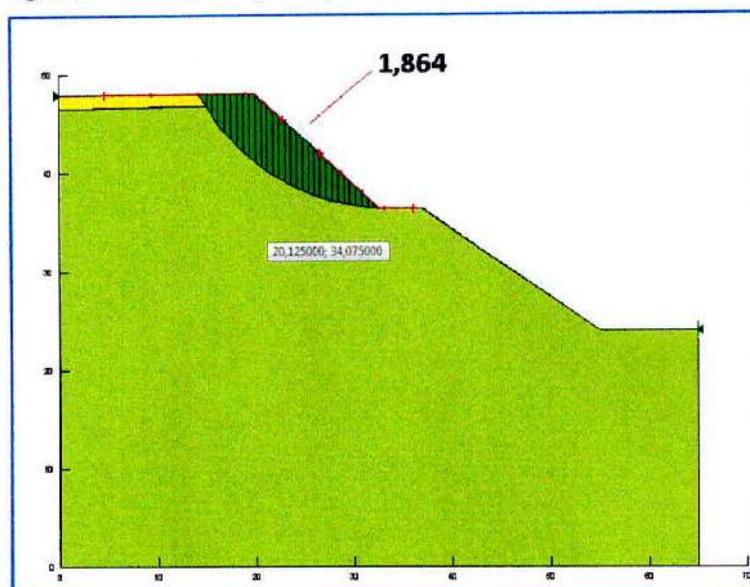
Com o estudo no programa computacional, obtivemos as informações de ruptura do talude de estudo na tabela 6. Foi relacionado tipo de solo, seu peso específico, sua coesão e ângulo de atrito. Dando também fator de segurança para o talude local e global.

Tabela 6 – Representação resultados e fator de segurança do talude sem as cargas do Shopping.

Modelagem	Tipo de solo	Peso específico (kN/m ³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (f)	Fator de segurança
01 (Talude de ruptura local 01)	Argila	17,5	26,5	20,0	1,864
	Silte	19,5	35,0	24,5	
02 (Talude de ruptura local 02)	Argila	17,5	26,5	20,0	2,107
	Silte	19,5	35,0	24,5	
03 (Talude de ruptura global)	Argila	17,5	26,5	20,0	1,610
	Silte	19,5	35,0	24,5	

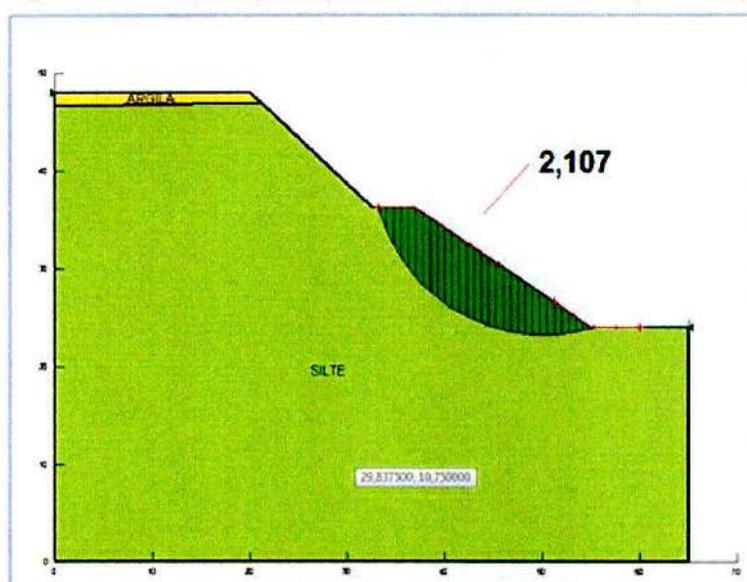
Fonte: (O autor).

Figura 26 – Saída gráfica para ruptura local talude 01 sem as cargas do Shopping.



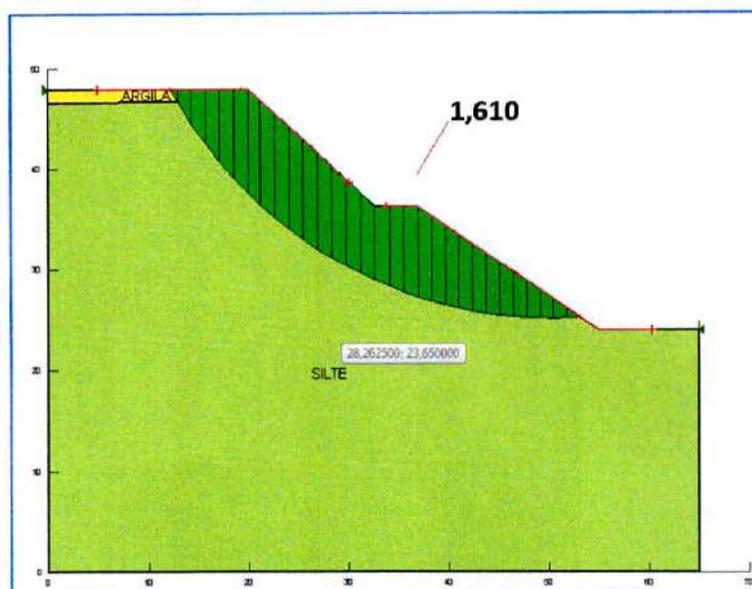
Fonte: (O autor).

Figura 27 – Saída gráfica para ruptura local talude 02 sem as cargas do Shopping.



Fonte: (O autor).

Figura 28 – Saída gráfica para ruptura Global sem as cargas do Shopping.

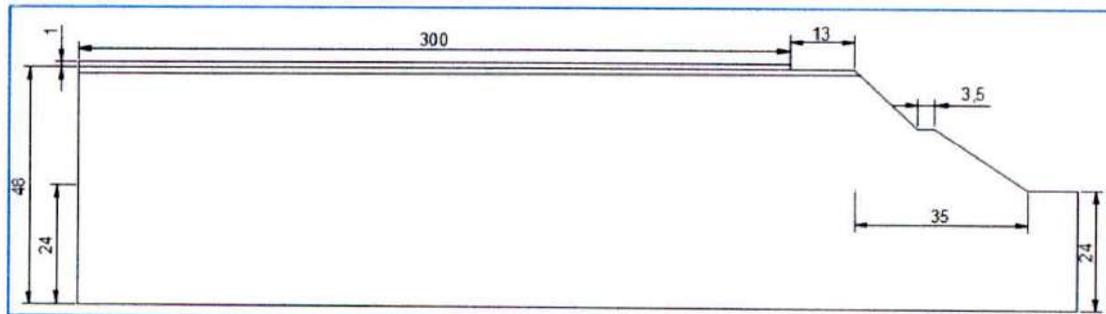


Fonte: (O autor).

6.4.6 Análises de estabilidade com as cargas da edificação do shopping

Foi executado uma nova modelagem no programa AutoCAD, para demonstrar o desenho da geometria do talude com as cargas da edificação, para ser anexado no programa GeoStudio 2012, demonstrado na figura 30 . Este desenho foi realizado na cota 0,0 para se ter as coordenadas para digitar no programa GeoStudio POINTS. A geometria do talude foi feita conforme in-loco, e a modelagem da edificação foi realizada metro por metro, ficando conforme a figura 29 e sua representação dos pontos de coordenada na tabela 7.

Figura 29 – Representação da geometria do talude com a dimensão da edificação (cota em metro).



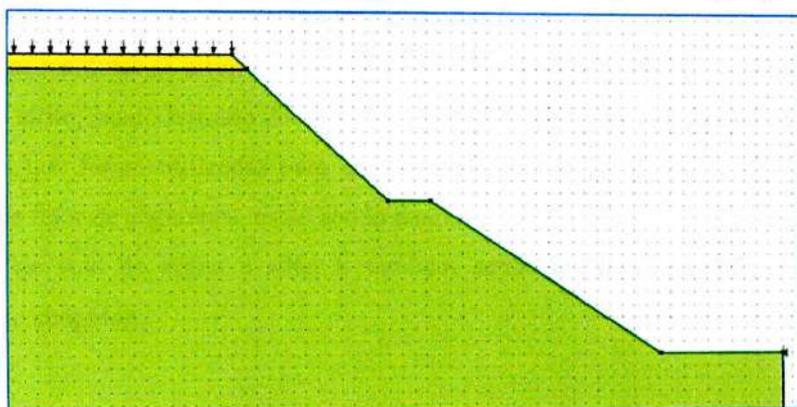
Fonte: (O autor).

Tabela 7 – Representação pontos de coordenada.

PONTOS	COORDENADAS EM X (m)	COORDENADAS EM Y (m)
01	0,0	0,0
02	0,0	24,0
03	0,0	46,6
04	0,0	48,0
05	0,0	49,0
06	300,0806	49
07	300,0806	48
08	313,0806	48
09	314,285	46,8999
10	325,88	36,3086
11	329,38	36,3086
12	348,20	24
13	358,20	24
14	358,20	0

Fonte: (O autor).

Figura 30 – Representação da Modelagem de talude com as cargas do Shopping Via Café Garden.

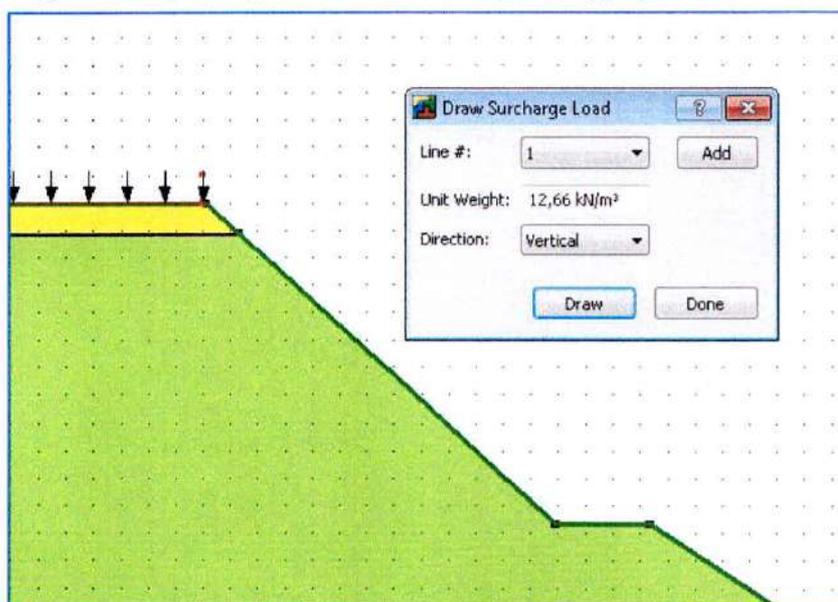


Fonte: (O autor).

Na próxima etapa foi realizada a somatória das cargas da edificação, sendo demonstrado na tabela 10 em anexo, fornecendo a carga média por metro quadrado em toda superfície que se localiza a edificação, com o total de 476 pilares.

Foi anexado no programa geostudio 2012 a carga média da edificação, sendo representada na figura 31.

Figura 31 – Representação da informação da carga do Shopping Via Café Garden.



Fonte: (O autor).

Abaixo será representado o estudo de estabilidade do talude, recebendo as cargas da edificação e demonstrando o fator segurança para ruptura local 01 (figura 32), para a ruptura local 02 (figura 33) e para a ruptura global do talude (figura 34).

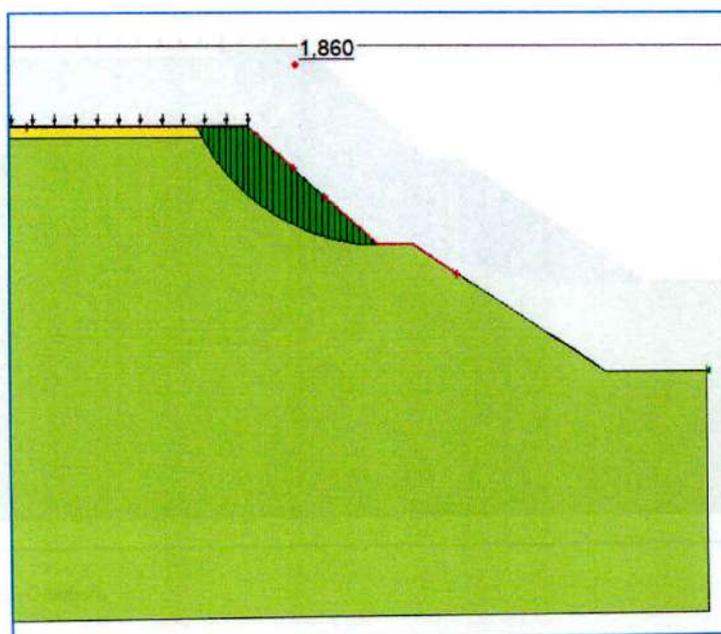
Foram mantidas as informações dos parâmetros do solo, como peso específico, coesão e ângulo de atrito, sendo retirado dos SPT's 119 e 121, que está demonstrado na tabela 3. As informações que foram utilizadas para anexar ao programa geostudio 2012, para os novos resultados de fator de segurança, estão sendo demonstrada na tabela 7 que definiu a média dos parâmetros do solo de argila e silte. E também sendo anexada a tabela 7 as cargas da edificação do shopping.

Tabela 8 – Representação resultados e fator de segurança do talude com as cargas do Shopping Via Café Garden.

Modelagem	Tipo de solo	Peso específico (kN/m ³)	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (f)	Carga do Shopping por m ² (kN/m ²)	Fator de segurança
01 (Talude de ruptura local 01)	Argila	17,5	26,5	20,0	12,66	1,860
	Silte	19,5	35,0	24,5		
02 (Talude de ruptura local 02)	Argila	17,5	26,5	20,0	12,66	2,105
	Silte	19,5	35,0	24,5		
03 (Talude de ruptura global)	Argila	17,5	26,5	20,0	12,66	1,566
	Silte	19,5	35,0	24,5		

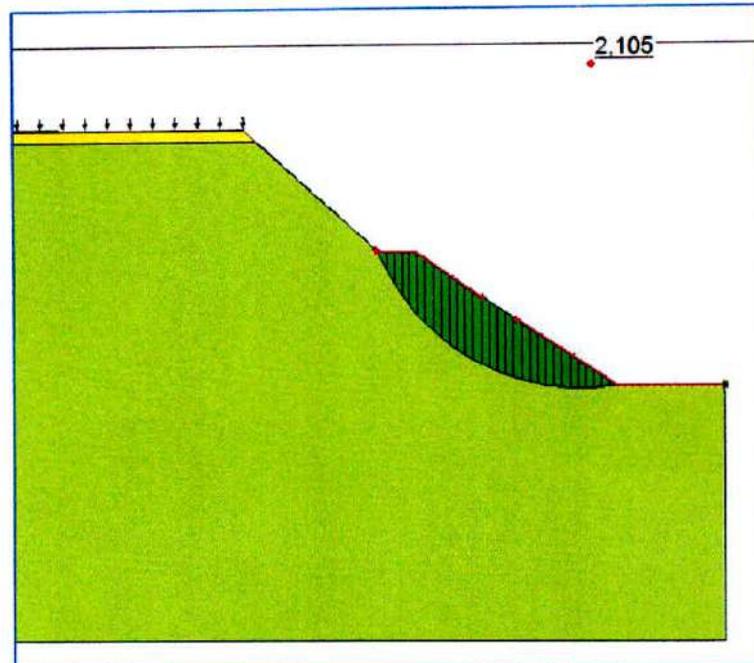
Fonte: (O autor).

Figura 32 – Saída gráfica para ruptura local talude 01 com as cargas do Shopping Via Café Garden.



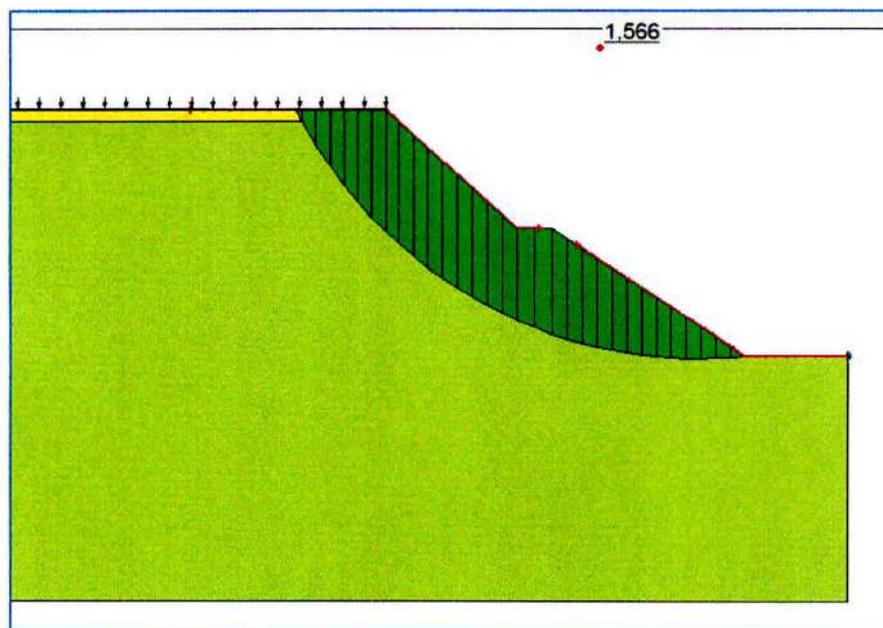
Fonte: (O autor).

Figura 33 – Saída gráfica para ruptura local talude 02 com as cargas do Shopping Via Café Garden.



Fonte: (O autor).

Figura 34 – Saída gráfica para ruptura Global com as cargas do Shopping Via Café Garden.



Fonte: (O autor).

7 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um estudo de estabilidade de talude, através de pesquisas bibliográficas na literatura existente, além do auxílio de programas computacionais existentes. Sendo assim, utilizou-se o dimensionamento real do talude in loco e realizaram-se os métodos de cálculo, dentre as variáveis que influenciam no fator de segurança.

Com as várias combinações que o programa GeoStudio 2012 SLOPE/W realiza para estabilidade de talude, obteve-se o Fator de Segurança de cada variável no resultado, contribuindo muito para o melhor resultado esperado. Com todos estes parâmetros pode-se concluir que se terá os seguintes resultados: quando realiza-se o aumento da altura do talude, ter-se-á o decréscimo de F.S.; quando aumenta-se a inclinação do talude ter-se-á uma diminuição no F.S.; e quando obtiver-se mais peso específico também haverá uma diminuição no F.S.. Já para o resultado de coesão; quando houver um aumento, será observado o aumento do F.S.; e com o aumento do ângulo de atrito se terá o aumento do F.S.

A análise computacional também permitiu a verificação do talude separadamente, obtendo o resultado de ruptura local e global para o talude sem as cargas da edificação. Os resultados encontrados foram satisfatórios. Para ruptura local obteve-se um F.S. de 1,864 para o talude de ruptura local 01, e 2,107 para o talude de ruptura local 02. Isso mostra que estão dentro do fator de segurança limite mínimo para o grau de segurança alto, conforme tabela 1. E no resultado de ruptura global, tivemos a análise dos dois taludes em conjunto, obtendo um F.S. de 1,610, também com um resultado satisfatório, estando dentro do fator de segurança, limite mínimo para o grau de segurança alto, conforme tabela 1.

Para a análise de estabilidade do talude com as cargas da edificação, obteve-se um resultado bem satisfatório, que demonstrou sua estabilidade mesmo com as cargas da edificação do Shopping Via Café Garden, tendo um fator de segurança bem próximo do fator de segurança sem as cargas do Shopping.

Os resultados para o talude com as cargas do Shopping Via Café Garden foram: para ruptura local obteve-se um F.S. de 1,860 para o talude de ruptura local 01, e 2,105 para o talude de ruptura local 02. E no resultado de ruptura global obtivemos um fator de segurança de 1,566, demonstrando que a estabilidade do talude está com seu fator de segurança acima do permitido pela NBR 11.682, que demonstra que o grau de segurança necessário ao local estudado é de, F.S 1,5.

O estudo de comparação de estabilidade do talude sem as cargas e com as cargas esta sendo demonstrado na tabela 09.

Tabela 9 – Representação de comparação de resultados do fator de segurança (F.S.), sem as cargas e com as cargas do Shopping Via Café Garden.

Modelagem	F.S. Encontrado para talude sem as cargas da edificação shopping	F.S. Encontrado para talude com as cargas da edificação shopping	F.S. permitido pela NBR 11.682	Resultado de comparação
01 (Talude de ruptura local 01)	1,864	1,860	1,5	OK
02 (Talude de ruptura local 02)	2,107	2,105	1,5	OK
03 (Talude de ruptura global)	1,610	1,566	1,5	OK

Fonte: (O autor).

É importante ressaltar que nos estudos realizados no talude em questão, levamos em consideração apenas as variáveis estabelecidas no quadro 6. Estas variáveis se definiram somente em uma faixa do talude. Além disso, colocou-se em estudo somente 2 SPT's, que estão mais próximos ao local escolhido, não levando em consideração projetos futuros para construção do Shopping. Portanto, para projetos definitivos é necessário realizar o estudo de estabilidade em toda situação da obra, sendo o ponto mais crítico ou menos crítico.

7.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Apresenta-se a seguir algumas sugestões para trabalhos futuros que possam complementar ou estar relacionado a este trabalho:

- Avaliar a influência da água no cálculo de estabilidade de taludes;
- Utilizar outros métodos de cálculo na análise da influência das variáveis no cálculo de estabilidade de taludes;
- Pesquisar por mais métodos de análise de estabilidade;
- Estudar processos de estabilização econômica para a nossa região;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de taludes. Comitê Brasileiro de Construção Civil. Origem: Projeto 02:04.07-001/90. Rio de Janeiro, 1991.

AZEVEDO, Izabel Christina Duart. Análise de Tensões e Deformações. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A 1988 6ª Edição.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e Suas Aplicações – Volume 2. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A 1988 6ª Edição.

DAS, Braja M. Fundamento de Engenharia Geotécnica. Tradução da Sétima Edição Norte-Americana, 2013.

GEORSCOVICH, Denise M.S Estabilidade de Taludes. São Paulo: Oficina de Texto, 2012.

GEO-SLOPE. Slope W. User's Manual. Edmonton, Canada: Geoslope Inc., 2014. Disponível em: <<http://www.geo-slope.com>>. Acesso em: 2015.

GOMES, Cláudio Luiz Ridente. Retroanálise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção dos Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento. Campinas: 2003. 146 p.

GUIDICINI, Guido; NIEBLE, Carlos M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. 2. ed. São Paulo: Edgard Bluncher Ltda, 1983. 194 p.

JOPPERT JR, Ivan, **Fundações e contenções de edifícios**: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: PINI, 2007. 222 páginas.

MACHADO, Sandro Lemos, MACHADO, Miriam de Fátima. **Mecânica dos solos I: conceitos introdutórios**. Salvador, 1997.

MACHADO, Sandro Lemos, MACHADO, Miriam de Fátima. **Mecânica dos solos II: conceitos introdutórios**. Salvador, 1997.

MARANGON, PROF. M., **Elementos de Geologia**, 1995

ANEXOS

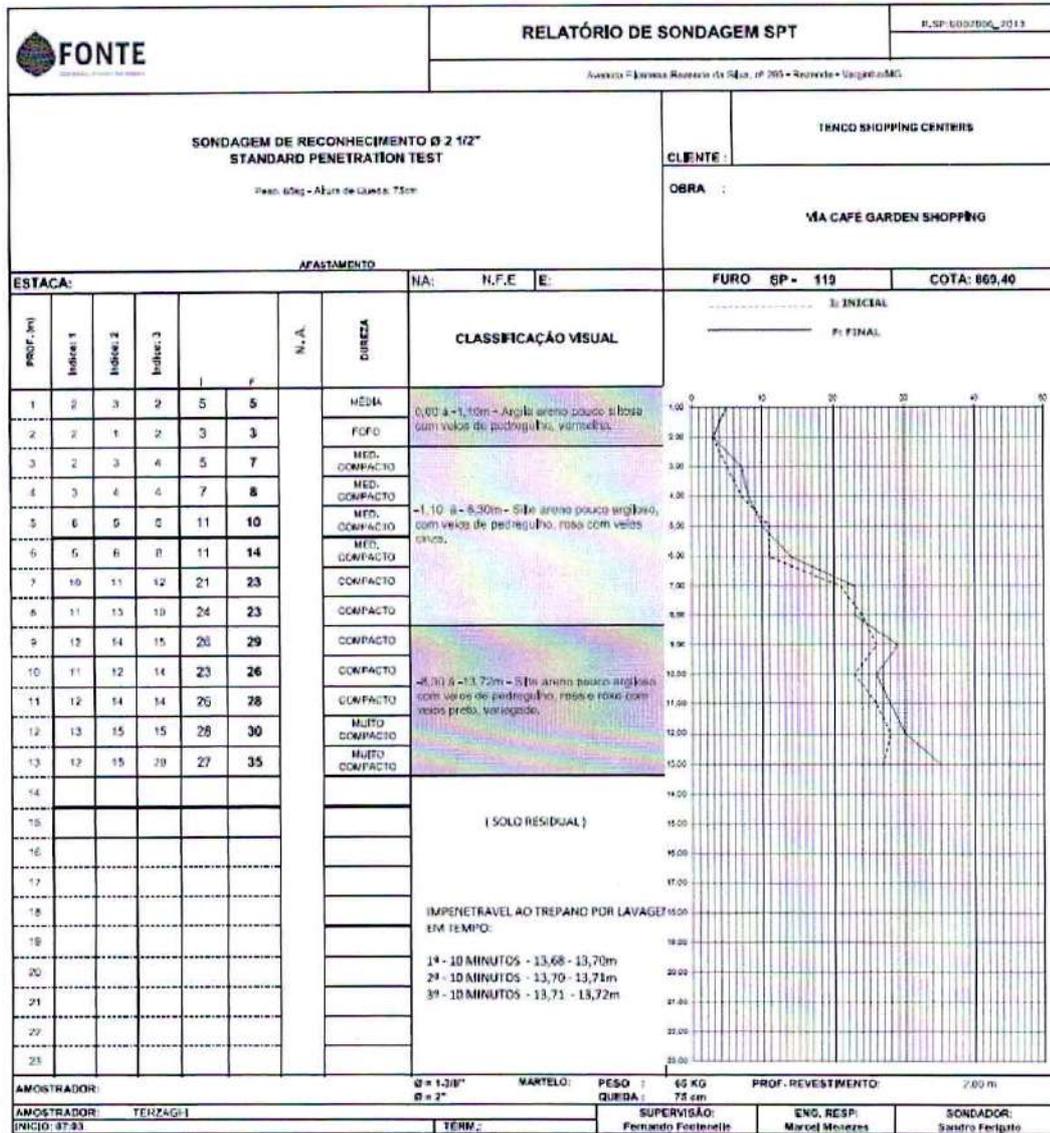


Tabela 10 – Representação somatória das cargas da edificação.

PILAR	CARGA (tf)						
1	66	46	85	91	24	136	55
2	95	47	86	92	44	137	63
3	69	48	29	93	94	138	54
4	68	49	39	94	77	139	58
5	56	50	37	95	20	140	80
6	81	51	47	96	20	141	39
7	100	52	37	97	77	142	68
8	84	53	45	98	108	143	79
9	90	54	71	99	58	144	61
10	73	55	120	100	64	145	10
11	81	56	156	101	26	146	52
12	100	57	107	102	45	147	103
13	84	58	68	103	102	148	135
14	105	59	62	104	93	149	67
15	93	60	62	105	31	150	67
16	66	61	68	106	87	151	135
17	95	62	92	107	108	152	106
18	68	63	70	108	58	153	47
19	81	64	103	109	58	154	40
20	71	65	108	110	108	155	70
21	36	66	50	111	89	156	79
22	34	67	40	112	28	157	70
23	21	68	99	113	121	158	40
24	23	69	110	114	120	159	54
25	28	70	35	115	123	160	142
26	28	71	33	116	36	161	142
27	28	72	12	117	36	162	43
28	33	73	12	118	36	163	70
29	11	74	26	119	36	164	70
30	16	75	21	120	35	165	35
31	15	76	25	121	40	166	49
32	11	77	27	122	59	167	29
33	61	78	22	123	39	168	39
34	80	79	15	124	55	169	49
35	73	80	11	125	53	170	59
36	70	81	32	126	64	171	76
37	70	82	35	127	47	172	66
38	73	83	96	128	55	173	103
39	80	84	106	129	57	174	30
40	69	85	45	130	57	175	122
41	42	86	37	131	62	176	26
42	104	87	106	132	50	177	106

43	123		88	95		133	57		178	60
44	74		89	40		134	42		179	105
45	38		90	20		135	60		180	43

PILAR	CARGA (tf)		PILAR	CARGA (tf)		PILAR	CARGA (tf)		PILAR	CARGA (tf)
181	76		226	75		271	49		316	83
182	60		227	69		272	49		317	40
183	44		228	88		273	83		318	124
184	60		229	43		274	37		319	184
185	65		230	51		275	84		320	76
186	65		231	58		276	74		321	60
187	87		232	63		277	40		322	44
188	105		233	60		278	52		323	60
189	110		234	674		279	47		324	60
190	110		235	64		280	5		325	60
191	110		236	83		281	58		326	60
192	110		237	58		282	63		327	83
193	110		238	69		283	60		328	84
194	110		239	43		284	63		329	64
195	15		240	5		285	63		330	64
196	87		241	43		286	83		331	64
197	65		242	116		287	23		332	64
198	62		243	29		288	74		333	84
199	60		244	60		289	74		334	83
200	32		245	49		290	35		335	78
201	44		246	49		291	116		336	64
202	58		247	23		292	116		337	60
203	78		248	23		293	66		338	60
204	43		249	74		294	51		339	65
205	66		250	106		295	72		340	44
206	51		251	67		296	67		341	58
207	73		252	67		297	82		342	74
208	67		253	65		298	64		343	35
209	84		254	63		299	91		344	122
210	60		255	43		300	87		345	76
211	71		256	29		301	68		346	48
212	84		257	32		302	57		347	59
213	83		258	25		303	68		348	63
214	76		259	25		304	57		349	18
215	70		260	25		305	68		350	18
216	60		261	25		306	57		351	63
217	70		262	25		307	68		352	59
218	60		263	25		308	57		353	68
219	88		264	25		309	98		354	86

220	73		265	32		310	80		355	35
221	95		266	5		311	75		356	35
222	60		267	53		312	57		357	56
223	70		268	118		313	82		358	37
224	60		269	29		314	75		359	28
225	84		270	60		315	58		360	33

PILAR	CARGA (tf)		PILAR	CARGA (tf)		PILAR	CARGA (tf)
361	40		406	52		451	37
362	24		407	52		452	41
363	57		408	30		453	67
364	69		409	31		454	94
365	63		410	62		455	43
366	40		411	33		456	120
367	40		412	13		457	33
368	40		413	13		458	37
369	40		414	33		459	44
370	40		415	66		460	37
371	48		416	46		461	44
372	60		417	56		462	37
373	9		418	66		463	72
374	9		419	84		464	95
375	60		420	53		465	45
376	49		421	158		466	22
377	40		422	51		467	32
378	40		423	141		468	56
379	40		424	45		469	95
380	40		425	14		470	72
381	61		426	14		471	37
382	66		427	35		472	44
383	56		428	132		473	37
384	71		429	47		474	45
385	80		430	40		475	20
386	65		431	18		476	27
387	46		432	18			
388	46		433	16			
389	45		434	47			
390	40		435	17			
391	59		436	22			
392	39		437	56			
393	55		438	16			
394	53		439	18			
395	60		440	18			
396	53		441	71			
397	57		442	78			
398	62		443	62			
399	57		444	158			

400	57		445	107		
401	53		446	149		
402	60		447	158		
403	53		448	107		
404	55		449	31		
405	39		450	58		

ÁREA DO PAVIMENTO (m ²)	23335,39	Σ DAS CARGAS (tf)	29545
		MÉDIA DAS CARGAS (tf/m ²)	1,2661027

Fonte: (O autor).