



Leonardo Lopes Alves

**DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE GRÁFICA WEB PARA ESTUDO
GEOTÉCNICO DE ESTABILIDADE DE TALUDES INFINITOS TERROSOS**

Ouro Preto, MG

2023



DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE GRÁFICA WEB PARA ESTUDO GEOTÉCNICO DE ESTABILIDADE DE TALUDES INFINITOS TERROSOS

Leonardo Lopes Alves

Monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Urbana na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data de aprovação: 28/08/2023

Áreas de concentração: Geotecnia e Planejamento Urbano

Orientador: Prof. Dr. Pedro Manuel Alameda Hernandez - UFOP

Ouro Preto, MG

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A474d ALVES, LEONARDO.

Desenvolvimento de interface gráfica web para estudo geotécnico de estabilidade de taludes infinitos terrosos. [manuscrito] / LEONARDO ALVES. - 2023.

65 f.

Orientador: Prof. Dr. PEDRO HERNANDEZ.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Taludes (Mecânica do solo) - Taludes infinitos. 2. Interface gráfica com o usuário (Sistemas de computação). 3. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. I. HERNANDEZ, PEDRO. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Leonardo Lopes Alves

Desenvolvimento de interface gráfica web para estudo geotécnico de estabilidade de taludes infinitos terrosos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Urbano

Aprovada em 28 de agosto de 2023

Membros da banca

Dr. - Pedro Manuel Alameda Hernández - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. - Guilherme José Cunha Gomes - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Eng^a - Samanta Bregalda Dorta - (VALE)

Pedro Manuel Alameda Hernández, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 31/08/2023



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Manuel Alameda Hernandez, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/08/2023, às 15:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0584011** e o código CRC **A426B7C9**.

RESUMO: O presente estudo apresenta uma ferramenta para cálculo de equilíbrio limite para taludes infinitos, muito frequentes na região de Ouro Preto/MG, e pouco considerados. Neste sentido, para implementação na web foi desenvolvida uma Interface Gráfica de Usuário (IGU) objetivando determinar de acordo com o método de equilíbrio limite, qual o fator de segurança do talude de solo escolhido como estudo de caso neste trabalho. A ferramenta será fundamentada por meio de três linguagens de programação distintas, HTML, CSS e JavaScript, sendo elas unificadas por intermédio do framework “Angular”, ferramenta capaz de mesclar as funcionalidades de cada uma delas. O talude em questão possui 7,41 metros de altura, considerada como a espessura de camada de solo e possui em seu topo uma via, obra civil onde a ruptura foi aflorada. O cálculo do FS será realizado utilizando os parâmetros encontrados em laboratório com amostras de solo advindos da rampa do talude que foram ensaiados após a ocorrência do rompimento. As definições e discussões temas do presente estudo, destacam a forma de montagem deste software e a importância dele como ponto focal nos estudos de estabilidade de taludes e na garantia de segurança na relação com o homem e o meio urbano.

Palavras-chave: Taludes infinitos. Interface Gráfica de Usuário. Estabilidade de Taludes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. JUSTIFICATIVA	7
2.1. Incorporação de linguagens de programação para automatização das análises de estabilidades de talude	7
2.2. Contribuição para estudos geotécnicos	8
3. OBJETIVOS	9
3.1. objetivo geral	9
3.2. objetivos específicos	9
4. REFERENCIAL TEÓRICO	9
4.1. Maciços terrosos	9
4.2. Tipos de taludes e a relação/impacto deles no meio urbano	12
4.2.1. Relação encosta e talude	12
4.3. Estabilidade de taludes	14
4.3.1. Tipologias dos movimentos de massa em maciços de solo (Rastejos, Escorregamentos, Quedas e Corridas)	16
4.3.2. Análise de estabilidade de taludes por equilíbrio limite	21
4.4. Estudo da estabilidade para taludes infinitos	23
4.4.1. Influência do tipo e condição do solo	24
4.4.2. Influência do nível de água	26
4.5. Programação Web	30
4.5.1. HTML, JavaScript e CSS	30
4.5.2. Interface web como ferramenta computacional para avaliação da estabilização de taludes	34
5. METODOLOGIA	35
5.1. Caracterização do talude modelo	35
5.1.1. Localização	35
5.1.2. Condições do talude	36
5.1.3. Proposta de planejamento após as análises geotécnicas	49
5.2. Redação do código	50
5.2.1. Estrutura geral do código	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
6.1. Construção da IGU	51
6.2.1. Implementação das equações constitutivas	52
6.2.2. Linhas de código FrontEnd	54
6.2. Teste com o talude modelo	56
6.3. Fator de segurança	58
6.4. Análise dos resultados	58
7. CONCLUSÃO	59

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Monteiro et al. (2016), a aplicação da geotecnia no planejamento urbano é cada vez mais importante em razão do crescente processo de urbanização e expansão das cidades. Segundo Lopes (2017), a geotecnia tem um papel fundamental no planejamento urbano, uma vez que permite a avaliação das condições do solo e subsolo, a fim de garantir a segurança das edificações e obras de engenharia. Ainda de acordo com o autor, a geotecnia contribui para a identificação de riscos geotécnicos, tais como deslizamentos de encostas, afundamentos, colapsos, entre outros. Os movimentos de massa elencados anteriormente geram insuficiência na segurança de quaisquer que sejam as obras ou empreendimentos, pois são fenômenos que podem comprometer a estabilidade do terreno e a integridade das construções, gerando insegurança naquelas que habitam ou frequentam suas proximidades. Somente com base em informações geotécnicas confiáveis é possível estabelecer critérios técnicos para a ocupação do solo, definir zonas de risco e estabelecer normas e padrões para a construção de edificações e infraestruturas urbanas (LOPES, 2017).

As obras de contenção devem sempre ter sua determinação baseada em estudos geotécnicos que de acordo com a ABNT NBR 6484/2001, são "aqueles que visam caracterizar e interpretar as condições geológicas e geotécnicas de uma área, necessárias para o projeto, construção e operação de obras de engenharia, tais como fundações, escavações, túneis, barragens, diques, pontes, estradas e outras". São estudos necessários para a ampliação da interação segura do homem com os cada vez maiores aglomerados construtivos em que vivemos.

Há muitos anos, o ser humano vem aplicando técnicas de contenção na construção civil e segundo Neto, Hayashida e Pereira (2013), tais técnicas propõem uma solução para a garantia da estabilidade dos terrenos no entorno de suas civilizações. As técnicas de contenção mais comuns incluem a construção de muros de contenção, o uso de estacas, o solo grampeado, os tirantes e as ancoragens. Segundo Neiva (2014), a escolha técnica de um sistema de contenção, para qualquer obra, deve ser tomada levando em consideração parâmetros de extrema importância que retratam a contexto que a mesma será inserida, como as características do terreno, das condições geológicas e do tipo de obra a ser realizada, sempre tendo feita a pré-avaliação do impacto da inserção daquela contenção por profissionais especializados. Um dos maiores riscos que se pode correr no campo de Engenharia de

Construções é iniciar uma obra sem um conhecimento tão perfeito quanto possível do terreno (rocha ou solo) de fundação (CAPUTO, 2015). Após a execução da obra, fica ainda mais complicado solucionar questões geotécnicas, sendo que as condições do solo/rocha já foram comprometidas e alteradas.

Neste sentido, o contexto das técnicas de contenção também está diretamente relacionado com a estabilidade de taludes. Segundo Carmignani e Fiori (2009), um talude é “toda e qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rocha ou de ambas, distinguindo igualmente talude natural (encostas ou vertentes) e artificial (cortes e aterros)”. Este objeto tem como principal e mais importante ponto de estudo a sua estabilidade, de forma que o mesmo corrobora com a constatação de segurança por todo o ambiente próximo a ele e não promove um espaço propício a movimentações de massa.

A ABNT NBR 11682:1991 marca alguns critérios obrigatórios para o controle eficaz da estabilidade dos taludes, sejam eles em solo, em rochas, mistos (solo + rocha), em encostas naturais ou até mesmo resultantes de um corte no terreno. Algumas das técnicas de contenção mais comuns incluem a construção de muros de contenção, o uso de estacas, o solo grampeado, os tirantes e as ancoragens. Segundo Silva (2012, p. 21), as técnicas utilizadas para solucionar os principais problemas de instabilidade de taludes (erosão, escorregamentos, queda de blocos e os fluxos) podem ser agrupadas em três categorias: medida de proteção, correção e reforço.

Nesta ótica, com o crescente desenvolvimento das cidades e da agricultura no Brasil, muitas vezes sem levar em conta os princípios da sustentabilidade ambiental, a população do país enfrenta sérios problemas relacionados ao solo, incluindo a perda do mesmo devido à erosão e degradação do solo causada por práticas inadequadas e, em áreas urbanas ou em obras civis, problemas de instabilidade que ocasionam em deslizamentos de taludes e encostas (HÜLLER, 2010; DUTRA, 2013). A ausência de uma compreensão técnica mais profunda das características e propriedades do solo contribui significativamente para esses problemas. (ORTIGÃO, 2007).

Embora haja muitos avanços em tecnologias e softwares de engenharia, a falta de automação nos cálculos de estabilidade de taludes ainda é uma questão evidente. Segundo Fiori (2010) as últimas décadas trouxeram à tona uma certa evolução nos cálculos envolvendo taludes por meio dos métodos de equilíbrio limite, métodos que são utilizados até hoje de forma manual. Ademais, a automatização dos cálculos, ainda evidencia algumas possíveis limitações quando os mesmos cálculos e modelagem de dados são submetidos a resolução manual, como a elevação do erro por enganos de cálculo humano, algo que não ocorre em ferramentas

computacionais, admitindo que as demonstrações de cálculo foram inseridas nas linhas de programação de forma correta.

Os cálculos de estabilidade de taludes envolvem a determinação de diversos parâmetros e comportamentos dos maciços como a inclinação, a força, o peso, as condições e as cargas, fatores intrínsecos que aproximam o cálculo à realidade do terreno. Diante deste contexto, é perceptível que a equivocada aplicação de todo este conhecimento a cálculos matemáticos pode gerar uma análise limitada do comportamento do solo diante das tantas facetas condicionantes da situação de um talude, o que pode resultar em soluções inadequadas ou incompletas devido à complexidade de tal análise.

É neste contexto onde enxerga-se um cenário obtentor de uma extensa base dados que se evidencia a potencialidade da inserção da programação web no auxílio do planejamento territorial seguro segundo critérios geotécnicos. O mundo moderno é, cada vez mais, dominado pela presença constante de software nos mais variados domínios - comunicação, trabalho, entretenimento, serviços públicos, comércio, saúde, entre outros (HARGREAVES, 2021). Tornar pública uma ferramenta desenvolvida para auxiliar na modelagem computacional avançada e na análise de elementos finitos é de grande valia para a alavancagem da acessibilidade da população a mecanismos mais complexos, que são cada vez mais utilizadas no presente cotidiano, podendo também disseminar o uso da interface.

2. JUSTIFICATIVA

2.1. Incorporação de linguagens de programação para automatização das análises de estabilidades de talude

Este estudo é justificado pela grande relevância e presença de obras urbanas que envolvem taludes de solo nas civilizações atuais. É crucial conduzir estudos e análises que garantam a segurança humana e a correta utilização dos recursos naturais, visando a otimização e aprimoramento da utilização dos espaços urbanos.

Os estudos de estabilidade dos taludes de solo são fundamentais nos diversos inúmeros setores presentes no planejamento urbano, como na infraestrutura dos centros urbanos, rodovias e até mesmo logradouros e loteamentos pontuais. É de extrema importância estudar a geologia onde houve intervenção humana para preservar a integridade dos locais e das pessoas que os utilizarão. Da mesma forma, o planejamento urbano é imprescindível atualmente para prever e mitigar questões problemáticas que afetam a qualidade de vida da população.

A incorporação de linguagens de programação para a automatização das análises de estabilidade de taludes permite que as análises sejam executadas de forma mais rápida e eficiente, reduzindo o tempo necessário para obter resultados. A ferramenta desenvolvida neste estudo será disponibilizada gratuitamente na rede. Em 2018, cerca de 70% da população brasileira possuía acesso à Internet, após 5 anos, este número é ainda maior, fato que emerge o imenso alcance possível para a ferramenta produzida (COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL, 2018). Neste contexto, a praticidade da interface é especialmente útil quando se trata de análises de estabilidade de taludes, podendo envolver cálculos complexos e extensos. Fato imprescindível é a facilidade de aplicação desta ferramenta, bastando somente que os profissionais obtenham o acesso a internet, possibilitando que os mesmos dediquem a maior parcela da sua atenção para as ações de tratativas e monitoramento dos taludes inseridos no ambiente urbano.

2.2. Contribuição para estudos geotécnicos

A utilização de linguagens de programação para auxiliar nas etapas de cálculo e modelagem situacional de um talude, permite que toda análise feita possa ser armazenada, repetida e ajustada, contribuindo para o solucionamento dos projetos geotécnicos com sua particular complexidade. Até o presente momento existem alguns softwares de modelagem de taludes, softwares capazes de simular o comportamento do maciço de solo por diferentes perspectivas. Contudo, a grande maioria é paga, não podendo ser acessados gratuitamente, dificultando abastadamente o acesso aos estudos geotécnicos; em particular, não existe até o momento nenhum código livre para o cálculo de estabilidade de taludes considerados infinitos pelos métodos de equilíbrio limite e Mohr Coulomb. Dessarte, conseqüentemente, formular uma interface que auxilia de forma eficaz em tais estudos, e seja disponibilizado publicamente para a população de forma online, causa o melhoramento no entendimento das frequentes mudanças da superfície em que habitamos. Adicionalmente, a disponibilização do código em um entorno web, evita ao usuário a necessidade de fazer downloads e instalações, basta com um navegador e acesso à internet para o uso.

3. OBJETIVOS

3.1. objetivo geral

Desenvolvimento de interface gráfica capaz de auxiliar nos cálculos de estabilidade de taludes modelados como infinitos e na análise de estabilidade de taludes objetivando o auxílio no planejamento urbano regional.

3.2. objetivos específicos

- Desenvolver uma ferramenta web de cálculo de taludes de solo infinitos com auxílio de um conjunto de três linguagens de programação (HTML, CSS e TypeScript).
- Disponibilizar gratuitamente a ferramenta web à comunidade.
- Apresentar a funcionalidade da ferramenta evidenciando um exemplo de auxílio no planejamento territorial, calculando o fator de segurança a um talude de solo considerado infinito.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Maciços terrosos

Uma massa de solo pode ser considerada como um conjunto de partículas sólidas, encerrando vazios de formas e tamanhos variados que, por sua vez, podem estar preenchidos com água, ar ou ambos. Logo, o solo pode ser equacionado da seguinte forma: *solo = sólido + líquido + gases* (CARMIGNANI, 2009). Pode-se dizer, que a estrutura dos solos é promovida a partir do direto comportamento de suas partículas. Desta forma, quando suas partículas se agitam, interagindo-se uma com as outras, a consequência direta é a geração de movimento. Sendo as partículas de um solo o componente de maior influência no comportamento de um do mesmo, pode-se dizer que Mecânica dos Solos é classificada como uma subárea da Mecânica dos Sistemas Particulados (LAMBE; WHITMAN, 1969).

Um dos principais trabalhos bibliográficos sobre a formação do solo é o livro "Princípios e Aplicações da Ciência do Solo", escrito por Edward J. Murray e publicado em 2003. O autor discute como as rochas de origem são fragmentadas e transformadas em partículas menores pelo intemperismo químico e físico, e como essas partículas são transportadas por processos

de erosão e deposição, formando os diferentes tipos de solos. Ademais, Oliveira (2012) ainda destaca a importante influência do clima como agente formador do solo, evidenciando a relação entre temperatura e umidade com o processo de decomposição das rochas. Além disso, o autor expõe como a topografia e a vegetação influenciam na cadeia de processos para a formação do solo em diferentes ambientes.

Basicamente, as formações de solo ocorrem a partir do processo de desagregação e/ou decomposição de rochas por meio do fenômeno chamado intemperismo. O intemperismo faz que a rocha ou solo se reduza gradualmente devido a ação de agentes externos sendo eles físicos, químicos ou biológicos. Comumente, este processo é categorizado em duas grandes vertentes, o intemperismo químico e o físico, como apontado pelos autores Tarbuck e Lutgens (2010), que explicam como o intemperismo físico e químico contribui para a formação do solo e a evolução das paisagens terrestres, bem como sua relação com os processos de erosão e sedimentação. Leinz e Taioli (2012) também elencam os diferentes tipos de intemperismo, e dissertam por meio de definições quais são as características, fatores e processos envolvidos na decomposição das rochas referentes a cada um dos tipos elencados.

De toda forma, no contexto químico, o processo ocorre por meio de reações químicas causadas por reagentes a rocha matriz que solubilizam, depositam e alteram seus minerais, transformando-os em solo. Estes eventos ocorrem de forma mais frequente em locais de climas quentes e úmidos, como por exemplo o território brasileiro. Já o intemperismo mecânico é ocasionado sempre que o maciço não suporta o impacto de agentes como a água, vento e também as variações de temperatura, muitas vezes estes agente agem em conjunto o que agrava ainda mais a segregação (ORTIGÃO, 2007). Estes processos geram camadas quando os solos permanecem armazenados próximos à rocha matriz, que podem ser subdivididas residuais, sedimentares ou transportados, a subdivisão de um solo típico pode ser observada na Figura 1.



Figura 1 - Perfil geotécnico típico de solo residual de gneiss do Rio de Janeiro.

Fonte: Ortigão (2007).

Na descrição de um maciço de solo, é necessário o conhecimento de um conjunto de propriedades, a exemplo dos parâmetros físicos característicos como peso específico, índices de vazios, entre outros. Ademais, também é possível detalhar um aglomerado de solo por parâmetros como o ângulo de atrito ou resistência ao cisalhamento, parâmetros mecânicos fundamentais nas análises. Contudo, geralmente, a maioria dos autores caracterizam os maciços limitando-se a estabelecer somente as características físicas com parâmetros como densidade, granulometria e porosidade, parâmetros comumente avaliados quando se estuda o solo descompactado (FERNANDES et al., 1994).

A junção destes parâmetros caracterizam o determinado maciço de solo, e é por meio deste dinamismo de informações que surgem os perfis geotécnicos, alguns solos mostram, inclusive, uma evidente estratificação e suas propriedades são bastante diferentes, enquanto outros se apresentam aparentemente homogêneos, mas apresentam variações nas suas propriedades conforme a profundidade (FIORI, 2010). De toda forma, é importante estabelecer o perfil de modo a ensaiar e analisar o aglomerado tendo ciência de dados especificamente relacionados ao mesmo.

4.2. Tipos de taludes e a relação/impacto deles no meio urbano

4.2.1. Diferença entre encosta e talude

A formação denominada encosta, é gerada quando partículas de solo segregadas, ou não, das rochas de origem são dispostas naturalmente gerando uma superfície inclinada. Por outro lado, quando as inclinações são produzidas por intervenção humana, as mesmas são chamadas de taludes (OCAMPO-ARAYA, 2016).

As encostas podem ser encontradas em diferentes tipos de paisagens, como montanhas, colinas, vales e planícies, apresentando diferentes graus de inclinação com divergentes estruturas de formação. Segundo Souza (2010) as encostas abrigam conformidades em sua feição que remete a processos geomorfológicos gerados desde a sua origem, estes processos contribuíram para a sua formação e normalmente continuam atuando ao longo do tempo. Por este fato, as encostas acabam sendo mais suscetíveis a processos geodinâmicos erosivos por consequência do histórico de alterações ocorridas em toda a sua formação e pela exposição a agentes externos. Segundo Mendonça e Cunha (2015), quando falamos em encostas devemos adotar a vulnerabilidade a processos erosivos, os autores apresentam como a relação entre a inclinação da encosta, a intensidade da chuva e a capacidade do solo de absorver a água, pode gerar consequências negativas nas encostas, ocasionando processos erosivos entre outros como a perda de solo e a própria instabilidade do maciço de solo.

Como supracitado, existe um relevante setor da engenharia responsável por dimensionar e determinar formas de garantir que estas superfícies inclinadas não admitem perigo a eixos construídos e populações incluídas em seu ambiente comum. A falta de estudos geotécnicos e geomorfológicos é um fator potencializador da ocorrência de rompimento nas encostas, o que pode representar sérios riscos para as comunidades e para a infraestrutura urbana, quando estes espaços são submetidos a eventos como deslizamentos e queda de blocos (CÉSAR; CÉSAR, 2013).

Quando se fala em taludes, tendo como princípio fundamental sua geração de forma induzida e artificial, pela ação direta do homem, estas superfícies inclinadas são estruturas construídas em cortes de terreno ou aterros para estabilizar encostas e prevenir deslizamentos. São produzidas de forma pré-planejada para garantir a segurança e estabilidade das encostas e minimizar o risco de acidentes, destacando-se novamente a necessidade de avaliar as condições geotécnicas do terreno, como a natureza do solo, a inclinação da encosta e a presença de água (BRAJA DAS; SOBHAN, 2017). Estes equipamentos tendem a apresentar uma estrutura bem formada, com o cálculo de sua estabilidade ou a forma de contenção

pré-estabelecida anteriormente aos cortes ou aterros. Ademais, os autores abordam os principais métodos de estabilização de taludes artificiais, como a construção de muros de contenção, o uso de grampos e tirantes, e a técnica de solo grampeado. Em ambas as análises, os autores adotam sínteses comparativas, relacionando o levantamento de informações com as principais técnicas de monitoramento de taludes, como a instalação de piezômetros e inclinômetros, ferramentas que auxiliam no acompanhamento da necessária frequente estabilidade do maciço como um todo.

Azevedo e Almeida (2013) complementam os levantamentos dos autores citados anteriormente trabalhando a cerca do processo interior da implantação do talude, assim como a própria implementação e acompanhamento do maciço e superfície inclinada final. A Figura 2 mostra algumas alternativas de tratativas para execução de um talude de solo.

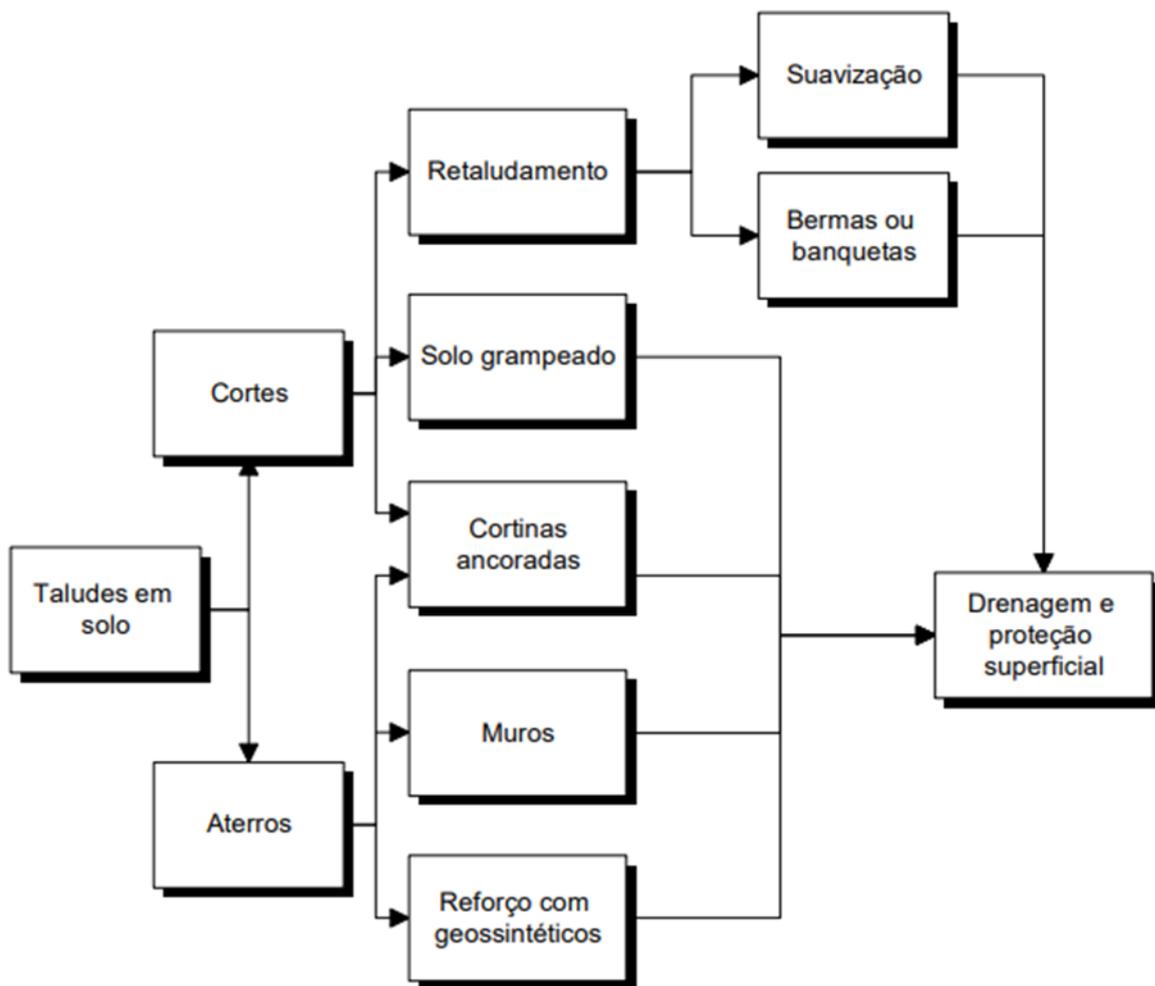


Figura 2 - Alternativas de solução a implementação e reparação para taludes de solo.

Fonte: GeoRio (1999).

4.3. Estabilidade de taludes

Segundo Guidicini e Nieble (1976), “a solução de um problema em taludes depende em primeira instância da compreensão do próprio problema e só secundariamente dos métodos de cálculo de soluções conhecidas”. A afirmação dos autores salienta o fato já citado anteriormente no presente trabalho de que antes mesmo de deliberar quanto a alternativas de estabilização, é aconselhado que o contexto gerador da instabilização seja devidamente identificado. Diversos trabalhos como o caso dos estudos feitos por Wolle (1980, 1985, 1988), Carvalho et al. (1991) e Wolle e Silva (1992), destacam que entender quais são os mecanismos causadores da processo de rompimento ou desestabilização de um talude é parte fundamental e imprescindível de um estudo conciso e eficiente sobre tal assunto.

Para Gomes (2003), os métodos de análise de estabilidade de taludes são divididos em duas classes distintas, os métodos determinísticos, caracterizado por adotar o estudo de estabilidade seguindo um conjunto de termos que, ao final da análise, retorna como medida de avaliação um coeficiente chamado fator de segurança. A outra classe estabelecida é referente aos métodos probabilísticos, nos quais a medida de segurança é feita em termos da probabilidade ou do risco de ocorrência da ruptura. Contudo, Augusto Filho e Virgili (1998) discordam da distribuição estabelecida por Gomes (2003), para os dois autores os métodos de análise de estabilidade de taludes podem ser divididos em três grandes grupos principais, sendo eles os analíticos ou determinísticos, os experimentais e os observacionais, destacando que os analíticos são os mais utilizados. Outrora, Gomes (2003) ainda descreve que o método analítico, segue em sua maioria, sendo desenvolvido com base na teoria do equilíbrio limite.

Gaioto e Queiroz (1993) realizaram um extenso estudo que descreveu os principais processos e agentes estabilizadores de taludes em solos naturais localizados no interior do Estado de São Paulo. Como conclusão do estudo, os autores ressaltaram que a maioria dos problemas relacionados à instabilidade desses taludes ocorre porque são construídos seguindo regras empíricas e tradicionais, com geometrias padronizadas que não levam em consideração as questões geológico-geotécnicas.

A estabilidade de um talude ou de uma encosta é expressa pelo seu coeficiente de segurança (CS), também denominado de fator de segurança (FS) (GOMES, 2003).

Essa teoria, aplicada na análise de estabilidade de taludes, está fundamentada nas seguintes hipóteses: o solo comporta-se como um material rígido-plástico, ou seja, rompe-se

bruscamente, sem se deformar; e o fator de segurança é constante ao longo de toda a superfície de ruptura (GOMES, 2003).

Segundo Santos e Carvalho (2014) às análises de agentes desestabilizadores e as motivações para o ataque à estabilidade de taludes tem por objetivo avaliar a possibilidade de ocorrência de movimentação de massas de solo presente nos taludes. Em geral, as análises são realizadas pela comparação das tensões cisalhantes mobilizadas com a resistência ao cisalhamento, e que normalmente devem-se analisar os diferentes cenários possíveis que possam alterar as condições de resistência ao cisalhamento e reduzir o fator de segurança. Pejon e Fagundes (2009) afirmam que o fator de segurança quando determinado apoiado pela determinação da tensão admissível, representa diretamente a tensão de ruptura admitida no solo em questão. Segundo Gerscovich (2016), a instabilidade de um talude ocorre quando as tensões cisalhantes se igualam à resistência ao cisalhamento formando uma superfície de ruptura, a relação apresentada pode ser observada na Figura 3 a seguir.

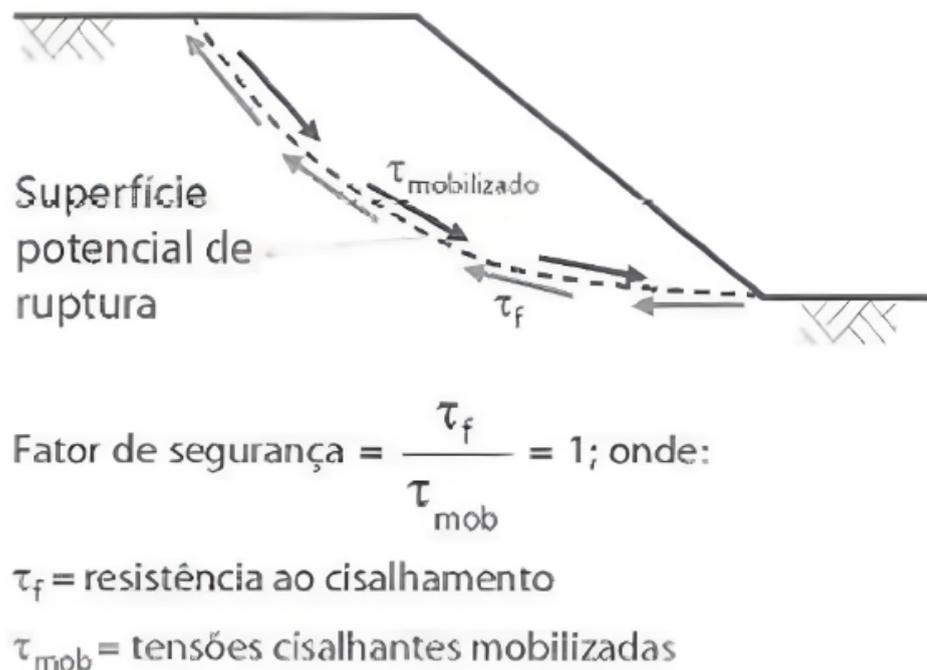


Figura 3 - Demonstração do processo de ruptura.
Fonte: Gerscovich (2016).

Fato é, que fundamentalmente a escolha adequada do método de análise de estabilidade em taludes deve sempre se basear na junção de divergentes campos de estudo de forma a confrontar a questões como a origem do problema, a confiabilidade da obtenção dos parâmetros de resistência dos materiais envolvidos, o impacto e estudo da composição geométrica característica da superfície externa e os meios de cálculo e validação adotados (GOMES, 2003). Esta mescla de fatores, se homogeniza e a análise é retornada por meio do fator de segurança.

4.3.1. Tipologias dos movimentos de massa em maciços de solo (Rastejos, Escorregamentos, Quedas e Corridas)

Segundo Maciel Filho e Nummer (2011), erosões e movimentos de massa ocorrem principalmente em encostas. De acordo com Bastos (2012), os processos de movimentação de massa são influenciados por diversos fatores, como a inclinação do terreno, a cobertura vegetal, a geologia local e os parâmetros hidroclimáticos. Estes condicionantes influenciam no tipo de ruptura ocorrente no maciço de solo, assim como na velocidade em que o processo desestabilizador se desenvolve.

Maciel Filho e Nummer (2011) elencam algumas das causas mais comuns geradoras de movimentos de massa. Entre elas inclui-se o aumento do nível piezométrico em taludes, as oscilações térmicas, a redução dos parâmetros de resistência devido ao intemperismo, as mudanças na geometria do sistema, as vibrações, a rápida redução do nível da água em barragens ou durante enchentes, a erosão subterrânea retrogressiva, a diminuição do efeito de coesão aparente e a ruptura por cisalhamento. Bigarella et al. (2003) elenca ainda mais fatores, incluindo a estrutura geológica, o índice pluviométrico, a topografia, a presença ou ausência de vegetação, os mantos de intemperismo, as faixas impermeáveis e a influência das atividades humanas.

Augusto Filho (1992) e de Selby (1993) determinam que os movimentos de massa em taludes de solo podem ser diferenciados em quatro classes: rastejos (creep), escorregamentos stricto sensu (slides), quedas (falls) e corridas (flows).

Listo et. al (2022), realizou um estudo bibliográfico, elencando as principais tipologias de solo apresentadas por diversos autores. Abaixo são apresentadas algumas das definições acerca do tema.

O rastejo (*creep*) é caracterizado por ser lento e contínuo, com uma taxa de poucos centímetros por ano. A sua geometria é indefinida, com massa em movimento e massa inerte indiferenciadas (GUIDICINI & NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO, 1992; MACIEL FILHO, 1997). De acordo com Guidicini & Nieble (1984), a movimentação é influenciada pela gravidade e pelas variações térmicas, que provocam a expansão e contração do material, resultando no deslocamento.

Já os escorregamentos (*slides*) são movimentos acelerados, com duração moderadamente breve, de massas geralmente bem definidas em relação ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora da encosta (AUGUSTO FILHO, 1992). A velocidade do escorregamento aumenta de zero até cerca de 0,30 m/hora e depois diminui até estabilizar (TERZAGHI, 1967). Eles podem atingir velocidades mais elevadas (alguns metros por segundo), que dependem da inclinação da superfície do escorregamento, da razão inicial do deslocamento e da forma da encosta. Cada tipo de escorregamento é definido pela sua forma, tamanho e qualidade do material movido (TERZAGHI, 1967; AUGUSTO FILHO, 1992; SELBY, 1993; ALMEIDA FILHO et al., 1999; FERNANDES & AMARAL, 1996).

De acordo com Augusto Filho (1992), os escorregamentos podem ser classificados de acordo com a forma do plano de ruptura (rotacional ou translacional) e o tipo de material em movimento (por exemplo, solo, rocha, tálus, colúvio e detritos). Os escorregamentos rotacionais, também conhecidos como *slumps*, ocorrem quando o material se move em uma curva côncava para cima, e estão associados a áreas com solos profundos que favorecem a infiltração e percolação excessiva de água. Já os escorregamentos translacionais, que são muito comuns no Brasil (Figura 1), possuem superfícies planas condicionadas pela presença de estruturas geológicas, contatos entre solos e rochas e depósitos coluvionares. Esses escorregamentos ocorrem em encostas íngremes compostas por solos rasos, com planos de ruptura que variam de 0,5 m a 5,0 m de profundidade (Augusto Filho, 1992; Selby, 1993; Fernandes & Amaral, 1996).

As corridas de detritos (*flows*), são fenômenos extremamente rápidos, nos quais o material é transportado como fluidos altamente viscosos e são causados principalmente por processos hidrológicos (Figura 2) (Guidicini & Nieble, 1984). Geralmente, ocorrem em canais fluviais de ordem inferior, mas podem afetar também o canal principal (IPT, 1991; Gramani, 2001; Benda et al., 2003). Esses eventos são deflagrados por inundações repentinas que remobilizam o material depositado no canal e em suas margens (Rickenmann & Zimmermann, 1993; Glade, 2005; Godt & Coe, 2007).

O Quadro 1 abaixo exibe um breve resumo das características de cada um dos movimentos de massa listados.

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
Rastejos (Creep)	<ul style="list-style-type: none"> - Vários planos de deslocamento (internos) - Velocidades muito baixas (cm/ano) e decrescente em profundidades - Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes - Solos, depósitos, rocha alterada/fraturada - Geometria indefinida
Escorregamentos (Slides)	<ul style="list-style-type: none"> - Poucos planos de deslocamentos (externos) - Velocidades médias (m/h) e altas (m/s) - Pequenos e grandes volumes de material - Geometria e materiais variáveis - Planares: solos poucos espessos, solos e rochas com plano de fraqueza - Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muitos fraturadas - Em cunha: solos e rochas com dois de fraqueza
Corridas (Flows)	<ul style="list-style-type: none"> - Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) - Movimento semelhante ao de líquido viscoso - Desenvolvimento ao longo das drenagens - Velocidades médias e altas - Mobilização de solo, rocha, detritos e água - Grandes volumes de material - Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Quadro 1 - Classificação e descrição dos processos e características dos movimentos de massa em taludes de solo.

Fonte: Adaptado de Augusto Filho (1992).

Ademais, Varnes (1978) apresenta os dois principais condicionantes físicos para ocorrência de um movimento de massa, estes condicionantes podem ser observados no Quadro 2.

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
Aumento da Solicitação	Remoção de Massa	Erosão Escorregamentos Cortes
	Sobrecarga	Peso da água (chuva, neve, etc.) Acúmulo natural de material Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros, etc
	Solicitações Dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões, etc Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões Laterais	Água em trincas Congelamento Material Explosivo
Redução da Resistência ao Cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estrutura, etc.)	Características geomecânicas do material
	Mudanças ou fatores variáveis	Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas nos minerais originais. Processos de deformação em decorrência de variações cíclicas de umedecimento e secagem, reduzindo a resistência. Variação das poropressões. Elevação do lençol freático por mudanças no padrão natural de fluxo (construção de reservatórios, de urbanização, etc.). Infiltração da água em meios saturados causando redução das pressões de água negativas (sucção). Geração de excesso de poropressão como resultado de implantação de obras. Fluxo preferencial através de trincas ou juntas, acelerando os processo de infiltração

Quadro 2 - Agentes principais ocasionadores de movimento de massa.

Fonte: Adaptado de Varnes (1978).

Cruden e Varnes (1996) também formularam um imponente levantamento de informações a fim de demonstrar as principais causas de movimentos de massa segregando o assunto em quatro campos, sendo o geológico, o morfológico, o físico e o humano. O Quadro 3 observado a seguir, demonstra o trabalho realizado pelos autores.

CAUSAS GEOLÓGICAS	CAUSAS MORFOLÓGICAS	CAUSAS FÍSICAS	CAUSAS HUMANAS
Materiais fracos	Levantamento tectónico ou vulcânico	Chuvas intensas	Escavações de taludes
Materiais sensíveis	Alívio por degelo	Derretimento rápido da neve	Sobrecarga no talude ou na crista
Materiais Intemperizados	Erosão fluvial no pé de talude	Precipitações prolongadas	Rebaixamento dos reservatórios
Materiais cisalhados	Erosão por ondas no pé do talude	Rebaixamentos (Enchentes, marés)	Desmatamento
Materiais fissurados ou fraturados	Erosão glacial no pé do talude	Terremotos	Irrigação
Orientação desfavorável de descontinuidades (Acamadamento. xistosidade. etc.	Erosão nas margens laterais	Erupções vulcânicas	Mineração
Orientação desfavorável de descontinuidades (falhas etc.)	Erosão subterrânea (Solução e Piping)	Descongelamento	Vibração artificial
Contraste de permeabilidade	Deposição de cargas no talude ou na Crista	Intemperismo por congelamento e descongelamento	Vazamento de água
Contraste de rigidez	Remoção da vegetação (Fogo, seca)	Intemperismo por expansão e retração	

Quadro 3 - Influência dos aspectos geológicos, geomorfológicos, físicos e humanos na movimentação de massa em taludes.

Fonte: Adaptado de Cruden e Varnes (1996 apud NUMMER, 2003).

4.3.2. Análise de estabilidade de taludes por equilíbrio limite

O equilíbrio limite é uma técnica amplamente utilizada para a análise de estabilidade tanto de encostas quanto de taludes. Essa técnica se baseia na comparação das forças que atuam sobre um talude com o impacto das mesmas em sua resistência, forças como o peso do solo e a carga gerada por estruturas existentes no perímetro do talude. Os conceitos e aplicações do método do equilíbrio limite são abordados em diversas produções científicas e didáticas como as de Sivakugan, Indraratna e Karunaratne (2014) e Coduto (2010).

Retornando com os conceitos apontados no tópico 4.3., para o cálculo e validação da estabilidade de taludes este estudo se baseia no fator de segurança. As demonstrações de cálculo apresentados a seguir, foram baseadas no material publicado por Braja Das (2017).

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

(1)

F_s = fator de segurança com relação à resistência

τ_f = resistência média ao cisalhamento do solo

τ_d = tensão média de cisalhamento desenvolvida ao longo da superfície potencial de ruptura

A tensão cisalhante é a força tangencial que atua na superfície de contato entre dois corpos que estão sendo submetidos a uma força externa em direções opostas (BRAJA DAS, 2017). Para encontrar a resistência média ao cisalhamento de um solo, faz-se necessária a escolha de um critério de resistência cisalhante, o critério mais empregado nas análises geotécnicas e também aderido no presente estudo é o de Mohr Coulomb. Este critério se baseia no conhecimento de apenas dois componentes principais, a coesão e o atrito e segue a seguinte formulação

$$\tau_f = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$$

(2)

c' = coesão

ϕ' = ângulo de atrito

σ' = tensão normal na superfície potencial de ruptura

A coesão é a resistência interna de um material que o mantém unido, e é definida como a capacidade do material de resistir à separação interna, resultante das forças de atração intermoleculares entre elas. A coesão descreve a resistência à tração e compressão do material ao qual este coeficiente é atribuído (CRAIG, 2004). Segundo Lambe e Whitman (1969), o ângulo de atrito é a medida da resistência ao cisalhamento de um material granular, e é definido como o ângulo máximo que pode ser formado entre a superfície do solo e a horizontal antes que o solo comece a deslizar. E a tensão normal, de acordo com Holtz e Kovacs (1981), é a força que age perpendicularmente à área de uma seção transversal do material. Em geotecnia, a tensão normal é frequentemente utilizada para descrever a carga exercida sobre um solo ou rocha.

De maneira semelhante a equação (2), pode-se escrever

$$\tau_d = c'_d + \sigma' \operatorname{tg} \phi'_d \quad (3)$$

Após substituir as Eqs. (15.2) e (15.3) pela Eq. (15.1), obtém-se a equação (4) onde c'_d e ϕ'_d representam, respectivamente, a coesão e o ângulo de atrito ao longo da superfície potencial de ruptura.

$$F_s = \frac{c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi'}{c'_d + \sigma' \operatorname{tg} \phi'_d} \quad (4)$$

Quando adotamos o fator de segurança com base na coesão e no atrito, tem-se ao final do demonstração a seguinte relação

$$F_s = F_{c'} = F_{\phi'} \quad (5)$$

Segundo Braja Das (2017), “quando F_s for igual a 1, o talude estará em estado de ruptura iminente. Geralmente, o valor de 1,5 para o fator de segurança com relação à resistência é aceitável para o projeto de um talude estável”.

4.4. Estudo da estabilidade para taludes infinitos

Tendo como método de análise da estabilidade referência o equilíbrio limite, a Figura 4 a seguir demonstra a representação do método aplicado a um talude infinito.

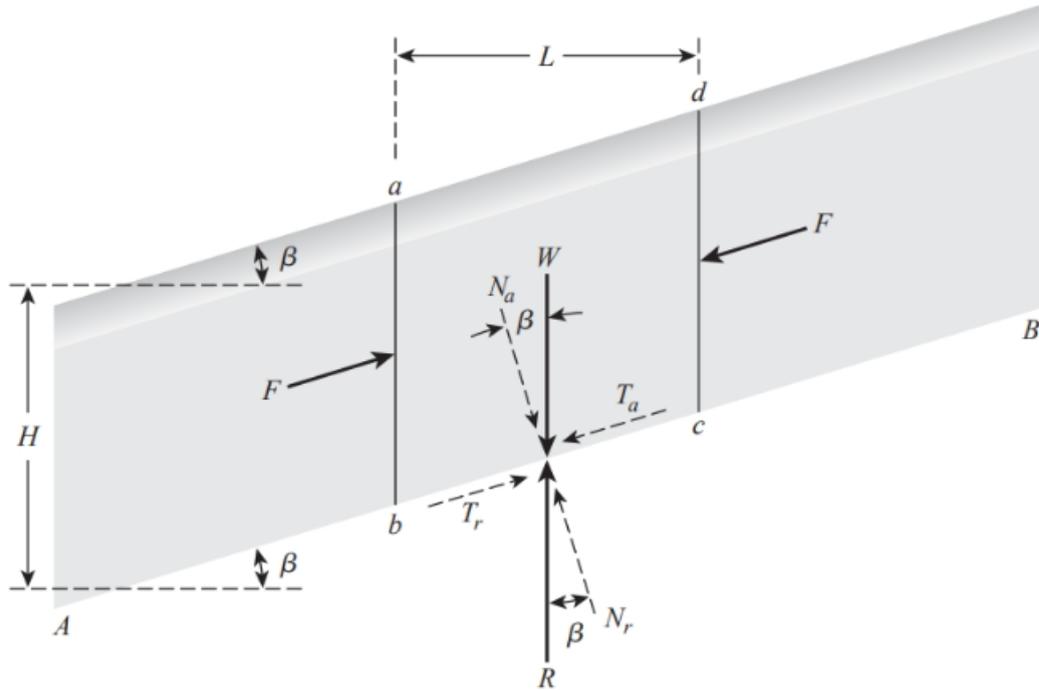


Figura 4 - Representação do método de equilíbrio limite em taludes infinitos.

Fonte: Braja Das (2017).

Os taludes infinitos são uma simplificação matemática de taludes reais, onde a altura do talude é considerada infinita em relação à sua extensão. Isso permite que a análise de estabilidade seja simplificada, considerando apenas o equilíbrio de forças no plano do talude. Essas simplificações são válidas em muitos casos, principalmente em terrenos com baixa inclinação (TERZAGHI; PEAK, 1948).

Desta forma, Seguindo a representação proposta na Figura 4, a tensão normal e tensão de cisalhamento se apresentam como

$$\sigma' = \frac{N_a}{\text{Área da base}} = \frac{\gamma LH \cos \beta}{\left(\frac{L}{\cos \beta} \right)} = \gamma H \cos^2 \beta$$

(6)

$$\tau = \frac{T_a}{\text{Área da base}} = \frac{\gamma LH \text{ sen } \beta}{\left(\frac{L}{\cos \beta} \right)} = \gamma H \cos \beta \text{ sen } \beta$$

(7)

4.4.1. Influência do tipo e condição do solo

De modo geral, os solos são compostos particulados variados que apresentam cada um diferentes propriedades geotécnicas, como coesão, ângulo de atrito e permeabilidade. Tais propriedades, são as componentes de estudo referentes às características resistivas e hidráulicas do material.

Para efeito de validação das afirmações anteriores, destaca-se um estudo realizado por Yang e Chen (2019), que investigaram a estabilidade de um talude de solo residual em Taiwan, considerando diferentes tipologias de solo. Os resultados expuseram efetivamente que o tipo de solo teve um impacto significativo no fator de segurança do talude, com solos mais coesivos apresentando maior resistência ao cisalhamento e, portanto, maior estabilidade. Outro trabalho no mesmo país, dos autores Wu e Wu (2021), adotou a mesma temática de estudo, porém, com um talude composto por solos não saturados.

É fato que os taludes são compostos não por um, mas por vários materiais, contudo as descrições a seguir consideram o solo como um componente final e formador de tais taludes. Haja visto que a permeabilidade do talude é um dos fatores de impacto na estabilidade do mesmo, tem-se o caso em que a poropressão é nula, onde o fator de segurança pode ser considerado em relação a uma possível falha no talude ao longo do plano AB, que está localizado a uma profundidade H abaixo da superfície do solo. Essa falha pode ocorrer devido ao deslocamento do solo acima do plano AB, da direita para a esquerda (BRAJA DAS, 2017).

Segundo Braja Das, adotando um elemento de talude de comprimento específico perpendicular ao plano da seção indicada na Figura 5. As forças F , que agem nas faces ab e cd são iguais e contrárias e podem ser ignoradas. Desta forma, o movimento potencial estabelecido por responsabilidade especificamente do solo, tem relação com o peso do elemento aglomerado, que é representado por

$$W = (\text{Volume de elemento de solo}) \times (\text{Peso específico de solo}) = \gamma LH \quad (8)$$

De acordo com Braja Das (2017) para o vetor delegado ao peso W existe um vetor R de força igual e oposta, como observado no detalhamento da Figura 5.

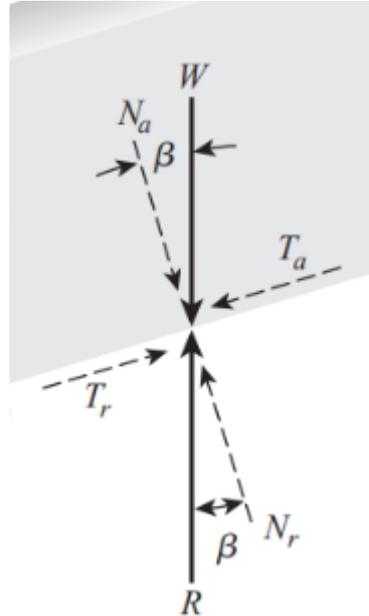


Figura 5 - Detalhamento para a força peso W e sua resultante R .

Fonte: Braja Das (2017).

Os componentes normal e tangencial de R com relação ao plano AB são

$$N_r = R \cos \beta = W \cos \beta \quad (9)$$

$$T_r = R \sen \beta = W \sen \beta \quad (10)$$

Substituindo a equação (6) na (2), obtém-se

$$\tau_d = c'_d + \gamma H \cos^2 \beta \operatorname{tg} \phi'_d \quad (11)$$

Sendo assim,

$$\frac{c'_d}{\gamma H} = \text{sen } \beta \cos \beta - \cos^2 \beta \text{tg } \phi'_d \quad (12)$$

Definindo o fator de segurança por meio da relação com as resistências apresentadas na equação (5), obtém-se

$$F_s = \frac{c'}{\gamma H \cos^2 \beta \text{tg } \beta} + \frac{\text{tg } \phi'}{\text{tg } \beta} \quad (13)$$

Neste sentido, quando admite-se empiricamente que o talude estudado possui solos granulares, ou seja, coesão nula, o fator de segurança automaticamente se torna igual a $(\text{tg } \phi' / \text{tg } \beta)$. Isso significa que, em uma inclinação infinita na areia, o valor de F_s independe da altura H e a inclinação permanece estável desde que $\beta \leq \phi'$. Caso o solo apresente coesão e atrito, é possível determinar a profundidade do plano ao longo do qual ocorre o equilíbrio crítico, substituindo $F_s = 1$ e $H = H_{cr}$ na equação (13). Dessa forma, é possível obter essa informação.

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma \cos^2 \beta (\text{tg } \beta - \text{tg } \phi')} \quad (14)$$

4.4.2. Influência do nível de água

A figura 6 representa um talude infinito, supondo que haja percolação de água no solo e que o nível freático esteja em coincidência com a superfície do solo. A resistência do cisalhamento do solo é dada por:

$$\tau_f = c' + \sigma' \text{tg } \phi' \quad (15)$$

Para calcular o fator de segurança contra a ruptura ao longo do plano AB, é necessário considerar o elemento inclinado abcd. As forças atuantes nas faces verticais ab e cd são equivalentes e opostas. O peso total do elemento inclinado de comprimento específico é:

$$W = \gamma_{\text{sat}} LH$$

(16)

onde γ_{sat} = peso específico do solo saturado.

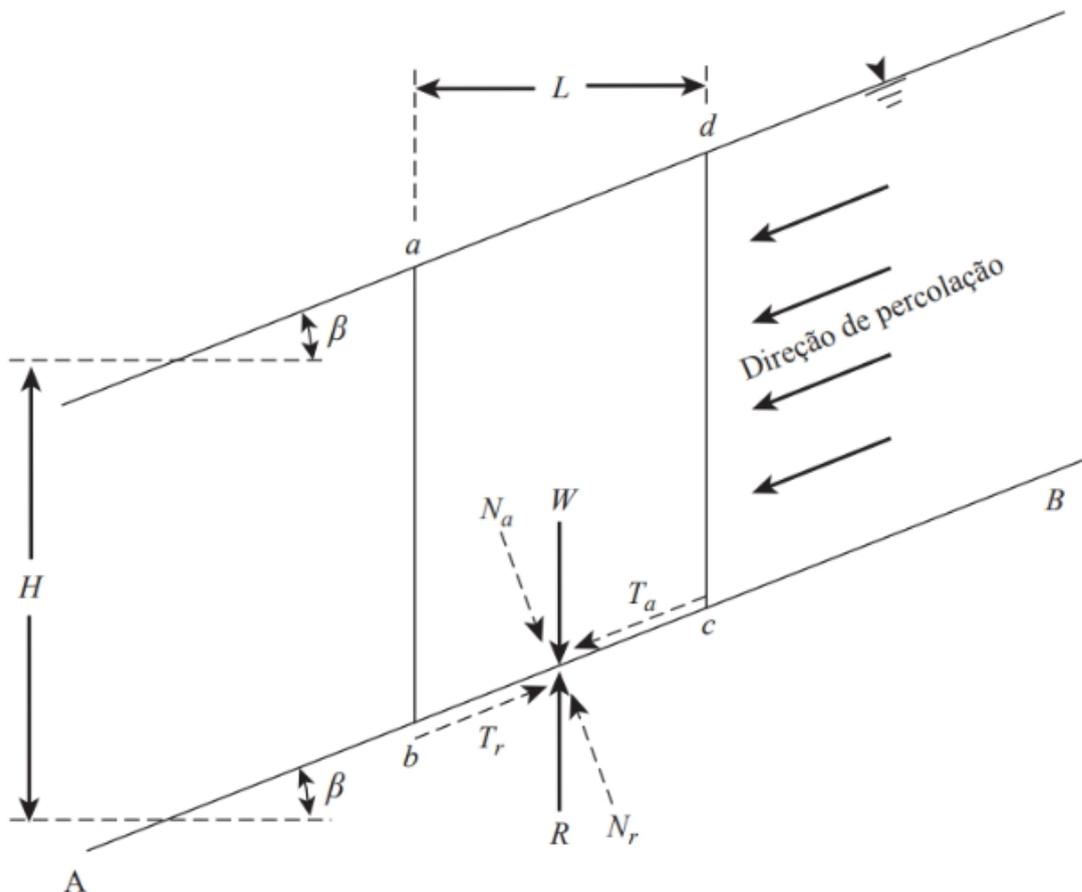


Figura 6 - Análise do talude infinito (com percolação)

Fonte: Braja Das (2017).

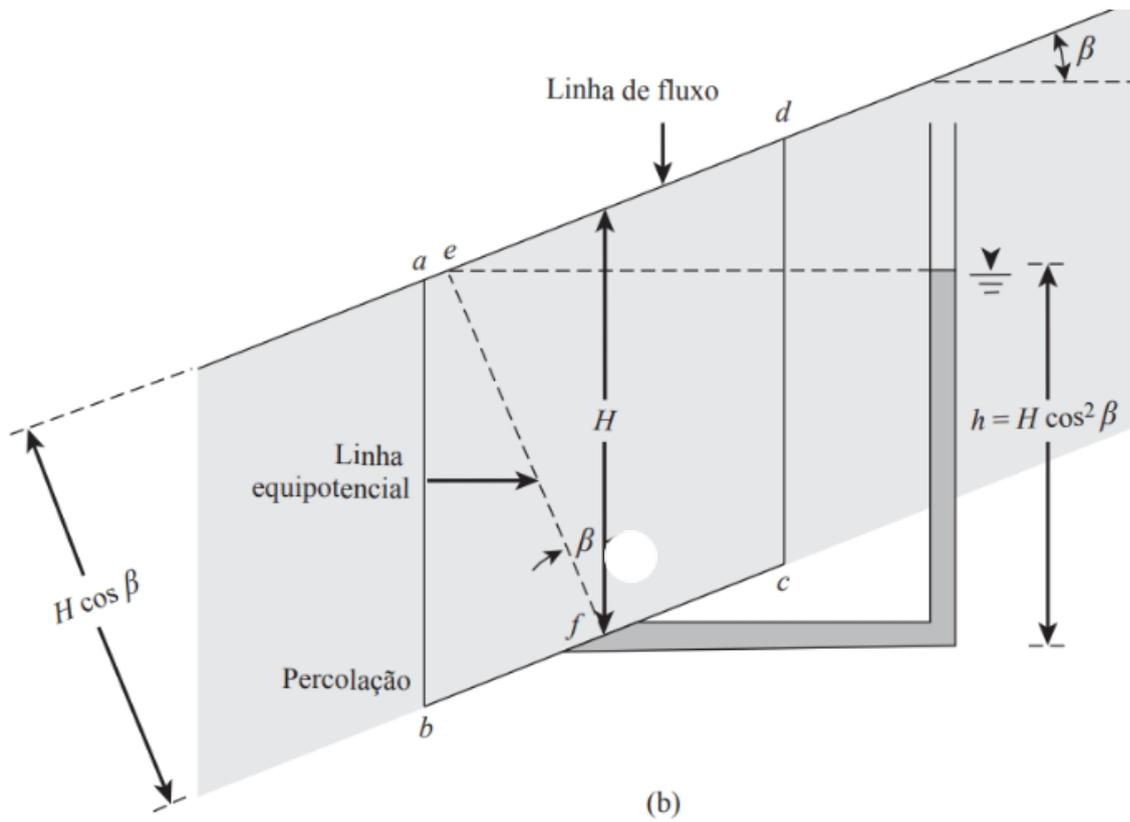


Figura 7 - Análise do talude infinito (com percolação)

Fonte: Braja Das (2017).

Como apresentado na Figura 6, as componentes de W nas direções normal e paralela ao plano AB são:

$$N_a = W \cos \beta = \gamma_{\text{sat}} LH \cos \beta$$

$$T_a = W \sin \beta = \gamma_{\text{sat}} LH \sin \beta$$

(17); (18)

A reação ao peso W é igual a R . Logo:

$$N_r = R \cos \beta = W \cos \beta = \gamma_{\text{sat}} LH \cos \beta$$

$$T_r = R \sin \beta = W \sin \beta = \gamma_{\text{sat}} LH \sin \beta$$

(19); (20)

A tensão normal total e a tensão ao cisalhamento na base do elemento são, respectivamente:

$$\sigma = \frac{N_r}{\left(\frac{L}{\cos \beta}\right)} = \gamma_{\text{sat}} H \cos^2 \beta$$

$$\tau = \frac{T_r}{\left(\frac{L}{\cos \beta}\right)} = \gamma_{\text{sat}} H \cos \beta \sin \beta$$
(21)

A tensão resistente ao cisalhamento desenvolvida na base do elemento também pode ser dada por:

$$\tau_d = c'_d + \sigma' \operatorname{tg} \phi'_d = c'_d + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi'_d$$
(22)

Onde u = poropressão.

Consultando a Figura 7 vemos que:

$$u = (\text{Altura de água no piezômetro colocado em } f)(\gamma_w) = h\gamma_w$$
(23)

Logo:

$$u = \gamma_w H \cos^2 \beta$$
(24)

Substituindo os valores de σ e u , obteremos:

$$\begin{aligned} \tau_d &= c'_d + (\gamma_{\text{sat}} H \cos^2 \beta - \gamma_w H \cos^2 \beta) \operatorname{tg} \phi'_d \\ &= c'_d + \gamma' H \cos^2 \beta \operatorname{tg} \phi'_d \end{aligned}$$
(25)

Igualando os dois lados da equação temos:

$$\gamma_{\text{sat}} H \cos \beta \sin \beta = c'_d + \gamma' H \cos^2 \beta \operatorname{tg} \phi'_d$$

$$\frac{c'_d}{\gamma_{\text{sat}} H} = \cos^2 \beta \left(\operatorname{tg} \beta - \frac{\gamma'}{\gamma_{\text{sat}}} \operatorname{tg} \phi'_d \right)$$

(26)

Onde $\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$ = peso específico efetivo do solo.

O fator de segurança com relação à resistência pode ser encontrado substituindo

$$\operatorname{tg} \phi'_d = (\operatorname{tg} \phi') / F_s \text{ e } c'_d = c' / F_s$$

(27)

na equação ou pela fórmula:

$$F_s = \frac{c'}{\gamma_{\text{sat}} H \cos^2 \beta \operatorname{tg} \beta} + \frac{\gamma' \operatorname{tg} \phi'}{\gamma_{\text{sat}} \operatorname{tg} \beta}$$

(28)

4.5. Programação Web

4.5.1. HTML, JavaScript e CSS

Segundo Alves (2021), existe uma linguagem responsável pela criação das páginas online, esta linguagem é denominada HTML (HyperText Markup Language, em português Linguagem de Marcação de Hipertexto), a ferramenta é capaz de executar os comandos necessários para a formatação da página web produzida. A formatação é feita por meio dos marcadores, conhecidos como tags, e podem ser utilizadas para a formatação de textos, imagens ou qualquer outro objeto que faça parte da estrutura de um documento. Atualmente a linguagem está na sua quinta versão. Teruel (2014), disserta que “a validação automática de campos de entrada de e-mail, valores numéricos, datas, URL etc. é sem dúvida a principal inovação da HTML5 no que diz respeito à criação de formulários”. A inserção de um elemento na linguagem HTML é demonstrada na Figura 8 a seguir.



Figura 8 - Sintaxe

Fonte: Alves (2021).

A Figura 8 indica como foi elaborada a estrutura dos documentos em HTML, ela consiste em caixas de textos que podem ser escritas e editadas até mesmo em aplicativos externos. Cada uma das seções é destinada a abrigar um tipo específico de conteúdo. Para criar um documento HTML válido, é necessário utilizar as tags <html> e </html>. As tags <head> e </head> são usadas para identificar a seção de cabeçalho do documento, que pode conter informações como o texto a ser exibido na barra de títulos do navegador e metadados para mecanismos de busca. Por fim, as tags <body> e </body> são usadas para definir o corpo do documento HTML, onde o conteúdo a ser exibido no monitor é localizado (ALVES, 2021).

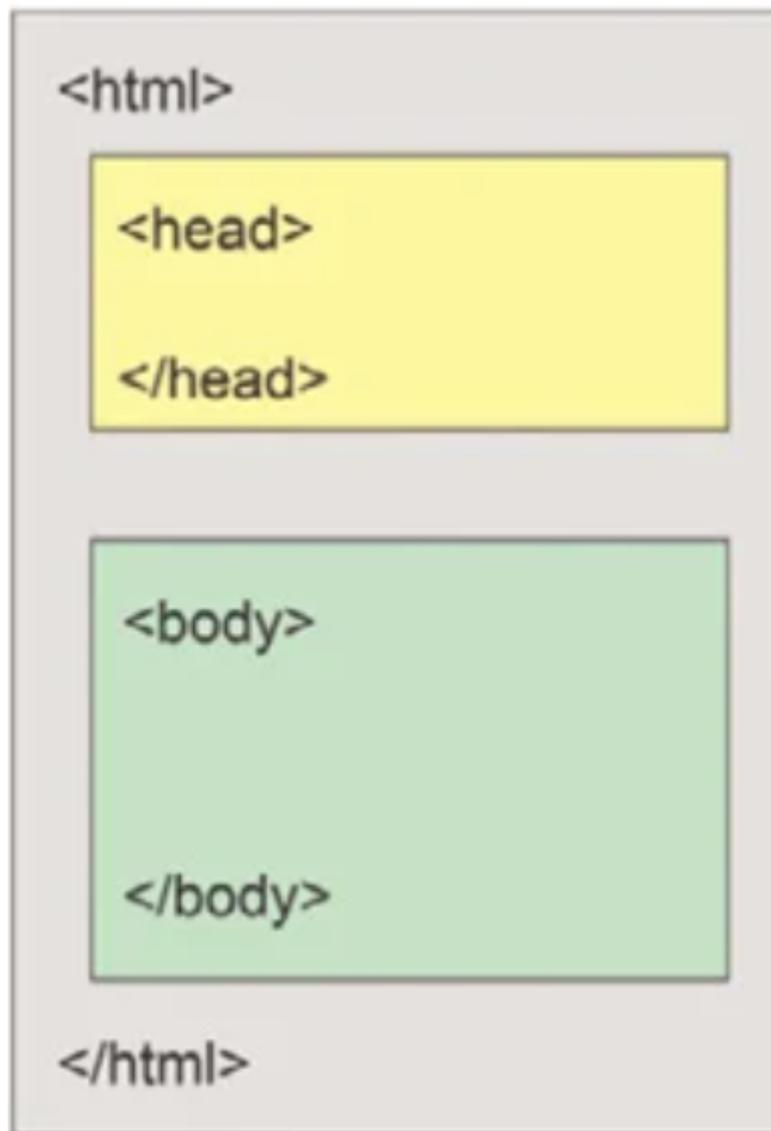


Figura 9 - Estrutura básica de um documento em HTML.

Fonte: Alves (2021).

Além das estruturas de edição, a linguagem possui componentes a exemplo dos formulários que são os responsáveis pela gestão das parcelas da página que possuem elementos de controles como campos de texto, botões, caixas de seleção ou de combinação, listas etc., para permitir a interação do usuário com o site (TERUEL, 2014).

Um dos recursos mais comuns dos documentos HTML são os formulários, que permitem a interação do usuário ao fornecer dados de entrada que podem ser enviados para o servidor para processamento imediato ou posterior. Isso pode incluir desde o armazenamento desses dados em um banco de dados até a realização de consultas que retornem informações personalizadas.

De acordo com Alves (2021), as principais ferramentas que o desenvolvedor web possui são a linguagem HTML5 e as folhas de estilo CSS3. Ademais, as folhas de estilo CSS3 são utilizadas para aprimorar e otimizar o visual e layout da página produzida. Com elas é possível criar menus de opções, bordas com cantos arredondados, botões e efeitos especiais em imagens. A combinação de HTML5 e CSS3 compõem mais da metade do código de uma página web.

A contribuição do CSS para o produto final e para a manutenção do mesmo permite que, além de recursos de formatação mais avançados, a ferramenta possa ser reutilizada e qualquer que seja o documento em HTML. Ademais, todas as páginas que adotam o HTML são atualizadas automaticamente.

É possível considerar que o CSS é responsável por definir a aparência visual do conteúdo de um documento HTML para os usuários, ao invés de dizer o que deve ser exibido. Diferentemente de linguagens de programação, o CSS não contém comandos para execução de operações, mas sim regras de formatação que são associadas aos diversos elementos de uma página HTML. As regras do CSS possuem sua própria sintaxe e são escritas de forma a permitir a personalização de vários aspectos visuais da página, incluindo cores, fontes, tamanhos e posições de elementos na tela (ALVES, 2021). A Figura 10 a seguir, demonstra como é feita a sintaxe de cada uma das regras estipuladas no programa.



Figura 10 - Sintaxe das regras no CSS.

Fonte: Alves (2021).

A linguagem CSS também é responsável por conseguir uma estrutura "responsive", o que quer dizer, que os códigos são capazes de tornar a interface adaptável a telas de tamanho diferente, como as de um celular e um desktop, sem a carecer de alguma mudança no código.

Flanagan (2013) contribui com o estudo dos autores citados anteriormente, contemplando a terceira linguagem de programação que encerra o conjunto computacional necessário para a produção da página web confeccionada. A linguagem em questão, é conhecida como

JavaScript, e segundo o autor a tríade de linguagens conecta a melhor capacidade individual de cada e estrutura a página web seguindo o um direcionamento onde, o HTML é responsável pela identificação dos conteúdos das páginas Web, o CSS compreende as especificações e apresentações mecânicas e visuais das páginas e o JavaScript coordena e especifica o comportamento delas.

O JavaScript é a linguagem de programação mais amplamente utilizada para a criação de scripts em páginas da web, devido sua capacidade efetiva de criar páginas interativas e dinâmicas. Esta ferramenta de programação permite que os desenvolvedores criem recursos que respondem a eventos de usuário, verifiquem formulários e alterem o conteúdo da página sem precisar recarregá-la (DUCKETT, 2014).

4.5.2. Interface web como ferramenta computacional para avaliação da estabilização de taludes

Fazaeli et al. (2019) compararam os resultados da análise de estabilidade de um talude com e sem o uso de ferramentas computacionais. Os resultados mostraram que as ferramentas computacionais forneceram resultados mais precisos e confiáveis, além de permitirem a realização de análises mais complexas, quando faz-se necessária a consideração de externos valores, coeficientes e variáveis que se distinguem umas das outras. Aspecto importante que merece ser comentado evidenciando a possibilidade de implementação dos recursos computacionais como ferramenta auxiliar nas análises de estabilidade de taludes. Estudos como o de Fazaeli et al. (2019) se apoiam no ainda crescente movimento de desenvolvimento da informática de sistemas. No campo da engenharia de estabilidades, os métodos de análise tornaram-se cada vez mais disponíveis na rede online através de softwares, difundindo o cenário computacional fomentado pela disseminação e procura da automatização do trabalho provenientes do uso das linguagens de programação (GOMES, 2003).

Augusto Filho & Virgili (1998) ressaltam que, embora a ferramenta computacional seja quase que imprescindível, a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos nas análises de estabilidade de taludes são diretamente proporcionais tanto a coerência na inserção dos parâmetros de entrada nos softwares quanto o prévio conhecimento das condições das condições do material objeto de estudo. A ferramenta computacional nada mais do que cumpre o papel de sistematizar a resolução de cálculo para avaliação da estabilidade, o contexto e teoria por trás do problema ainda é responsabilidade do usuário.

5. METODOLOGIA

5.1. Caracterização do talude modelo

A Figura 11 a seguir demonstra o seguimento das etapas apresentadas posteriormente descritas neste tópico.

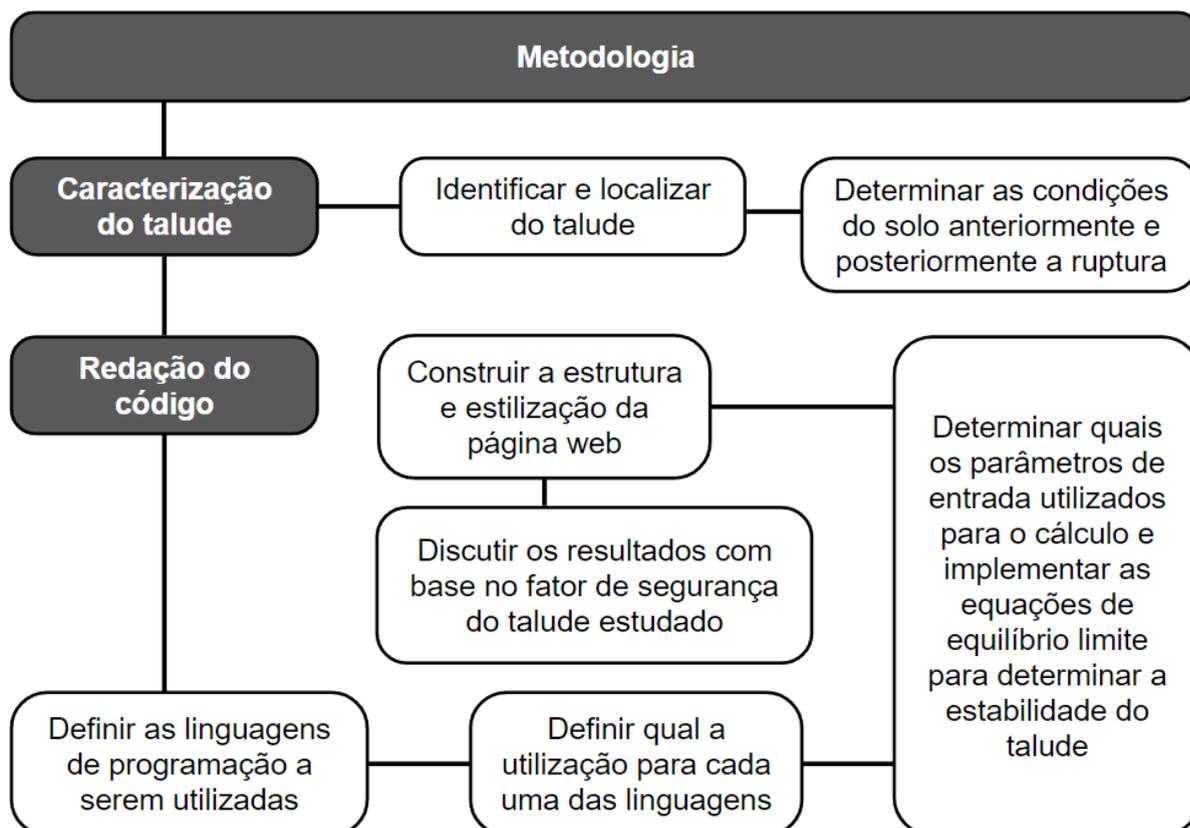


Figura 11 - Descrição das etapas da metodologia.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

5.1.1. Localização

Os taludes e materiais apresentados neste estudo estão localizados no terreno compreendido pelo empreendimento Reassentamento de Paracatu de Baixo. Por ser uma obra de cunho social, as empresas proprietárias das informações apresentadas neste estudo não serão mencionadas, preservando o sigilo estabelecido para o compartilhamento de informações referentes às atividades e serviços feitos dentro dos limites do empreendimento.

5.1.2. Condições do talude

Os taludes em questão serão os objetos de estudo para a aplicação da interface produzida. Foram realizados ensaios laboratoriais com amostras compostas por maciços de solo retirados dos taludes elencados. Em seu levantamento inicial, foi diagnosticado quais as tipologias de solo para cada uma das amostras, assim como o logradouro e local de retirada, como identificado no Quadro 4 abaixo.

<u>AM</u>	<u>REG. SOLOCAP</u>	<u>MATERIAL</u>	<u>LOCAL/FORNECEDOR/</u>	<u>PROCEDÊNCIA</u>					
			<u>PRODUTOR</u>	<u>FURO</u>	<u>ESTACA</u>	<u>POS.</u>	<u>COLETA</u>	<u>COORDENADAS REAL</u>	
1	261	SILTE ROSA	RUA SANTO ANTÔNIO	1	01+10	LD	CRISTA DO TALUDE	7751371,00	684641
2	262	SILTE ROSA	RUA SANTO ANTÔNIO	2	01+10	LD	PÉ DO TALUDE	7751386,00	683634
3	263	SILTE AMARELO	RUA MONSENHOR HORTA	3	89+10	LE	CRISTA DO TALUDE	7751368,00	684297
4	264	SILTE ROSA	RUA MONSENHOR HORTA	4	30+10	LE	CRISTA DO TALUDE	7752228,00	684101
5	265	ARGILA SILTOSA VERMELHA	RUA MONSENHOR HORTA	5	30+10	LE	PÉ DO TALUDE	7752235,00	684104
6	266	SILTE ROSA	RUA 4	6	14+10	LD	CRISTA DO TALUDE	7752510,00	683432

Quadro 4 - Amostras retiradas do talude rompido.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

O primeiro talude a ser alvo dos estudos com a interface será o referente às amostras 1 e 2, que basicamente possuem sua estrutura composta por silte rosa. Por sobre a superfície do talude, foi realizada a construção de uma via juntamente com um equipamento para retorno de veículos, como observado na Figura 12 abaixo.



Figura 12 - Contexto do talude objeto de estudo.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

Contudo, no ano de 2020, a obra colapsou apresentando trincas com mais de 80 centímetros de profundidade, tais trincas podem ser observadas no acervo de Figuras 13 a 18 apresentadas a seguir.



Figura 13 - Profundidade da trinca na via.

Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 14 - Trincas na via.
Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 15 - Profundidade da trinca na via.

Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 16 - Profundidade da trinca na via.

Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 17 - Trincas na via.

Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 18 - Espaçamento da trinca na via.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

Deste modo, retirou-se do talude as amostras 1 e 2 supracitadas, os locais de retirada variaram entre a crista e o pé do talude, como observado nas Figuras 19 a 22 a seguir.



Figura 19 - Abertura do local de retirada de amostra para ensaio.

Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 20 - Detalhamento do local de retirada de amostra para ensaio.

Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 21 - Vista ampliada do local de retirada.
Fonte: Acervo pessoal (2023).



Figura 22 - Vista frontal inferior do talude em estudo.
Fonte: Acervo pessoal (2023).

Feitas as retiradas, os materiais foram finalmente levados para laboratório a fim de ensaiar-los quanto a resistência ao cisalhamento, por ensaio de cisalhamento direto lento e natural, como observado na Figura 23. Os dados obtidos serão utilizados como parâmetros de cálculo na interface gráfica proposta neste estudo. A título de exemplo, os resultados apresentados pela amostra 1, são identificados nas Figuras 24, 25 e 26.

ORD	ENSAIOS	MÉTODO	AMOSTRA	QTD
1	CISLHAMENTO DIRETO LENTO E NATURAL	ASTM D3080 M 11	1-6	6

Figura 23 - Ensaio aplicado às amostras do talude.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

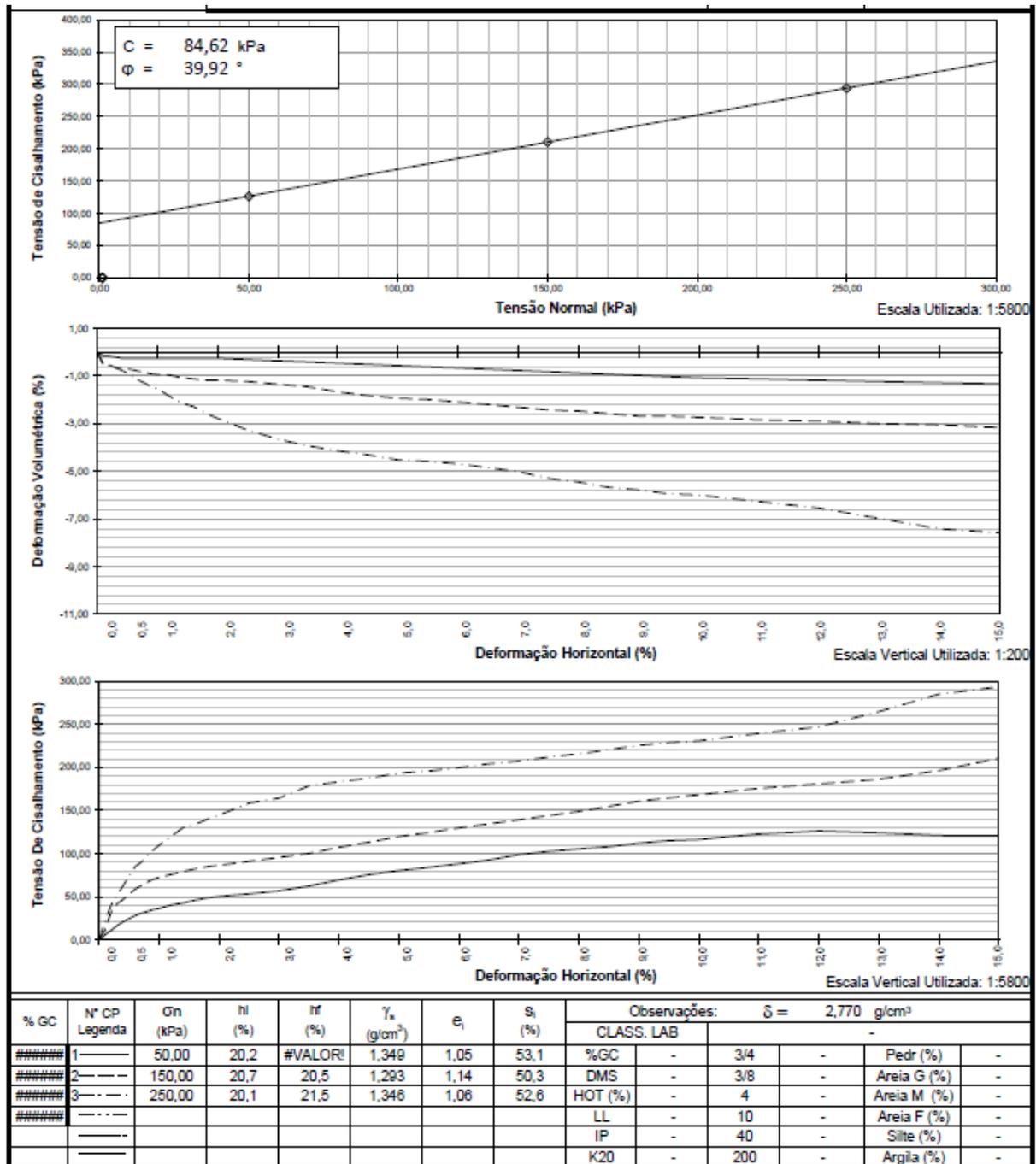


Figura 24 - Ensaio de cisalhamento direto - Tensão / Deformação.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

CARACTERÍSTICAS DO CORPO-DE-PROVA										
Largura	mm	100,00		Teor de Umidade		Antes			Após	
Altura	mm	20,00	19,49							
Área	cm ²	100,000	100,00	Cápsula	n ^o .	T13	T39	T32	61	
Volume	cm ³	200,000	194,90	Solo Úmido + Tara	g	36,38	31,65	35,81	404,60	
Peso Úmido	g	324,25		Solo Seco + Tara	g	31,84	27,91	31,45	351,20	
Índice de Vazios	-	1,05	1,00	Tara	g	9,53	9,26	9,86		
Saturação	%	53,1		Água	g	4,54	3,74	4,36	53,40	
Dens. Úmida	g/cm ³	1,621		Solo Seco	g	22,31	18,65	21,59	#VALOR!	
Dens. Real dos Grãos	g/cm ³	2,770		Umidade	%	20,3	20,1	20,2	#VALOR!	
Dens. Aparente Seca	g/cm ³	1,349		Média	%	20,2			#VALOR!	
Corpo-de-Prova	n ^o .	1	Célula de Carga	n ^o .	02			Velocidade de Cisalhamento:		
Molde	n ^o .	2	Constante do Anel	-	1			0,042 mm/min		
ROMPIMENTO										
Leit. Ext. (mm)	ε (%)	Δh		ΔV (cm ³)	εV (%)	A _c (cm ²)	T		τ (kPa)	τ σ
		(Leitura)	(mm)				(Leitura)	(kgf)		
0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	100,00	0,0	0,00	0,00	-
0,10	0,10	0,54	0,03	-0,30	-0,15	99,90	5,9	5,90	5,79	8,63
0,20	0,20	0,54	0,03	-0,30	-0,15	99,80	11,0	11,00	10,81	4,63
0,30	0,30	0,55	0,04	-0,40	-0,21	99,70	16,8	16,80	16,52	3,03
0,40	0,40	0,56	0,05	-0,50	-0,26	99,60	21,1	21,10	20,78	2,41
0,50	0,50	0,56	0,05	-0,50	-0,26	99,50	24,8	24,80	24,44	2,05
0,60	0,60	0,56	0,05	-0,50	-0,26	99,40	28,4	28,40	28,02	1,78
0,70	0,70	0,56	0,05	-0,50	-0,26	99,30	31,0	31,00	30,61	1,63
0,80	0,80	0,56	0,05	-0,50	-0,26	99,20	33,0	33,00	32,62	1,53
0,90	0,90	0,56	0,05	-0,50	-0,26	99,10	35,4	35,40	35,03	1,43
1,00	1,00	0,56	0,05	-0,50	-0,26	99,00	36,7	36,70	36,35	1,38
1,20	1,20	0,56	0,05	-0,50	-0,26	98,80	40,5	40,50	40,20	1,24
1,40	1,40	0,56	0,05	-0,50	-0,26	98,60	43,0	43,00	42,77	1,17
1,60	1,60	0,56	0,05	-0,50	-0,26	98,40	45,9	45,90	45,74	1,09
1,80	1,80	0,56	0,05	-0,50	-0,26	98,20	48,6	48,60	48,53	1,03
2,00	2,00	0,56	0,05	-0,50	-0,26	98,00	50,2	50,20	50,23	1,00
2,50	2,50	0,57	0,06	-0,60	-0,31	97,50	53,0	53,00	53,31	0,94
3,00	3,00	0,58	0,07	-0,70	-0,36	97,00	56,1	56,10	56,72	0,88
3,50	3,50	0,59	0,08	-0,80	-0,41	96,50	61,2	61,20	62,19	0,80
4,00	4,00	0,60	0,09	-0,90	-0,46	96,00	68,0	68,00	69,46	0,72
4,50	4,50	0,61	0,10	-1,00	-0,51	95,50	73,5	73,50	75,48	0,66
5,00	5,00	0,62	0,11	-1,10	-0,56	95,00	77,7	77,70	80,21	0,62
5,50	5,50	0,63	0,12	-1,20	-0,62	94,50	80,8	80,80	83,85	0,60
6,00	6,00	0,64	0,13	-1,30	-0,67	94,00	84,4	84,40	88,05	0,57
6,50	6,50	0,65	0,14	-1,40	-0,72	93,50	88,3	88,30	92,61	0,54
7,00	7,00	0,66	0,15	-1,50	-0,77	93,00	93,6	93,60	98,70	0,51
7,50	7,50	0,67	0,16	-1,60	-0,82	92,50	96,7	96,70	102,52	0,49
8,00	8,00	0,68	0,17	-1,70	-0,87	92,00	98,7	98,70	105,21	0,48
8,50	8,50	0,69	0,18	-1,80	-0,92	91,50	100,7	100,70	107,93	0,46
9,00	9,00	0,70	0,19	-1,90	-0,97	91,00	104,1	104,10	112,18	0,45
9,50	9,50	0,71	0,20	-2,00	-1,03	90,50	106,1	106,10	114,97	0,43
10,00	10,00	0,72	0,21	-2,10	-1,08	90,00	106,7	106,70	116,26	0,43
11,00	11,00	0,73	0,22	-2,20	-1,13	89,00	111,3	111,30	122,64	0,41
12,00	12,00	0,74	0,23	-2,30	-1,18	88,00	113,3	113,30	126,26	0,40
13,00	13,00	0,75	0,24	-2,40	-1,23	87,00	110,2	110,20	124,22	0,40
14,00	14,00	0,76	0,25	-2,50	-1,28	86,00	106,1	106,10	120,99	0,41
15,00	15,00	0,77	0,26	-2,60	-1,33	85,00	104,6	104,60	120,68	0,41

Figura 25 - Ensaio de cisalhamento direto - Rompimento.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

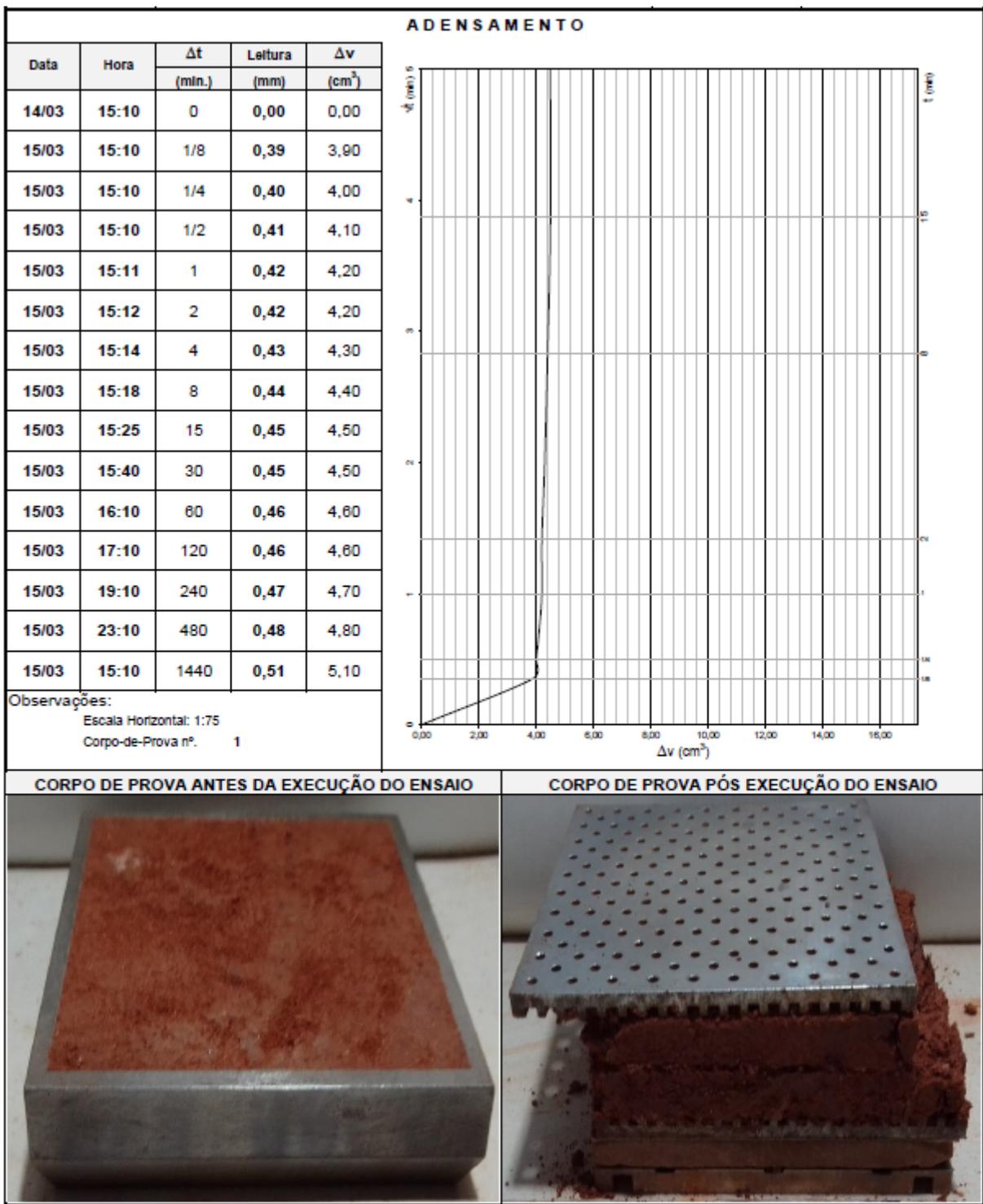


Figura 26 - Ensaio de adensamento.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

5.1.3. Proposta de planejamento após as análises geotécnicas

O estudo de caso com situações e tratativas reais no âmbito da estabilidade de taludes contribui progressivamente para o planejamento urbano. Estes estudos devem ser feitos com o maior número de casos possíveis, desta forma, espera-se formular um acervo comparativo que auxilie caso seja necessário avaliar uma potencial área de estudo que tenha parâmetros

semelhantes a algum caso já ocorrido. Um estudo de caso contribui para o planejamento urbano identificando os possíveis danos gerados pela estabilização de um talude que está próximo a ambientes construídos, ou até mesmo a identificação de áreas de risco, possibilitando que as autoridades tomem medidas preventivas, antes mesmo da iminência do rompimento. Portanto, o estudo contribui para o melhoramento da capacidade de ação preventiva no contexto urbano, algo imprescindível para que não seja necessário ocorrer um evento para que iniciativas sejam tomadas. Desta forma, a ferramenta auxiliará nas mudanças e adequações no planejamento e execução de obras, evitando assim o risco e mitigando a ocorrência de movimentação e colapso dos maciços de solo.

5.2. Redação do código

5.2.1. Estrutura geral do código

Basicamente a estrutura da página web será formada seguindo a formatação exposta no item “4.5.1.”. O HTML se apresenta como marcação textual, o CSS sendo a “tela de estilização” necessária para gerenciar o visual exposto na interface, e o JavaScript e/ou TypeScript sendo a parte responsável pela programação mais intensa, controlando as interações com o navegador e os cálculos matemáticos, incluindo equações, laços e condicionais.

Além da tríade de linguagens computacionais, o código contou com um outro conjunto de ferramentas, instrumentos nos quais é possível gerar uma facilitação no processo de desenvolvimento e manuseio do código, as ferramentas em questão são chamadas de *frameworks*. Os *frameworks*, são conjuntos de bibliotecas especialmente úteis na programação web, pois ajudam a lidar com desafios comuns, como a criação de interfaces de usuário, o gerenciamento de bancos de dados e o roteamento de solicitações do cliente. Existe uma extensa variedade de frameworks disponíveis, cada um com seus próprios recursos e benefícios.

Este estudo contou com o auxílio de uma destas bibliotecas, o Angular. A ferramenta Angular é um dos frameworks mais populares para o desenvolvimento de aplicativos web e mobile.

A respectiva linguagem foi desenvolvida pela Microsoft e inserida como um superconjunto sintático tipado de JavaScript, ou seja, a principal divergência entre estas linguagens é que o TypeScript aponta os erros de sintaxe durante a escrita da condicional, diferentemente do JavaScript que só revela a incoerência em código após a compilação dos dados escritos.

A escolha do angular se deve pela capacidade de abordagem baseada em componentes para a criação de interfaces de usuário. Isso significa que os desenvolvedores podem criar componentes reutilizáveis que podem ser facilmente adicionados a diferentes partes de um aplicativo. O Angular também possui uma poderosa ferramenta de linha de comando que ajuda a gerar componentes e projetos iniciais de apoio sem a necessidade de construir manualmente cada passo da estrutura do código esperado.

Ademais, a utilização do angular objetiva otimizar o processamento de transferência do código por trás do aplicativo, no caso o *BackEnd*, que será o setor da interface onde serão inseridas as fórmulas matemáticas por meio das linhas de código, para o *FrontEnd*, que é a página web em si. O Angular contribuirá para o desenvolvimento do *FrontEnd* do aplicativo facilitando essa linkagem dos dados matemáticos expressos nas linhas de código produzidas no *BackEnd*. Vale ressaltar que, os frameworks geralmente têm comunidades ativas que fornecem suporte e recursos para os desenvolvedores, algo de extrema utilidade no intuito de aprender melhores práticas de codificação, que contribuam para a produção da interface.

Desta forma, a estrutura base do código que trará a ligação entre as linguagens foi gerada pelo *framework*, sendo composta pelas componentes das três linguagens (HTML, CSS e TypeScript) abrindo caminho para a manipulação na página web nas linhas de código, como observado na Figura 27 abaixo.

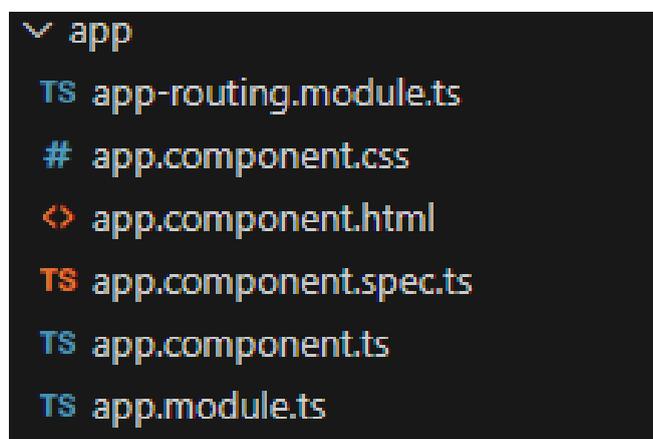


Figura 27 - Componentes do aplicativo.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Construção da IGU

6.2.1. Implementação das equações constitutivas

A fase inicial da produção da interface será referente a etapa de inserção das equações constitutivas nas linhas de código. De modo geral, todas as demonstrações e ocasionalidades expostas nos itens “4.3” e “4.4”, serão inseridas visando compreender o máximo acervo matemático possível na análise de estabilidade de taludes infinitos. Como as equações são fatores conceituais fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, a formação do código que abriga tais equações será descrita neste subtópico.

Como supracitado, o BackEnd, ou seja, as equações para cálculo do fator de segurança por equilíbrio limite, foram transcritas nas linhas de código da componente em TypeScript. Tais linhas de código podem ser observadas no Anexo 1 apresentado ao final do texto. Este Anexo será responsável por direcionar o processo de montagem do código demonstrado a seguir.

Tendo o Angular como suporte de comunicação entre as linguagens, o projeto se inicia declarando o “export”, como observado na linha 10, esta declaração serve para criar uma variável, inicialmente atribuindo valor estabelecido ou indefinido a ela, para que posteriormente o usuário atribua os valores que necessitar a cada uma dessas variáveis na página, e já exista uma variável correspondente no BackEnd.

As variáveis são denominadas da seguinte forma:

coesão = “*coesao*”

ângulo de atrito = “*anguloA*”

densidade do solo = “*y*”

inclinação do talude = “*beta*”

altura = “*H*”

densidade saturada = “*ysat*”

porcentagem do nível freático = “*nf*”

As demais variáveis presentes não são inseridas pelo usuário.

Entre as linhas 28 e 38 está alocada a função “Limpar”, responsável por fazer com que o usuário possa apagar os valores inseridos mais rapidamente.

A partir da linha 40, está descrita a função “EstT”, função guia para os cálculos do fator de segurança. Na linha 50 e 51, já dentro da função, é realizada a transformação do valor inserido

em radianos referente ao ângulo de atrito e a inclinação do talude para graus, adequando a unidade correta da equação.

Como já citado no presente trabalho, existem alterações nas equações com base na condição saturada do talude. Neste sentido, a condicional principal para as equações no BackEnd foi se o talude possui ou não percolação de água. Caso o talude esteja na condição seca, adotaria uma equação para cálculo do FS, caso contrário, o talude teria seu FS calculado com base em mais dois parâmetros, a densidade específica do solo na condição saturada e o nível freático. A Figura 28 apresenta tal condicionante, observada também na linha 53, onde se “ysat” continuar como com valor igual a 0 (valor atribuído a ela no início do código, linha 25), o código fará o cálculo do fator de segurança de acordo com as equações descritas entre as linhas 54 e 75 (equação para talude com nível freático igual a 0).

```
if(this.ysat == 0){
```

Figura 28 - Condicionante para diferenciação das equações de FS.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

O usuário indicando que há percolação no talude em que ele se refere, o programa possibilita que o mesmo insira novos valores para a densidade do solo saturado (ysat), alterando o valor da variável, não mais sendo 0 como pré definido. Neste contexto, IGU calcula a estabilidade por meio das equações descritas entre as linhas 78 e 99, equações para solo com presença de água. Nesta etapa a IGU também atribui novo valor para a variável referente ao nível freático.

Nas linhas referente as equações aparecem alguns comentários, inclusive referentes a equações que não serão utilizadas para o estudo de caso deste trabalho, contudo, podem também ser utilizadas para cálculo de FS em diferentes contextos.

6.2.2. Linhas de código FrontEnd

Uma vez finalizadas as equações, foi desenvolvida a componente em HTML, que apresentaria as informações na tela da página, ou seja uma das duas bases para o FrontEnd. Além da apresentação na tela das imagens e textos, o código nesta linguagem promoveu a interação do usuário com a interface, principalmente pelos “inputs”, responsáveis pela inserção dos valores numéricos dos parâmetros que posteriormente seriam admitidos no cálculo do FS. Como demonstrado no referencial teórico, os parâmetros base para o cálculo do FS por equilíbrio limite são a coesão e o ângulo de atrito, contudo, para compor a equação existem outros

fatores físicos do talude estudado. Estes fatores, como a altura e a inclinação do talude serão obtidos também através dos Inputs no HTML.

Na Figura 29 abaixo, é possível identificar todos os parâmetros com exigida inserção pelo usuário.

```
<h3 class="teste">VARIÁVEIS</h3>
<h3>Coesão (kgf/cm2):
<input [(ngModel)]="coesao" type="number" name="txtcoesao" id="txtcoesao" min="0" placeholder="Insira o valor de acordo com a unidade descrita">
</h3>
<h3>Ângulo de atrito (o):
<input [(ngModel)]="anguloA" type="number" name="txtanguloA" id="txtanguloA" min="0" placeholder="Insira o valor de acordo com a unidade descrita">
</h3>
<h3>Densidade do solo (g/cm3):
<input [(ngModel)]="y" type="number" name="txty" id="txty" min="0" placeholder="Insira o valor de acordo com a unidade descrita">
</h3>
<h3>Inclinação do talude (o):
<input [(ngModel)]="beta" type="number" name="txtbeta" id="txtbeta" min="0" placeholder="Insira o valor de acordo com a unidade descrita">
</h3>
<h3>Altura da parcela (m):
<input [(ngModel)]="H" type="number" name="txtH" id="txtH" min="0" placeholder="Insira o valor de acordo com a unidade descrita">
```

Figura 29 - Inputs para obtenção dos parâmetros de cálculo.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

Por fim, na linguagem CSS foi formulada a estilização da página web com o resultado final observado na Figura 30.

VARIÁVEIS

Coesão (kgf/cm²):

Ângulo de atrito (o):

Densidade do solo (g/cm³):

Inclinação do talude (o):

Altura da parcela (m):

POSSUI PERCOLAÇÃO DE ÁGUA?

Sim
 Não

RESULTADO

Preencha corretamente o valor dos parâmetros indicados para obter o resultado do Fator de Segurança (FS)

Figura 30 - Página principal da IGU.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

6.2. Teste com o talude modelo

Finalizada a IGU, partimos para a análise de estabilidade com o talude escolhido para este estudo. A maioria dos dados se encontram no relatório de ensaio apresentado anteriormente, exceto a altura e a inclinação do talude. Desta forma, foi necessário extrair estes a partir do perfil topográfico do talude encontrado em arquivos CAD (Computer Aided Design) de direitos da empresa que monitora o terreno da cidade. Como estes arquivos são confidenciais, as Figuras 31 e 32 a seguir apresentam uma representação das medidas e silhueta do talude estudado, representação mais do que suficiente para atribuir valor numérico para a altura e inclinação do talude.

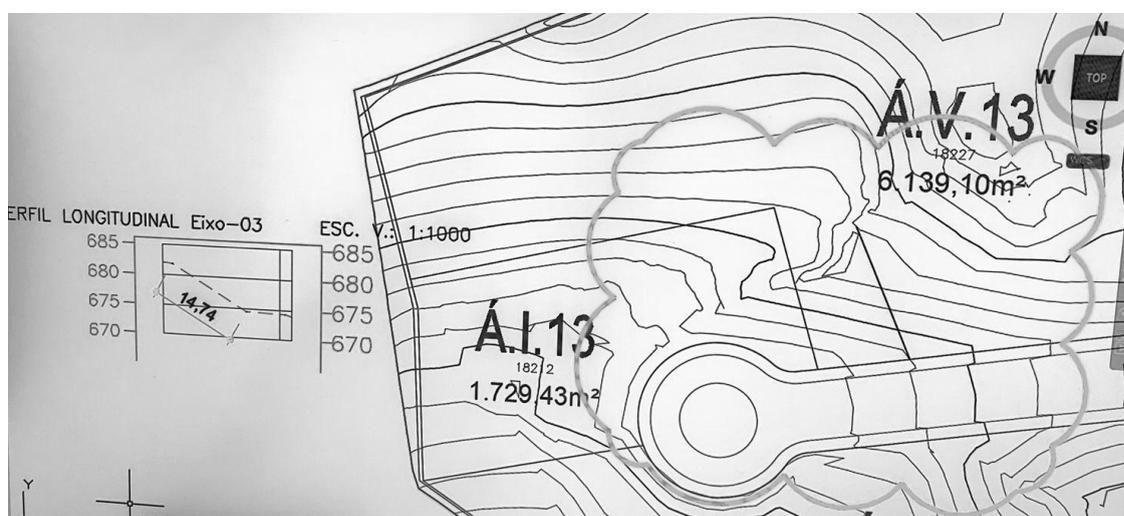


Figura 31 e 32 - Representação das dimensões do talude.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

Por meio da análise cartográfica, as medidas do talude foram alocadas como as medidas de um triângulo retângulo, desta forma a inclinação do mesmo pode ser encontrada, a representação das medidas pode ser observada na Figura 33 a seguir.

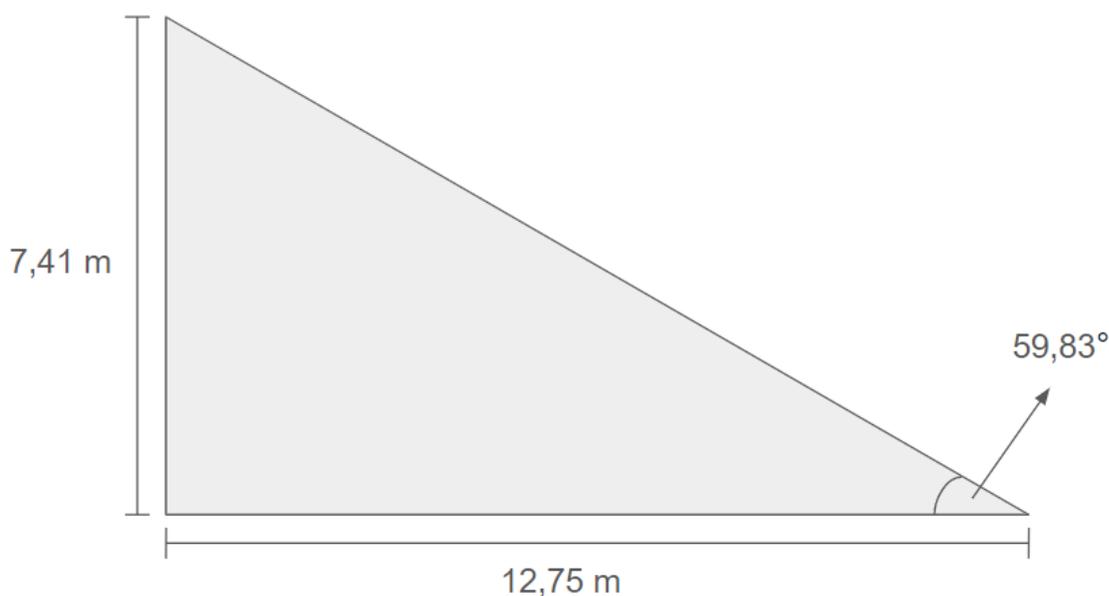


Figura 33 - Desenho da vista lateral do talude.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

Desta forma, todos os parâmetros necessários foram encontrados e são apresentados na Tabela 1 abaixo.

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
Coesão (kgf/cm²):	0,86	0,86	0,86
Ângulo de atrito (o):	39,92	39,92	39,92
Densidade do solo (g/cm³):	1,35	1,29	1,35
Inclinação do talude (o):	59,83	59,83	59,83
Altura da parcela (m):	7,41	7,41	7,41
Densidade do solo saturado (g/cm³):	1,62	1,56	1,62
Nível freático (%):	53,10	50,30	52,60

Tabela 1 - Valores de entrada nos parâmetros para cálculo do FS.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

Tendo os valores para as duas amostras, o próximo passo é inserir estes dados no programa para identificar a situação do talude, e entender se o resultado do FS condiz com a condição de ruptura apresentada pelo talude no período em que foram demandados os ensaios geotécnicos.

6.3. Fator de segurança

Nesta etapa, os valores supracitados foram inseridos simulando as duas realidades distintas para cada uma das amostras, uma representando o talude com o solo em estado seco, e outra com o solo em estado de saturação segundo a porcentagem do nível freático para cada uma delas. Aplicados os valores, A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos neste estudo para cada uma das amostras.

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA
FS (em estado seco)	1,07	1,10	1,08	1,08
FS (em estado de saturação)	0,49	0,50	0,49	0,50

Tabela 2 - Resultado para o FS do talude na condição seca e úmida.

Fonte: Acervo pessoal (2023).

6.4. Análise dos resultados

De forma geral, objetivando estudar o talude como um todo, vale adotar o valor médio entre os resultados das amostras como o resultado de referência. Deste modo, consideremos um talude com um fator de segurança de 1,08 quando seco. Este resultado significa que as forças que mantêm o talude em equilíbrio são apenas ligeiramente maiores do que as forças que poderiam levá-lo ao colapso. Em outras palavras, há uma margem relativamente pequena de segurança. Entretanto, a situação se torna ainda mais crítica quando o talude atinge uma altura para o nível freático em relação à espessura da camada de solo em torno de 51%, reduzindo drasticamente seu fator de segurança para 0,50 ocasionando em um sinal alarmante de instabilidade. Como citado na descrição do FS, o fator de segurança abaixo de 1 indica que as forças que tendem a causar o colapso do talude são muito maiores do que as forças que o mantêm em equilíbrio. Portanto, estes resultados demonstram que o talude de solo em estudo, quando submetido a presença e elevação do nível freático, fator que diminui a coesão em decorrência da elevação de pressão e redução da fricção entre as partículas do solo, muito provavelmente não resistirá aos esforços elevando a possibilidade de ruptura.

7. CONCLUSÃO

Nos resultados obtidos neste estudo, é nitidamente observável a importância do cálculo do fator de segurança na análise de equilíbrio limite para o planejamento urbano em regiões com grande presença de encostas e taludes. O papel desempenhado pelo planejamento e gestão territorial impacta diretamente no desenvolvimento das regiões urbanas. Sendo este planejamento indispensável. A ferramenta desenvolvida neste estudo abrange diversos aspectos como o monitoramento das áreas de riscos, a segurança dos indivíduos presentes na região estudada e a estruturação das cidades, direcionando e embasando previamente a viabilidade de se construir em um determinado espaço.

Em resumo, a análise detalhada do comportamento do talude sob diferentes condições revelou resultados significativos sobre sua estabilidade. A adoção do valor médio das amostras como referência mostrou que, quando o talude está seco, existe uma margem de segurança relativamente pequena, indicando que ele está à beira da instabilidade. A medida que o nível freático se eleva, neste talude que já possui suas forças estabilizadoras e desestabilizadoras praticamente em equilíbrio, este equilíbrio dá lugar a uma dominância significativa das forças desestabilizadoras.

Com o auxílio prévio da ferramenta desenvolvida seria possível identificar as condições do talude estudado, estabelecendo ações como por exemplo elaborar um reforço estrutural para a área de abrangência do talude. O processo de ruptura do talude poderia ser evitado anteriormente à execução da obra civil em seu topo caso houvesse a utilização da ferramenta, além de diagnosticar a expressiva condição vulnerável do solo quando submetido a elevação de seu nível freático e por consequência o processo de saturação do solo.

Vale ressaltar, como citado anteriormente, a estabilidade de taludes está intimamente ligada à segurança pública, a condição instável do talude estudado representa um risco significativo para o empreendimento como um todo. A condição apresentada pelo talude modelo também evidencia o extenso campo de atuação e utilização da própria interface web confeccionada nas atividades desenvolvidas na região, promovendo o levantamento quanto a estabilidade das encostas e taludes presentes naquele entorno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 11682: Estabilidade de Taludes, 1991.

ABNT NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 10 p.

ALMEIDA FILHO, R.; GUIMARÃES, R.F.; HAMADA, M. Análise do comportamento geotécnico de maciços de escorregamentos em encostas: influência do tipo de solo e da geometria do escorregamento. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, 11., 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS, 1999. p. 109-116.

ALVES, W. P. HTML e CSS: aprenda como construir páginas web [recurso eletrônico] / William Pereira Alves. – São Paulo : Expressa, 2021.

AUGUSTO FILHO, O. & VIRGILI, J. C. (1998), Geologia de Engenharia, Cap. 15, Estabilidade de Taludes, ABGE, São Paulo, p. 243-269.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Anais. Rio de Janeiro, 1992.

AUGUSTO FILHO, O. Movimentos de Massa em Encostas Naturais e Suas Relações com as Obras de Engenharia. 1992. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

BENDA, L.; DUNNE, T.; STORCHI, P. Dynamics of sediment yield in the northern California Coast Range: II. Landslides. Earth Surface Processes and Landforms, v. 28, p. 69-85, 2003.

BIGARELLA, J. J. (2003) Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. Florianópolis (SC): Ed. da UFSC, v. 3, p. 877-1436.

BRAJA DAS E KHALED SOBHAN. Fundamentos de Geotecnia, 8ª edição, São Paulo: Cengage Learning, 2017.

CARMIGNANI, Luigi; FIORI, Alberto Pio. Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas: aplicações na estabilidade de taludes. 2ª ed. rev. e ampl. – Curitiba: Ed. UFPR, 2009.

CARVALHO, P. A. S. (Coord.) Manual de Geotecnia – Taludes de Rodovias: Orientação para Diagnóstico e Soluções de Seus Problemas, Publicação IPT 1843, São Paulo, 410p, (1991).

CODUTO, Donald P. Geotechnical Engineering: Principles and Practices. New Jersey: Prentice Hall, 2010.

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL - CGI. Survey on the use of information and communication technologies in brazilian households: ICT households 2018 [livro eletrônico]. [S.l.]: Núcleo de Informação e Coordenação do Ponto BR, 2018.

CRAIG, R. F. (2004). Soil mechanics. CRC press.

CRUDEN, D. M. & VARNES, D. J. (1996). "Landslide Types and Processes * LANDSLIDES - Investigation and Mitigation. Transportation Research Board - National Research Council. USA. Vol. 1, pp. 36 - 75.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3 – Landslide types and processes. In: Transportation research board special report, n. 247, 1996.

DUCKETT, J. (2014). JavaScript e jQuery: desenvolvimento de interfaces web interativas. Bookman Editora.

DUTRA, V. A. de S. Projeto de estabilização de taludes e estruturas de contenção englobando dimensionamento geotécnico e estrutural. Monografia. 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013. 89f.

FAZAELI, H., GHASEMI, A., & BEHBAHANI, M. (2019). Evaluation of slope stability using numerical modeling and field measurements. Arabian Journal of Geosciences.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, L.C. Movimentos de massa em áreas urbanas: o caso do Jardim Botânico do Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., 1996, Salvador. Anais... Salvador: ABGE, 1996. p. 1-14.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, S.E. Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1996.

FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A. (1994) Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchannelled valleys - southeastern Brazil. Earth Surface Processes and Landforms, 19: 609-626.

FERNANDO AZEVEDO E CRISTIANE ALMEIDA. Manual de Engenharia de Taludes, São Paulo, 2013.

FILHO, C.L.; NUMMER, A.V. Introdução à geologia de engenharia. 4ª ed. UFSM, Santa Maria/RS. 392 p. 2011.

FIORI, A. P. Desenvolvimento de um Programa de Cálculo Automático de Estabilidade de Taludes pelo Método de Correia. Universidade do Porto (Portugal). 2010. 29111759.

FLANAGAN, D. (2013). JavaScript: O guia definitivo [versão eletrônica]. (J. E. N. Tortello, Tradutor, & L. Nedel, Revisora Técnica). 6ª ed. Porto Alegre: Bookman.

GEORIO. Manual Técnico de Encostas - Volume 1o, Rio de Janeiro, 1999.

GLADE, T. Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. Catena, v. 64, p. 33-44, 2005.

GODT, J.W.; COE, J.A. Peak discharge of catastrophic debris flows generated by the 1996–1997 storms in the Madre Mountains, southern California. Bulletin of the Geological Society of America, v. 119, p. 874-885, 2007.

GOMES, C. L. R. Retroanálise em estabilidade de taludes em solo: metodologia para obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento. Campinas, SP: [s.n.], 2003.

GRAMANI, M.F. Fluxos de detritos em encostas de primeira ordem na Serra do Mar (SP). Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

GUIDICINI, E. & NIEBLE, C. M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 170p, (1976).

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. Estabilidade de encostas: tipos e mecanismos de movimentos de massa. São Paulo: Editora Blucher, 1984.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Variação temporal do rastejo em diferentes tipos de materiais na região de Poços de Caldas, sul de Minas Gerais. Anais da 28ª Reunião Anual da SBG, 1984, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: SBG, 1984. v.1, p. 347-356.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. Flow-type landslides in Argentina. In: Senneset, K. (ed.). Landslides: proceedings of the fifth international symposium on landslides. Trondheim, Norway: Balkema, 1984. p. 697-702.

HARGREAVES, Felipe de Oliveira. Catálogo de Práticas de Acessibilidade: Um Apoio Online Voltado à Acessibilidade da Web. Brasília, DF, 2021.

HOLTZ, R. D., & KOVACS, W. D. (1981). An introduction to geotechnical engineering. Prentice-Hall.

HÜLLER, A. Gestão Ambiental nos Municípios: Instrumentos e experiências na Administração Pública. Santo Ângelo: Editora Furi, 2010.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Manual de estabilização de encostas. São Paulo: IPT, 1991.

LAMBE, T. W., & WHITMAN, R. V. (1969). Soil mechanics. John Wiley & Sons.

LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. Soil Mechanics, New York: J. Wile, 1969.

LEINZ, V.; TAIOLI, F. Geologia Geral. São Paulo, 2012.

LOPES, F. L. Geotecnia aplicada ao planejamento urbano: avaliação das condições do solo e subsolo. 2017. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MACIEL FILHO, C.L; NUMMER, A.V. Introdução à geologia de engenharia. Santa Maria, RS. Editora UFSM, 2011.

MACIEL FILHO, L. Avaliação do potencial de riscos geotécnicos em uma área urbana de Encantado, RS. 1997. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MACIEL FILHO, R. Evolução e morfologia do relevo cárstico do alto rio das Velhas (MG). 1997. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MONTEIRO, C. A. et al. Geotecnia aplicada ao planejamento urbano e ao desenvolvimento sustentável. In: Anais do 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Salvador, 2016. p. 215-224.

MURRAY, E. J. Princípios e aplicações da ciência do solo. São Paulo, 2003.

NEIVA, Eduardo Santos; FARIA, Filipe Eliel de; NOGUEIRA, Gabriel Torino; JORGE, Rafael Peixoto. Estruturas de contenção, escavações e escoramentos. Belo Horizonte. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. 2014.

NETO, José Orlando Avesani; HAYASHIDA, Eduardo Menani; PEREIRA, Vinícius Rocha Gomes. Levantamento e comparação dos custos de diferentes soluções de estruturas de contenção em aterro. Cobrae 2013, v. 1, n. 2, p. 1-15, 2013.

OCAMPO-ARAYA, M.D.C. Sistema de classificação geotécnica de encostas para projetos de estradas baseado no índice de qualidade HSQI: aplicação na Costa Rica [Distrito Federal] 2016.

OLIVEIRA, P. K. Pedologia: fundamentos. Viçosa: Editora UFV. 2012.

ORTIGÃO, J. R. A. Introdução a Mecânica dos Solos dos Estados Críticos. São Paulo. 2007.

PEJON, O. J., & FAGUNDES, R. G. (2009). Fundamentos de geotecnia aplicados a obras civis.

RICKENMANN, D.; ZIMMERMANN, M. Hydrology, sediment transport and debris flow hazards in torrents. In: Jakob, M.; Hungr, O. (eds.). Debris flow hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment. Rotterdam: Millpress, 1993. p. 23-33.

SANTOS, J. E. dos, & Carvalho, D. (2014). Análise de Estabilidade de Taludes. Oficina de Textos.

SELBY, M.J. Introduction to Engineering Geology. New York: Elsevier Science Publishers, 1993.

SELBY, M.J. Landslides: Investigation and Mitigation. National Academy Press, Washington, D.C., 1993.

SILVA, Rúben Alberto Fernandes da. Aplicação da engenharia natural na estabilização de taludes. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Ciências Exatas e da Engenharia (CCEE) da Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2012.

SIVAKUGAN, G. L.; INDRARATNA, B.; KARUNARATNE, C. P. Mecânica dos Solos e suas Aplicações. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SOUZA, C. R. G. et al. Relação solo-relevo-substrato geológico nas restingas da planície costeira do estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, São Paulo, 2010.

TARBUCK, E. J. & LUTGENS, F. K. (2010). Introdução à Geologia. São Paulo: Pearson.

TERUEL, Evandro Carlos HTML5: Guia Prático / Evandro Carlos Teruel. -- 2. ed. rev. atual. e ampl. -- São Paulo: Érica, 2014.

TERZAGHI, K. PECK, R.B. Soil Mechanics in Engineering Practice. 1948.

TERZAGHI, K. Peat and its Engineering Significance. John Wiley & Sons, New York, 1967.

VARNES, D. J. (1978). "Slope Movement Types and Processes". In: Landslides Analysis and Control. Washington: National Academy of Sciences, pp. 11 - 33.

- WOLLE, C. M. & SILVA, L. C. R. (1992), Taludes, Mesa Redonda - Solos da Cidade de São Paulo, ABMS e ABEF, São Paulo, p. 249-277.
- WOLLE, C. M. (1980), Taludes Naturais – Mecanismos de Instabilização e Critérios de Segurança, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 345p.
- WOLLE, C. M. (1985), Slope Stability in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, ISSMFE Committee on Tropical Soils, Progress Reprt 1982-1985, ABMS, São Paulo, p.164-221.
- WOLLE, C. M. (1988), Análise dos Escorregamentos Translacionais Numa Região da Serra do Mar no Contexto de Uma Classificação de Mecanismos de Instabilização de Encostas, Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 406p.
- WOLLE, J.; CARVALHO, A. M. Rastejos na Serra do Mar Paulista. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5., 1994, Águas de Lindóia. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. p. 211-214.
- WU, Y.; WU, C. Influence of Cohesion and Internal Friction Angle of Soil on the Stability of Unsaturated Soil Slopes: A Case Study in Taiwan. Sustainability, v. 13, n. 3, p. 1-13, 2021.
- YANG, J.; CHEN, C. The Influence of Soil Types on the Stability of Residual Soil Slopes: A Case Study in Taiwan. Water, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2019.
- ZANON, G. Movimentos de massa nas encostas do Rio Soturno às margens da RS-149-Faxinal do Soturno, RS / Gabryelle Zanon. 76 p, 2021.

ANEXO 1

Linhas de código na componente em TypeScript (responsável pelas equações de equilíbrio limite)

```
1. import { Component, Input } from '@angular/core';
2. import { RadioControlValueAccessor } from '@angular/forms';
3.
4. @Component({
5.   selector: 'app-root',
6.   templateUrl: './app.component.html',
7.   styleUrls: ['./app.component.css']
8. })
9.
10. export class AppComponent {
11.   saturado = false
12.   SoloEncharcado(value: boolean){
13.     this.saturado = value
14.     if(!value)
15.       this.ysat = 0
16.   }
17.   title = 'EstTalude';
18.   coesao : number | undefined
19.   anguloA : number | undefined
20.   y : number | undefined
21.   beta : number | undefined
22.   H : number | undefined
23.   nf : number | undefined
24.   L : number = 1
25.   ysat : number = 0
26.   FS : number | undefined
27.
28.   Limpar(){
29.     this.coesao = undefined
30.     this.anguloA = undefined
31.     this.y = undefined
32.     this.beta = undefined
33.     this.H = undefined
34.     this.nf = undefined
35.     this.L = 0
36.     this.ysat = 0
37.     this.FS = 0
38.   }
39.
40.   EstTSeco(){
41.
42.     // Estabilidade por equilíbrio limite em taludes infinitos secos
43.     // Não sendo inseridos valores diretos para coesão e angulo de atrito
44.     // y = peso específico do solo
45.     // L = parcela estudada (Por ser talude infinito, considera-se L = 1)
46.     // H = altura do talude de solo
47.     // beta = inclinação do talude
48.     // Influência do tipo de solo
49.     // Angulos de atrito e beta em graus
50.     let anguloAgraus = this.anguloA! * (Math.PI / 180)
51.     let betagraus = this.beta! * (Math.PI / 180)
52.
53.     if(this.ysat == 0){
54.       let W = this.y! * this.H! * this.L!
55.       // Componentes normal e tangencial (W)
56.       let Na = W * Math.cos(betagraus)
57.       let Ta = W * Math.sin(betagraus)
58.       // Componentes normal e tangencial (R) *Sentido invertido as componentes de W*
59.       let Nr = (W * Math.cos(betagraus))
60.       let Tr = (W * Math.sin(betagraus))
61.       // tensão normal e tensão cisalhante
```

```

62. let tensaoN = Na / (this.L / Math.cos(betaGraus))
63. let tensaoCis = Ta / (this.L / Math.cos(betaGraus))
64.
65. // Estabilidade por equilibrio limite
66. // Resistência média ao cisalhamento do solo
67. // let ResCisSolo = this.coesao! + (tensaoN * Math.tan(anguloAgraus))
68. // Resistência média ao cisalhamento ao longo da superfície de ruptura
69. // let ResCisSR = coesaod + (tensaoN * Math.tan(anguloAd))
70.
71. // Fator de segurança
72. // Resultado1 = ResCisSolo / ResCisSR
73. this.FS = (this.coesao! / tensaoN * Math.tan(betaGraus)) + (Math.tan(anguloAgraus) / Math.tan(betaGraus))
74. // Altura crítica
75. // let Hcr = (this.coesao! / this.y!) * (1 / ((Math.cos(betaGraus))**2) * (Math.tan(betaGraus) -
Math.tan(anguloAgraus)))
76. }
77. else{
78. let nivelf = this.nf! / 100
79. // Estabilidade por equilibrio limite em taludes infinitos com percolação
80. let W = this.ysat * this.L * this.H!
81. // Componentes normal e tangencial (W)
82. let Na = W * Math.cos(betaGraus)
83. let Ta = W * Math.sin(betaGraus)
84. // Componentes normal e tangencial (R) *Sentido invertido as componentes de W*
85. let Nr = (W * Math.cos(betaGraus))
86. let Tr = (W * Math.sin(betaGraus))
87. // tensão normal e tensão cisalhante
88. let tensaoN = Nr / (this.L / Math.cos(betaGraus))
89. let tensaoCis = Tr / (this.L / Math.cos(betaGraus))
90. // tensão de cisalhamento na base do elemento
91. // u = poropressão
92. // yw = 1 (g/cm³)
93. let yw = 1
94. let u = yw * this.H! * (Math.cos(betaGraus))**2
95. // ResCisBE = coesaod + (tensaoN - u) * Math.tg(anguloAd)
96. // ylinha = peso especifico efetivo do solo
97. let ylinha = this.ysat - yw
98. // Fator de segurança
99. this.FS = (this.coesao! / ((nivelf * this.ysat + (1 - nivelf) * this.y! ) * this.H! * Math.sin(betaGraus) *
Math.cos(betaGraus))) + (((1 - nivelf) * this.y! + nivelf * ylinha) / (nivelf * this.ysat! + (1 - nivelf) * this.y!)) *
(Math.tan(anguloAgraus) / Math.tan(betaGraus))
100. }
101. }
102. }

```