

VGRESIDUOS. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuo-hospitalar-como-classificar-e-qual-legislacao-a-respeito/>. Acessado em 17 de outubro 2019.

VGRESIDUOS. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuo-hospitalar-como-classificar-e-qual-legislacao-a-respeito/>. Acessado em 4 de outubro 2019.

VGRESIDUOS. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/classificar-residuos-solidos-segundo-a-legislacao-vigente/>. Acessado em 4 de outubro 2019.

YLS – Disponível em: <https://www.yls.net.br/>. Acessado em 17 de outubro

Análises Geotécnicas Aplicadas na Estabilidade de um Talude - Bairro Rodilândia, Nova Iguaçu.

Vinícius Louro Ribeiro da Motta¹; Giana Laport Alves de Souza²

¹Aluno de graduação Engenharia Civil Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu – UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

²Aluno de graduação Engenharia Civil Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

viniciuslouroribeiro@gmail.com¹; gianalarpot@gmail.com²

Resumo – O enfoque principal deste estudo é a análise da estabilidade de um talude, visando à previsão de escorregamentos ou movimentos de massa. Para a elaboração de um modelo mais próximo à realidade, no estudo foram considerados vários fatores que influenciam direta e indiretamente na deflagração de tais incidentes, sendo assim foram abordados: índices de pluviosidade, fatores causadores da instabilização, características gerais do solo bem como seu uso e ocupação e ensaio de laboratório. Um dos ensaios de grande importância é o de cisalhamento direto, que foi realizado para que fossem definidos os parâmetros geotécnicos a serem utilizados na análise de estabilidade. Neste ensaio foi caracterizado o solo como residual composto por argila siltosa com areia fina média e grossa marrom, e para isto foram retiradas três amostras definidas em um ponto do talude. O ensaio foi realizado na condição inundada com finalidade de representar os dias de chuva. A análise feita no talude foi de forma determinística, utilizando o Geoslope 2018 que é um software que realiza a modelagem da seção em estudo com auxílio de um sistema de equilíbrio limite, no qual foi possível obter um fator de segurança. Com este estudo foi possível verificar a necessidade de realizar uma análise pluviométrica admitindo o índice de ocorrência em regiões mais próxima do local estudado, bem como a incorporação desse volume transformado em sobrecarga nas análises numéricas. Com isso permite ao projetista ter um melhor desempenho em seu projeto em relação ao fator de segurança, tendo como base uma análise geotécnica do talude.

Palavras-chaves: análise de estabilidade; talude; movimentos de massa.

Abstract – *The main focus of this study is the slope stability analysis, aiming at the prediction of landslides or mass movements. In order to elaborate a model closer to reality, the study considered several factors that directly and indirectly influence the outbreak of such incidents, thus addressing: rainfall rates, factors causing instability, general soil characteristics as well as their use, and occupation and laboratory testing. One of the most important tests is the direct shear test, which was performed to define the geotechnical parameters to be used in the stability analysis. In this test the soil was characterized as residual composed of silt clay with medium fine sand and brown coarse, and for this three samples were taken defined in a point of the slope. The test was conducted in flooded condition to represent rainy days. The slope analysis was deterministic, using Geoslope 2018 which is a software that performs the modeling of the section under study with the aid of a limit equilibrium system, in which it was possible to obtain a safety factor. With this study it was possible to verify the need to perform a rainfall analysis assuming the occurrence rate in regions closer to the studied location, as well as the incorporation of this volume transformed into overload in the numerical analyzes. This allows the designer to perform better on his project in relation to the safety factor, based on a geotechnical analysis of the slope.*

Keywords: stability analysis; slope; mass movements.

1 Introdução

Segundo Moura (2011), os desastres, suas causas e consequências, estão relacionados aos processos e às estruturas sociais (Tierney, 1989) associados aos processos naturais. Muitas mudanças sociais, econômicas e culturais foram fatores que influenciaram as estratégias de prevenção e mitigação (Alexander, 1997). Essas mudanças se deram pela abordagem de que os riscos são as interfaces entre os processos naturais do ambiente e as populações que vivem nesses lugares. Nos estudos sobre percepção de risco se oferece uma perspectiva humana e física dos desastres, com ênfase nas vulnerabilidades humanas, nas condições de intervenções e de possibilidades de respostas ao evento.

O tema de estudo é de grande relevância para o município, haja visto que há falta de planejamento da habitação nos bairros (visão geotécnica na prevenção de movimentos de massa e drenagem), possuindo o município moradias construídas em encostas, com grande potencial para perdas humanas, ambientais e econômicas.

Ao abordar os problemas relacionados aos deslizamentos ocorridos nas encostas em Nova Iguaçu, deve-se levar em consideração os aspectos físicos-ambientais e socioeconômico abrangendo os seguintes assuntos: conhecimento geológico - geotécnico, geomorfológico e sobre o uso do solo, que juntos definem a distribuição espacial da suscetibilidade a ocorrência de movimento de massa associados à ocorrência de precipitação pluviométrica elevada.

Tais assuntos são abordados no decorrer deste trabalho, bem como ensaio laboratorial necessário para obtenção dos parâmetros geotécnicos, através do qual se faz possível realizar análises de estabilidade, modelando a seção em estudo com auxílio de um sistema de equilíbrio limite. Sendo assim possível caracterizar a área de risco estudada, proporcionando um modelo de antecipação de desastres naturais em áreas propensas a este evento, de tal maneira que o órgão competente possa se necessário evacuar e interditar a área.

1.1 Movimentos de massa

O movimento para baixo de uma massa de rocha, detritos ou terra num talude é chamado de deslizamento / escorregamento (Cruden e Varnes, 1996).

Face a tal afirmação podemos dizer que movimentos de massa são definidos como sendo o movimento do solo ou material rochoso ao longo do caminho, por onde correm as águas, ou de uma encosta, sob influência da

gravidade. O termo “movimentos de massa” é mais abrangente e envolve outros fenômenos além do deslizamento, como rastejos, quedas e corridas (Leroueil 1996).

Leroueil et al. (1996) sugerem que os movimentos de massa são sistemas físicos que se desenvolvem no tempo através de vários estágios mostrados no gráfico 1, dividindo-se em:

- Estágio pré-ruptura: Inclui todo e qualquer processo de deformação que pode levar a ruptura. Estágio controlado por mudanças na resistência, rastejo ou ruptura progressiva;
- Estágio de ruptura: É a fase mais significativa na história do movimento de massa e se caracteriza pela formação de uma superfície de cisalhamento na massa de solo;
- Estágio pós-ruptura: Inclui desde a ruptura até o termino da movimentação. Há um aumento da razão de deslocamento, seguido da diminuição progressiva de velocidade;
- Estágio de reativação: Acontece quando uma massa de solo desliza ao longo de uma superfície de ruptura pré-existente.

1.2 Classificação de movimentos de massa

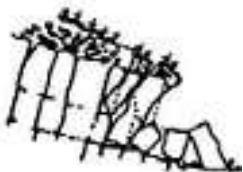
Dentre as diversas vertentes de classificação de movimentos de massa destacam-se algumas classificações, a de Varnes, no qual o autor subdivide os movimentos de massa em 6 tipos e são classificados de acordo com a superfície de ruptura e do tipo de material movimentado (rocha, detrito, terra), a classificação segundo a norma ABNT de estabilidade de taludes (NBR 11682, 2009) no qual a norma subdivide os movimentos de massa em quatro tipos (queda ou rolamento, tombamento, escorregamento, escoamento). E os movimentos mais frequentes que são, escorregamento devido à inclinação, escorregamento por descontinuidade, escorregamento por percolação de água, escorregamento em aterros, escorregamento em massas coluviais e queda e rolamento de blocos.

Tabela 1 – Resumo da classificação de Varnes. Fonte: Varnes 1978.

Tipo de movimento		Rocha		Detrito		Terra
Queda	1.	Queda de rochas	2.	Queda de detrito	3.	Queda de terra
Tombamento	4.	Tombamento de rocha	5.	Tombamento de detrito	6.	Tombamento de terra
Escorregamento rotacional	7.	Escorregamento rotacional de rocha	8.	Escorregamento rotacional de detrito	9.	Escorregamento rotacional de terra
Escorregamento translacional	10	Deslizamento translacional de blocos de rocha	11.	Deslizamento translacional de detrito	12.	Deslizamento translacional de terra
Espalhamentos laterais	13.	Espalhamento de rocha			14.	Espalhamento de terra

Corridas	15	Rastejo de rocha	16.	Corrida de tálus	21.	Corrida de areia seca
			17.	Corrida de detritos	22.	Corrida de areia úmida
			18.	Avalancha de detritos	23.	Corrida de argila sensível
			19.	Solifluxão		Corrida de terra
			20.	Rastejo de solo	24.	Corrida rápida de terra
					25.	Corrida de <i>loess</i>
					26.	
Complexos	27.	Escorregamento de rocha - avalanche de detritos	28.	Arqueamento – abulamento do vale	29.	Escorregamento rotacional de terra – corrida de terra

Tabela 2 - Tipos de movimento de terra - (NBR11682). Fonte: NBR 11682 (2009)

Queda/ rolamento		Desprendimento de fragmentos do terreno, de qualquer tamanho, que caem de certa altura, em queda livre ou com qualquer outra trajetória e tipo de movimento.
Tombamento		Movimento de massa em forma de balsa com eixo na base.
Escorregamento		Movimento de massa por deslocamento sobre uma ou mais superfícies.

Escoamento		Movimentos sem forma definida, podendo se muito lentos (rastejo) ou muito rápidos (corridas).
------------	---	---

1.3 Fatores causadores de instabilização de taludes

Deslizamentos são influenciados por fatores naturais e fatores antrópicos, conforme as palavras de Botero (2013), “dentre os agentes causadores de escorregamentos em geral, pode-se dizer que, no caso de solos não saturados, o principal é a água (chuva, lançamento de águas servidas, ruptura de tubulações, etc.)”.

Dentre os principais fatores naturais que contribuem para a geração de movimentos de massas nas encostas, destacam-se a geometria e geomorfologia do local, a duração e intensidade de precipitações, a geologia do material que compõe o maciço susceptível à movimentação, cobertura vegetal, ocupação do solo, sismos entre outras situações incomuns tais como rompimento de barragens (Silva, 2013).

Ainda dentre os agentes naturais temos os efetivos, que atuam de forma direta para o início de um movimento de massa, este pode ser separado em preparatórios e imediatos (Silva, 2013).

1.3.1 Fatores naturais

É possível afirmar que, de forma geral, os processos de instabilização dos solos aparentemente têm uma dependência significativa dos valores pluviométricos que se acumulam nos dias anteriores à ruptura. A ocorrência de movimento, com o aumento da umidade do solo e o aumento das linhas de saturação, deve-se a esses valores (Castro, 2006).

Segundo Tatizana (1987) e Delmonaco (1995) apud Castro (2006), as ações das precipitações nas encostas são as seguintes:

- Alteração dos parâmetros de resistência dos materiais: diminuição da coesão aparente, eliminação das poropressões negativas, dissolução da cimentação;
- Aumento da sollicitação externa: aumento do peso específico dos materiais que formam a encosta;
- Avanço da frente de saturação no maciço, provocando o desenvolvimento de poropressões positivas nos solos, subpressões nas descontinuidades rochosas e forças de percolação;
- Alteração do perfil da encosta por erosão de materiais.

1.3.2 Fatores antrópicos

Segundo Castro (1993), os principais fatores antrópicos para os escorregamentos são:

- Lançamento de águas servidas;
- Lançamentos concentrados de águas pluviais;
- Vazamento nas redes de abastecimento d'água;
- Infiltrações de águas de fossas sanitárias;

- Cortes realizados com declividade e altura excessivas;
- Execução inadequada de aterros;
- Deposição inadequada do lixo;
- Remoção descontrolada da cobertura vegetal.

1.4. Tipos de análises de estabilidade

A análise da estabilidade de um talude é avaliada segundo abordagem determinística no qual a segurança do talude é medida por um fator de segurança e abordagem probabilística onde a segurança é estimada a partir da probabilidade de ocorrência da ruptura do talude (Junior, 2011).

1.4.1. Análise determinística

Tal análise pode ser executada por Equilíbrio Limite ou Métodos Numéricos, sendo baseada em calcular um fator de segurança (FS), que representa o valor necessário para reduzir os parâmetros de resistência, de forma que a tensão cisalhante resultante se iguale à tensão mobilizada. Esse fator de segurança deve ser maior que a unidade para considerar um talude estável (Junior, 2011).

A norma técnica da ABNT de estabilidade de taludes naturais define os fatores de segurança (FS) admissíveis conforme mostra a tabela 3 (NBR 11682: 2009).

Tabela 3 – Fator de Segurança em função dos riscos à vida humana e perdas materiais. Fonte: NBR 11682 (2009).

Damos materiais e Ambientais \ Danos à vidas Humanas	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

1.4.2 Análise por equilíbrio limite

O conceito básico da teoria recai na solução das equações de equilíbrio estático do corpo rígido, isto é, equilíbrio de forças e de momentos. Tal método possui um limitador, não sendo possível avaliar ou simular o desenvolvimento da ruptura, haja visto que este método só é considerado as equações de equilíbrio e não oferece informações sobre as deformações (Junior, 2011).

1.5. Hidrologia Superficial

A hidrologia, a ciência que descreve a ocorrência e o comportamento de água por toda Terra (Savenije, 2009). Os estudos hidrológicos visam correlacionar a presença da chuva com o ciclo hidrológico em bacias

hidrográficas, e perceber como a precipitação se distribui na bacia, utilizando-se de modelos de previsão distribuídos com base em dados procedentes de bancos de dados georreferenciados.

O ciclo hidrológico é um fenômeno de circulação fechado da água dentro do globo terrestre, impulsionado pela energia solar, gravitacional e de rotação da terra (Silveira, 2013). É composto pelas três fases da água, e vários processos, entre eles, tais como: precipitação, evaporação, interceptação, transpiração, infiltração, escoamento superficial.

Devida sua importância na estabilidade de taludes, faz-se necessário observar duas funções forçantes, ou seja os dois fenômenos básicos do ciclo hidrológico, a evaporação e a precipitação. No continente a parcela que compõe a evaporação é a resultante do somatório entre a evaporação direta das gotas de chuva no ar, evaporação da água da chuva que atinge solo e a vegetação, evaporação da rios e lagos e a transpiração da vegetação.

Sobre a precipitação, é possível dividi-la em duas parcelas: interceptação, que se refere à parte da precipitação que fica retida na cobertura vegetal; e efetiva que é a parte da precipitação que atinge o solo, esta última subdivide-se na parcela que irá infiltrar no solo até que ele atinja sua capacidade máxima de infiltração e o excedente que é denominado como escoamento superficial (Kobiyama, 2011).

Haja visto a importância do equilíbrio de cada parcela deste ciclo, fica notório que qualquer distúrbio tais como, alta concentração de chuva, ação humana, alteamento do lençol freático dentre outros fatores, altera a estabilidade da encosta.

A influência da vegetação é outro fator a ser considerado, pois atua diretamente, na interceptação da precipitação total, esse valor pode ser considerado significativo, de acordo com a extensão da área em que essa vegetação se encontra. Kobiyama (2011) apresentam uma revisão com valores percentuais desta interceptação sempre entre 10% e 40% para florestas tropicais, e valores de 5% e 10% em áreas do cerrado debaixo de árvores isoladas. Sendo assim no enfoque estatístico em áreas de risco é considerada a precipitação total onde há presença de vegetação com uma diferença entre 10% e 40% da precipitação efetiva.

Outras características a serem consideradas da influencia da vegetação, são: diminuição no tempo de chegada da água no solo em florestas densas, onde a vegetação funciona como um acumulador temporário de água; retirada da água do solo através das raízes e devolução a atmosfera através da transpiração, o que diminui o volume de água que infiltra até o lençol freático.

2. Metodologia

2.1. Descrições geográficas da região do estudo e mapeamento geotécnico

A área em estudo (Figura 1) trata-se de um talude que localizado a margem da BR 116 no bairro Rodilândia em Nova Iguaçu. No qual através de identificação tátil visual pode-se descrevê-lo como sendo um solo residual tendo como predominância em sua composição argila vermelha, através desta característica pode-se então obter os parâmetros iniciais estimados, necessários para a análise e estabilidade. Posteriormente o solo foi devidamente estudado e ensaiado em laboratório a fim de exatificar sua classificação, no qual pode-se determinar que se trata de uma argila, siltosa com areia fina, média e grossa, marrom.

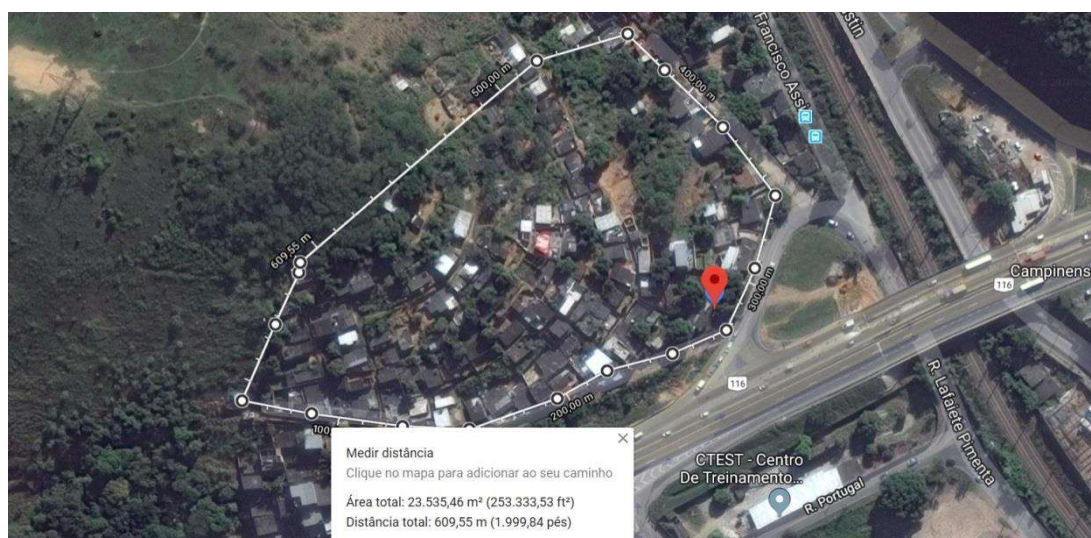


Figura 1 - Localização da encosta. Fonte: Google Maps (2018)

2.2. Levantamento pluviométrico

Sabe-se, que os movimentos de massas são condicionados por uma complexa relação entre fatores geomorfológicos, com destaque para morfologia e morfometria da encosta, geológicos-geotécnicos, englobando as características lito-estruturais, fraturas subverticais e falhamentos tectônicos; hidrológico-climáticos, com ênfase sobre o potencial mátrico, poro-pressões positivas, umidade do solo; pedológicos, com destaque para as propriedades físicas, orfológicas (densidade e porosidade) e hidráulicas do solo (condutividade hidráulica saturada e não saturada) (Fernandes, 2001); além do elemento humano, principal agente para deflagração dos deslizamentos, devido a quebra do equilíbrio dinâmico entre os condicionantes biogeofísicos, acelerando a dinâmica dos processos. O fator clima possivelmente constitua-se no principal condicionante para os deslizamentos, devido a saturação dos solos e a consequente estabilidade dos agregados (Kobiyama, 2011).

Diante disto, incorporou neste estudo o levantamento pluviométrico na estação de medição mais próximo ao local de estudo.

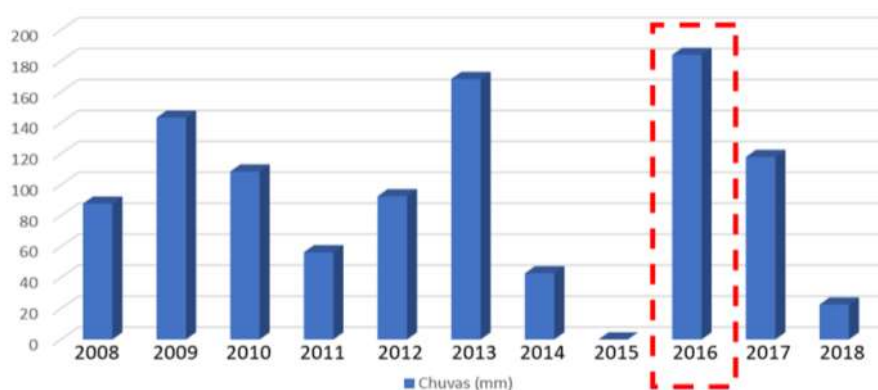


Figura 2 – Levantamento pluviométrico em um censo de 10 anos (Fonte: O autor, Alerta de Cheias 2018).

Observou-se através do gráfico acima que o pico de chuva na região foi no mês de fevereiro de 2016. Isso levou a conjectura que este pico de chuva pode ter levado ao grave acidente que ocorreu na região também em fevereiro de 2016, que ocasionou no desmoronamento de uma casa de dois andares e em uma morte.

Os dados desta análise foram fornecidos pelo Alerta de Cheias, considerando a estação GBM que é a mais próxima à área estudada. O levantamento pluviométrico foi realizado da seguinte forma os dados que estavam na tabela fornecida pelo Alerta de Cheias, continham as medições da quantidade de chuvas a cada 15 minutos, esses dados foram consolidados em uma pluviosidade mensal no qual pode-se determinar o mês que teve maior incidência de chuvas isto em um censo de 10 anos, dessa forma pode-se considerar um valor estimado da carga que a chuva exerce sobre solo considerando o parâmetro mais desfavorável, carga esta de 1,84 kN/m².

2.3. Parâmetros geotécnicos do solo

Os parâmetros geotécnicos são comumente determinados a partir de investigações geotécnicas, que podem ser executadas no laboratório ou no campo, ou ainda estimadas visando estudos preliminares, de baixo custo.

Tais parâmetros são necessários para a realização da análise de estabilidade do talude, haja vista que devem ser inseridos como dados de entrada no software de análise, influenciando diretamente no resultado da análise de estabilidade do talude. Os parâmetros utilizados nesta análise foram:

- Peso específico natural do solo (γ);
- Peso específico saturado do solo (γ_{Sat});
- Ângulo de atrito (ϕ');
- Coesão (C').

2.4. Ensaio de cisalhamento direto (laboratório)

O ensaio de cisalhamento direto é o ensaio mais comum de determinação da resistência ao cisalhamento de solos. Consiste na imposição de um plano de ruptura em uma amostra prismática.

No ensaio é utilizado uma cédula que é um equipamento que consiste em uma caixa bipartida, onde o corpo-de-prova é colocado. Para facilitar a drenagem são colocadas duas pedras porosas, no topo e na base da amostra. A força normal é aplicada através de uma placa rígida de distribuição de carga e é possível manter o corpo-de-prova sob água, evitando a perda excessiva de umidade durante o ensaio em amostras saturadas.

As amostras de corpo de prova utilizadas no ensaio, com 10 cm x 10 cm de dimensão, e embebidos em água para saturação do solo. O ensaio foi realizado, na condição inundada, que representa dias de chuva e no qual também é possível obter parâmetros de resistência na condição inundada.

O ensaio tem como objetivo traçar a curva da envoltória de resistência do solo através no qual é possível a obtenção dos valores de ângulo de atrito interno e o intercepto coesivo.

Através das medições das tensões cisalhantes obtidas por meio da aplicação de cada carga (50 kPa, 100 kPa e 200 kPa) até atingir a ruptura do solo, pode-se traçar um gráfico de tensão cisalhante versus deformação horizontal (Figura 3), esse gráfico contém as tensões de pico referente a cada carregamento. A partir do qual é possível através a maior tensão de cada curva traçar gráfico tensão cisalhante versus tensão normal (Figura 4).

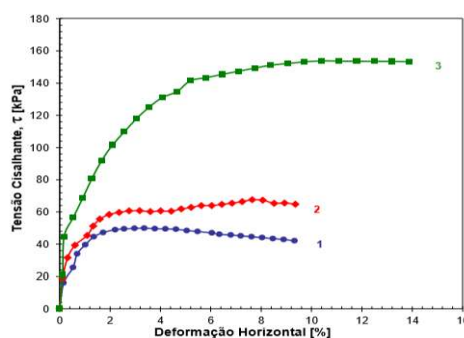


Figura 3 – Tensão X Deformação (Fonte: Geomecânica (2019)).

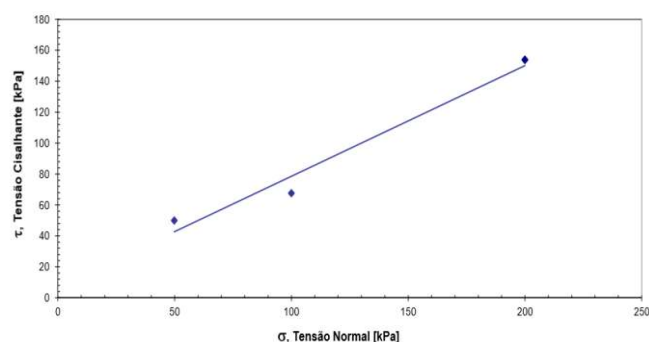


Figura 4 – Tensão cisalhante X Tensão normal (Fonte: Geomecânica (2019)).

2.5. Parâmetros geotécnicos utilizados

Preliminarmente, os parâmetros iniciais foram obtidos através de reconhecimento tátil visual do solo, que proporcionou então a estimativa de seus parâmetros através de revisões bibliográficas de tabelas de recorrência e correlações, isto é considerando as mesmas características encontradas no solo em campo. Cabe ainda ressaltar que tal estimativa dos parâmetros só tem validade para um modelo inicial, ou seja, não exato, servindo apenas de parâmetro de partida. Abaixo na tabela 4 é apresentado os dados de entrada.

Tabela 4 – Parâmetros geotécnicos obtidos por revisões bibliográficas. Fonte: O autor 2019.

Material	γ (kN/m ³)	γ_{Sat} (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)
Solo	16	17	23	15

Posteriormente, os parâmetros adotados foram obtidos através ensaio de cisalhamento direto, tornando dessa forma possível obter um modelo real de como o talude se comporta face a ação da chuva, admitida neste trabalho como sobrecarga. Tais parâmetros encontram-se abaixo na tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros geotécnicos obtidos no ensaio. Fonte: O autor 2019.

Material	γ (kN/m ³)	γ_{Sat} (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)
Solo	15,8	18,3	35,6	7

2.6. Retroanálise para definição inicial dos parâmetros

A retroanálise é um dos meios mais práticos e menos onerosos para se obter uma estimativa rápida dos parâmetros de resistência médios equivalentes de um talude. A técnica é embasada na consideração de que quando um talude rompe, seu fator de segurança atingiu um valor inferior à $FS < 1,00$. Porém deve ser considerado o fator de segurança mínimo estabelecido pela NBR 11682.

A proposta final é verificar se os parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito, resultantes da metodologia aplicada, encontram-se dentro da faixa de variação dos resultados ensaiados na condição inundada.

2.7. Análise de estabilidade por equilíbrio limite

O software utilizado para as análises foi o GEOSLOPE 2018, que utiliza a teoria do equilíbrio limite para calcular o Fator de Segurança de taludes em solo ou rochas. Desta forma, a deformação do material não é levada em consideração, e a condição de equilíbrio é normalmente satisfeita pelo equilíbrio de forças e momentos.

Utilizando o método de Morgenstern e Price, por se tratar de um método considerado rigoroso que admite superfície de ruptura qualquer e satisfaz todas as condições de equilíbrio de forças e momentos (Ferreira, 2012; Tonus, 2009).

3. Resultados

3.1. Modelagem para definição de um modelo inicial

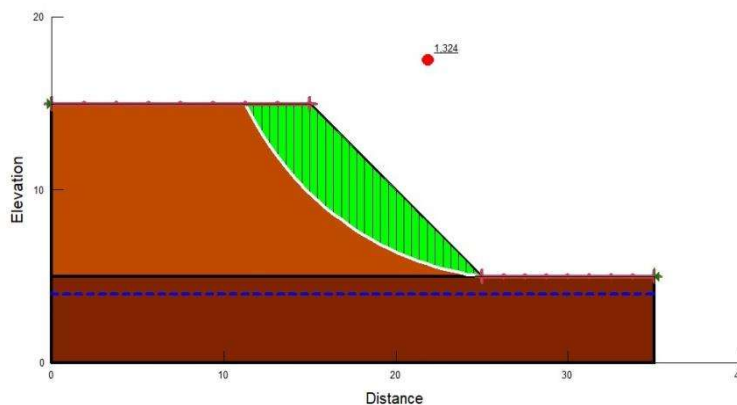


Figura 5 – Fator de segurança, condição inicial sem carregamento (Fonte: O autor, Geoslope 2018).

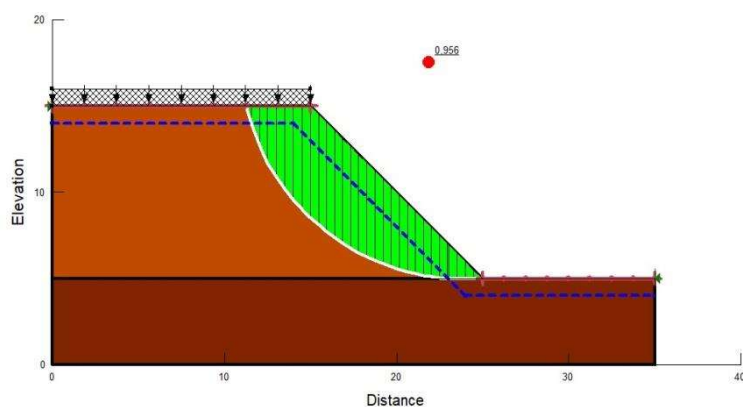


Figura 6 – Fator de segurança, condição inicial com carregamento (Fonte: O autor, Geoslope 2018).

Pode-se observar através da modelagem com base nos parâmetros utilizados para gerar um modelo inicial que foi utilizado no decorrer deste estudo como modelo de referência, que fator de segurança do modelo ensaiado com o carregamento encontra-se abaixo da limitrofe do fator de segurança considerado aceitável de acordo com a NBR 11682 que é de no mínimo 1,2 considerado baixo. Sendo assim podemos concluir que o talude chega à ruptura. O fator de segurança encontra-se abaixo na tabela 6.

Tabela 6 – Fator de segurança. Fonte: O autor 2019.

	Condição inicial sem carregamento	Condição inicial com carregamento
FS	1,324	0,956

3.2. Modelagem com os parâmetros obtidos no ensaio, modelo final

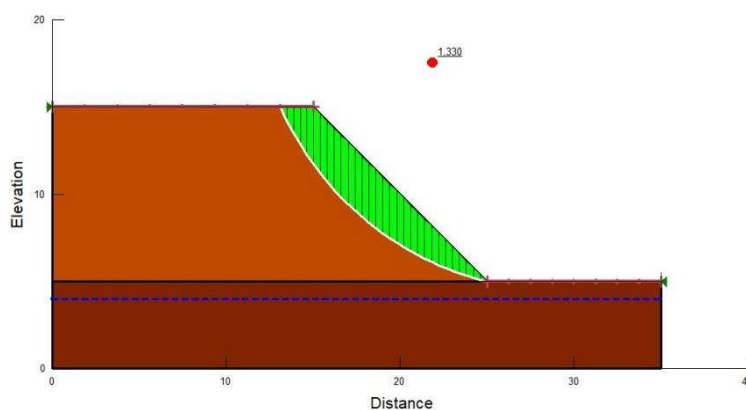
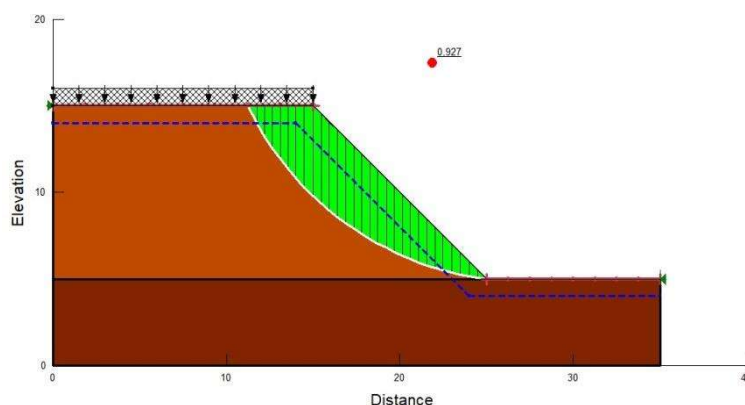


Figura 7 – Fator de segurança, condição final sem carregamento (Fonte: O autor, Geoslope 2018).**Figura 8** – Fator de segurança, condição final com carregamento (Fonte: O autor, Geoslope 2018).

Pode-se observar através da modelagem com base nos parâmetros obtidos no ensaio laboratorial utilizados para gerar o modelo final que fator de segurança do modelo ensaiado com carregamento também encontra-se abaixo do fator de segurança considerado aceitável de acordo com a NBR 11682 que é de no mínimo 1,2 que já é considerado um fator de segurança baixo. Sendo assim podemos concluir que o talude ensaiado com dados reais também chega à ruptura. O fator de segurança encontra-se abaixo na tabela 7.

Tabela 7 – Fator de segurança. Fonte: O autor 2019.

	Condição final sem carregamento	Condição final com carregamento
FS	1,330	0,927

4. Conclusões

A presente pesquisa apresentou os conceitos e fatores a serem considerados quando se trata da estabilidade de taludes, estes são sucintamente descritos abaixo. Para se determinar a estabilidade de um talude fez-se necessário elaborar revisão literária sobre os movimentos de massa para que fosse tangível compreender o mecanismo de cada tipo de instabilidade, que podem ser devido à inclinação, por descontinuidade, por percolação de água, em aterros, massas coluviais e queda ou rolamento de blocos. Nesta etapa do estudo foi implementado também algumas tabelas de classificação tais como: o resumo da classificação de Varnes que classifica quanto ao tipo do movimento e o tipo do material; tipos de movimentos de terra segundo a NBR 11682.

Outro agente considerado neste estudo foram os fatores causadores de instabilidade, pois eles são os agentes deflagradores de escorregamentos ocasionados por fatores naturais ou antrópicos que deve ser considerados na análise de estabilidade.

A tradução brasileira de projetos geotécnicos prescreve que as análises de estabilidade em estudo inicialmente deve ser realizadas por métodos determinísticos, análises de equilíbrio limites ou métodos numéricos, que está sendo um conceito ultrapassado quando se trata de fatores de ruína ultimamente é necessário que se adote uma análise probabilística para que os cálculos satisfaçam o risco considerável aceitável.

O ciclo hidrológico tem uma importância a ser considerada na estabilidade de um talude, pois excessos de precipitação podem ocorrer saturando o solo e ocasionando grandes rupturas do mesmo por isso sempre que possível é necessário que se permaneça com a vegetação nativa que minimiza o impacto da infiltração de água e consequentemente evite movimentos de massa.

Através do estudo de caso foi possível apresentar um estudo geotécnico de movimentos de massa, considerando os ensaios, análises e modelagens necessários para construção do mesmo e apresentando sua aplicação apropriada, cumprindo o objetivo deste trabalho.

Para elaboração do fator e segurança do talude, utilizou-se o software de equilíbrio limite Geoslope 2018. Os parâmetros utilizados, tais como, peso específico natural, peso específico saturado do solo, ângulo de atrito e coesão do solo, foram obtidos inicialmente através de revisões bibliográficas para solos com mesmo perfil geológico e mesma similaridade mecânica devido a seus componentes. Sendo assim possível elaborar um modelo inicial confiável utilizado como parâmetro, porém não exato, para realização de tal fez-se necessário à interpretação dos resultados obtidos através do ensaio de cisalhamento direto.

Para a elaboração do modelo inicial, os parâmetros foram: peso específico natural igual à 16 kN/m³, peso específico saturado igual à 17 kN/m³, coesão igual à 15 kPa e ângulo de atrito igual à 23°. O comportamento do talude mediante de um carregamento de 1,84 kN/m², que foi considerado como um valor estimado da carga que a chuva exerce sobre solo, admitido como parâmetro mais desfavorável obtido pelo Alerta de Cheias, demonstrou fator de segurança de 0,95 que é considerado inferior ao aceitável pela norma, isso na condição qual o solo de todo talude encontra-se saturado. Sendo o topo a parte do talude mais susceptível ao rompimento. O modelo final ou real comportou-se de forma similar ao inicial porém obteve-se um fator de segurança de 0,92 um pouco inferior ao inicial, mesmo assim pode-se exatificar a acurácia dos parâmetros ressaltando a importância da aplicabilidade de tal estudo para que se possa mitigar a deflagração desses acidentes.

Conclui-se então que é necessário que se realize os ensaios de laboratório para que se obtenha uma melhor acurácia dos parâmetros adotados. Outro aspecto importante é realizar a análise do índice pluviométrico representativo da região, além disso este levantamento deve ser considerado uma sobrecarga e incorporada na análise para que o estudo de estabilidade seja representativo com a ocorrência em questão e estudos mais detalhados farão com que sejam estabelecidos padrões de alertas contra desastres naturais caso não exista no local em análise. Sugere-se para trabalhos futuros a utilização da pluviosidade in loco o que dá muito mais precisão ao modelo elaborado. Recomenda-se também Estudo de Caso da permeabilidade do solo e escoamento superficial, baseado no solo estudado, a fim de proporcionar um melhor fluxo para perfeita implementação do modelo.

5 Referências bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682. Estabilidade de encostas. 2009

ALEXANDER, D. (1997). The study of natural disasters, 1977-1997: Some reflections on a changing field of knowledge. *Disasters*, 21, 284-304.

BOTERO, Eduardo Montoya. Modelo de alerta de escorregamentos deflagrados por chuvas usando redes neurais artificiais. 2013. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://geotecnia.unb.br/downloads/dissertacoes/233-2013.pdf>>. Acesso em: 08 junho 2015.

CASTRO, Jeanne Michelle Garcia. Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto. 2006. 87 f. Tese (Pós-graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG, 2006. Disponível em: <<http://www.propec.ufop.br/upload/tese116.pdf>>. Acesso em: 12 de Junho de 2015.

CRUDEN, D. M.; Varnes, D. J. Landslide Types and Processes. In: TURNER, A.K.; SHUSTER, R.L. (eds), *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247. National Research Council, Washington DC, p. 36-75, 1996.

DELMONACO, G., 1995. The CEC Project. Meteorological Factors influencing slope stability and slope movement type: evaluation of hazard prone areas. In: *Proceedings of 1st Review Meeting of Hydrological and Hidrogeological Risks*, R. Casale ed., Official Publications of European Communities, Bruxelas, p. 259-283. Disponível em: <<https://pantheon.ufjf.br/bitstream/11422/9679/1/877295.pdf>>. Acesso em: 04 de dezembro de 2019.

FERNANDES, N. F. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicações de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. In: *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Vol.02, nº01, 2001.

FERREIRA, J. L. F. Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Jambu e Spencer. Mestrado Integrado em engenharia Civil-2011/2012, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

JUNIOR, C. A. R. (2011). Análise numérica de escorregamentos em encostas. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), UERJ. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

KOBIYAMA, Masato. Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011. Disponível em: <www.docplayer.com.br/47125800-Curso-de-capacitacao-em-hidrologia-e-hidrometria-para-conservacao-de-mananciais-3a-edicao.html>. Acesso em: 23 de abril de 2019.

LEROUÉIL, S. Geotechnical Characterization of Slopes Movements. Invited Lecture, 7th International Symposium on Landslides, Trondheim, Landslides, Senneset (ed), Balkema, Rotterdam, 1996, pp. 53-74.

SAVENIJE, H. H. G. The Art of Hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*. v.13, p.157–161, 2009.

SILVA, J. P. M. Os métodos de equilíbrio limite e dos elementos finitos na análise de estabilidade de taludes. Tese (Pós-Graduação em Geotecnia), FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, 2011. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/62106/1/000149997.pdf>>. Acesso em: 04 de dezembro de 2019.

SILVEIRA, A. L. L. In: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: 4ª ed. UFRGS/ABRH. 943p. 2013.

TATIZANA, C. (1987a). Modelamento numérico da análise de correlação entre Chuvas e Escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, 5. São Paulo. Anais. São Paulo: ABGE. v.2, pp.237-248.

TIERNEY, K. (1989). The social and community contexts of disaster. In R. Gist & B. Lubin (Eds.), *Psychosocial aspects of disaster* (pp. 11-39). New York: John Wiley & Sons.