

Análise de Estabilidade e Caracterização do Solo de um Talude Localizado na Zona da Mata do Estado de Pernambuco

Alaks Afonso da Silva

Engenheiro Civil, UNINASSAU, Santa Maria do Cambucá, Brasil, alaksafonso1@gamil.com

João Matheus Souza da Mata

Engenheiro Civil, UNINASSAU, Caruaru, Brasil, engmatheussouza17@gmail.com

Maylon Dieferson Silva de Sobral

Professor, UNINASSAU, Caruaru, Brasil, engcivil.cau@mauriciodenassau.edu.br

Alison de Souza Norberto

Professor, UNINASSAU, Caruaru, Brasil, alison.norberto@ufpe.br

RESUMO: O aumento da urbanização ressalta a importância de compreender e gerenciar os riscos em taludes para garantir a segurança das infraestruturas e comunidades. Este estudo focou na análise de estabilidade de um talude na Zona da Mata de Pernambuco, combinando caracterização detalhada do solo com ensaios de campo e laboratório. Utilizando o *software* SLOPE/W, foi possível determinar o Fator de Segurança (FS), indicando a condição crítica ou segura do talude. A identificação de áreas potencialmente instáveis e sua correlação com as características do solo fornecem importantes informações para a tomada de decisões em projetos de engenharia civil. Os resultados das análises de campo e laboratório indicam a predominância de solos siltearenosos na área estudo. Já as análises de estabilidade apontam para resultados com FS inferiores a 1,5, indicando assim a necessidade de intervenções geotécnicas no talude, tendo em vista que se trata de uma área com ocupações habitacionais a montante do talude.

PALAVRAS-CHAVE: Ocupações, Urbanização, Riscos, Zona da Mata.

ABSTRACT: Increased urbanization highlights the importance of understanding and managing slope risks to ensure the safety of infrastructure and communities. This study focused on the stability analysis of a slope in the Zona da Mata of Pernambuco, combining detailed soil characterization with field and laboratory tests. Using the SLOPE/W software, it was possible to determine the Safety Factor (SF), indicating the critical or safe condition of the slope. The identification of potentially unstable areas and their correlation with soil characteristics provide important information for decision-making in civil engineering projects. The results of field and laboratory analyzes indicate the predominance of silty sandy soils in the study area. While stability analyzes point to results with SF below 1.5, thus indicating the need for geotechnical interventions, considering that this is an area occupied upstream of the slope.

KEYWORDS: Occupations, Urbanization, Risks, Zona da Mata.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Guidicini (1983) movimentos de massas, tem sido objeto de amplos estudos nas mais diversas latitudes, não apenas por sua importância como agentes atuantes na evolução das formas de relevo, mas também em função das suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista econômico. Movimentos de massa são deslocamentos súbitos de parte da massa de solo que compõem um talude. Esses eventos são desencadeados devido as propriedades dos solos de taludes naturais e artificiais em associação com condicionantes ambientais como clima e índice de precipitação e ação humana (FERNANDES et al. 2001). Neste contexto, a caracterização adequada do solo desempenha um papel crucial na análise de estabilidade de taludes. Compreender as propriedades geotécnicas do solo é essencial para determinar sua resistência, coesão, permeabilidade e outras características relevantes que afetam a estabilidade do talude.

No contexto de áreas com condições geológicas e geotécnicas complexas, como é o caso da zona da Mata do estado de Pernambuco. A capacidade de avaliar e compreender a estabilidade de taludes é essencial para garantir a segurança de infraestruturas e comunidades que dependem da estabilidade do terreno. Este trabalho teve como objetivo explorar a análise de estabilidade e a caracterização do solo em taludes na zona

da Mata, no estado de Pernambuco fornecendo uma visão abrangente dos principais métodos e técnicas utilizados nesse contexto. Foram abordados aspectos relacionados à coleta de amostras de solo, testes de laboratório, métodos de investigação geotécnica e modelagem numérica, a fim de compreender melhor os desafios enfrentados e as soluções propostas.

2. ÁREA DE ESTUDO

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a população de Catende é estimada em 43.778 pessoas, com extensão territorial de 208,594 km², Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,609 e densidade demográfica de 182,49 hab/km². O município é vizinho dos municípios de Belém de Maria, Jaqueira e Palmares. A seguir na Figura 1 é apresentado o perímetro urbano da cidade de Catende.

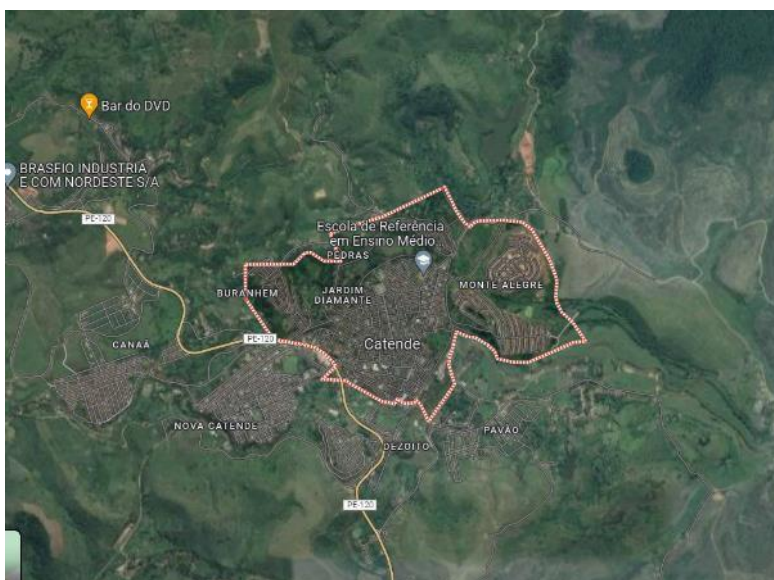


Figura 1 - Localização da cidade de Catende.

O talude selecionado para o estudo possui cerca 100 de metros de comprimento, sua altura máxima é de 45 metros, na Figura 2 é apresentada topografia do talude e os pontos que foram realizadas sondagens do tipo SPT.

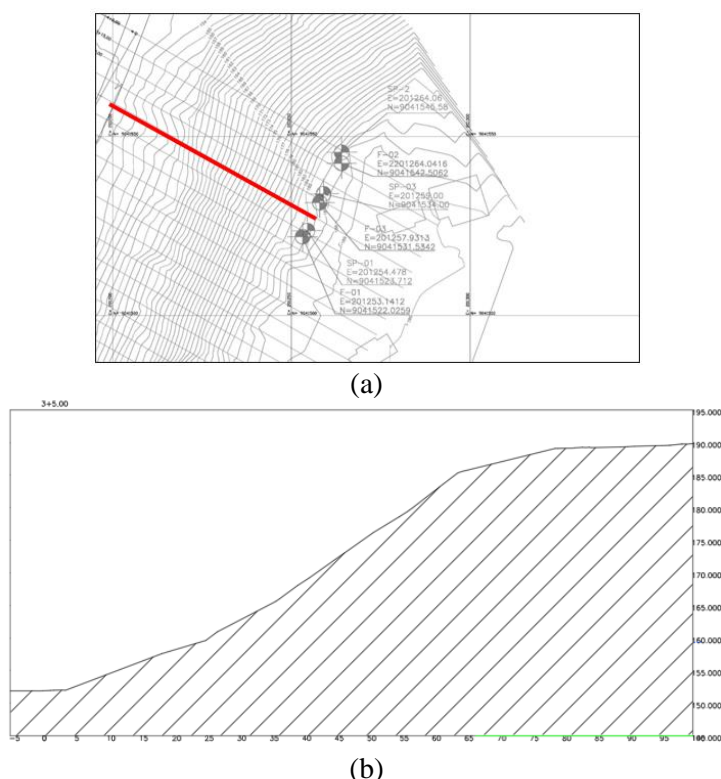
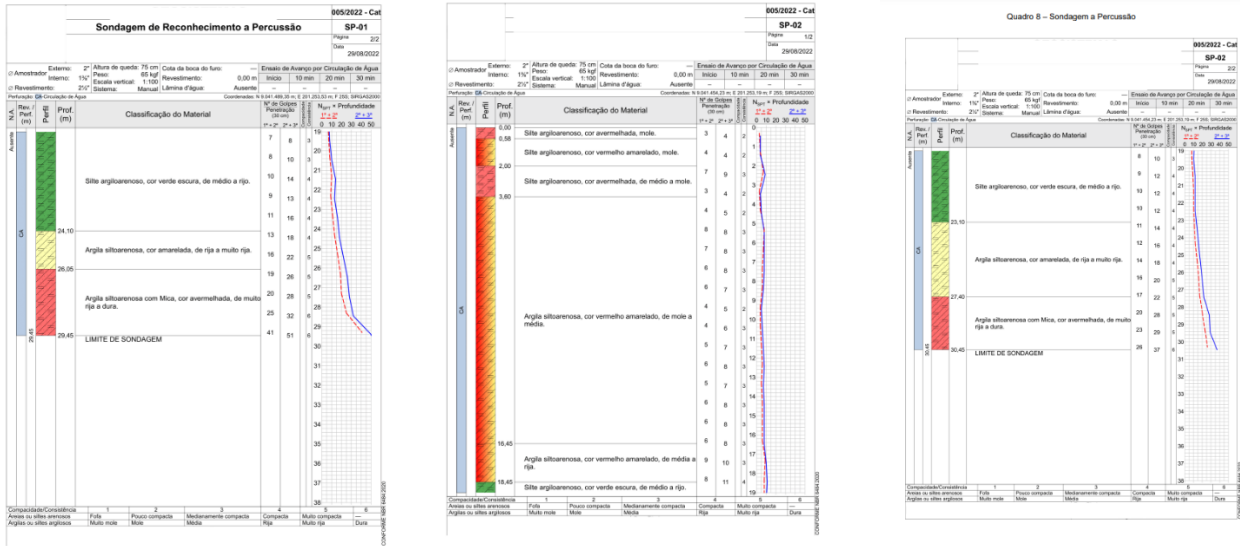


Figura 2 – Área de estudo (a)Planta de alocação dos furos de sondagem; e (b) Seção topográfica do talude.

A seguir na Figura 3 são apresentados os resultados das sondagens realizadas na área de estudo.



(a) (b) (c)
 Figura 3 – Sondagens realizadas na área de estudo (a)SP1; (b) SP2; e (c) SP3.

Para montagem do perfil geotécnico foi utilizada como referência a sondagem SP2, dada a maior proximidade desta com a seção analisada. Resultando em talude de 7 camadas, a primeira de silte argiloarenoso com um peso específico de 14kN/m³, a segunda composta por um silte argiloarenoso com o peso específico de 15kN/m³, a terceira silte argiloarenoso com o peso específico de 17 kN/m³, a quarta com uma argila siltoarenosa com o peso específico de 17 kN/m³, a quinta uma argila siltoarenosa com o peso específico de 18 kN/m³, a sexta com silte argiloarenoso com um peso específico de 18 kN/m³, a sétima com argila siltoarenosa com um peso específico de 19 kN/m³. Os parâmetros de resistência foram obtidos com base em correlações com os resultados do N_{SPT} e análise da compactidade dos materiais seguindo a classificação da sondagem. A linha freática também foi obtida com base nas sondagens, a seguir na Figura 4 é apresentado perfil obtido para a área de estudo.

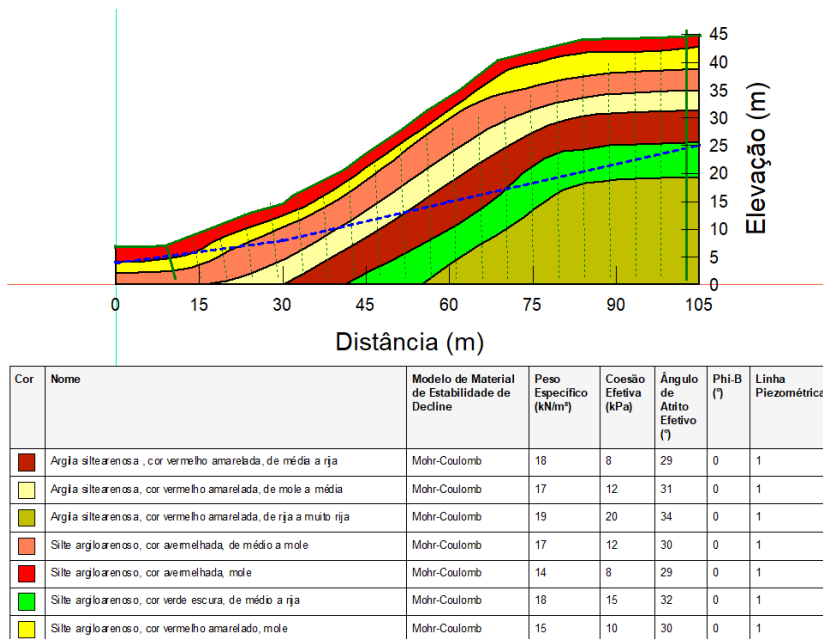


Figura 4 - Características geotécnicas do solo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DE SOLO

A caracterização do solo é uma etapa crucial em estudos geotécnicos, fornecendo informações essenciais sobre as propriedades e comportamento do substrato. Conforme destacado por Das (2006), a caracterização adequada do solo é vital para a engenharia geotécnica, influenciando diretamente no design e

na segurança das estruturas. No processo, técnicas como a análise granulométrica, conforme preconizado por ASTM D422, permitem avaliar a distribuição de tamanho das partículas do solo, impactando em suas propriedades de permeabilidade e compressibilidade. As amostras foram preparadas todas de acordo com a NBR 6457/2016 – Amostras de solo / Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia do Centro Universitário Maurício de Nassau, Campus Caruaru-PE.

3.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As análises granulométricas foram realizadas seguindo as diretrizes da NBR 7181/2016. Para a execução do ensaio de caracterização foi utilizado o agitador de peneiras, este aparelho é composto estrutura metálica e a base do equipamento e fornece suporte e estabilidade para as peneiras. As peneiras foram empilhadas verticalmente na estrutura, começando com a peneira de malha mais fina na parte superior e terminando com a peneira de malha mais grossa na parte inferior. Cada peneira possui uma abertura específica que permite a passagem dos grãos de solo de um determinado tamanho, as bandejas coletoras foram colocadas abaixo das peneiras para coletar os grãos de solo que passam pelas aberturas das peneiras. Essas bandejas são removíveis e podem ser esvaziadas para permitir a pesagem dos grãos coletados, máquina vibratória, essa máquina gera vibrações para auxiliar no processo de peneiramento, facilitando a passagem dos grãos de solo pelas aberturas das peneiras.

3.3. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ POR MEIO DO APARELHO DE CASAGRANDE

Para determinação do Limite de Liquidez através do aparelho de Casagrande, foi utilizado o aparelho da marca EDUTECH. Para o ensaio de Casagrande foram seguidas as diretrizes da NBR 6459/2016.

3.4. DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE

Este ensaio busca ressaltar a importância de tal determinação no contexto mais amplo da estabilidade e segurança das obras civis. A plasticidade do solo é, em última instância, um fator determinante para evitar assentamentos excessivos, rupturas e outros desafios que podem comprometer a integridade das estruturas. Para o ensaio de limite de plasticidade foram seguidas as diretrizes da NBR 7180/2016.

3.5. ANÁLISES DE ESTABILIDADE

A metodologia de análise de estabilidade foi desenvolvida com base em uma abordagem integrada das características geotécnicas do solo, utilizando informações obtidas por meio de sondagens. Inicialmente, as seções geotécnicas foram construídas com base nos perfis geológicos obtidos pelas sondagens, permitindo uma visualização detalhada da distribuição das camadas e dos parâmetros geotécnicos relevantes. Em seguida, os dados de resistência do solo foram obtidos a partir de correlações com o número de golpes (N_{SPT}) obtido nos ensaios de penetração padrão SPT (Standard Penetration Test).

Em seguida foram realizadas análises numéricas de estabilidade por meio do *software* SLOPE/W, amplamente reconhecido na engenharia geotécnica para avaliação da estabilidade de taludes. Através dessa análise numérica, foram obtidos fatores de segurança (FS) do talude da área de estudo. Essa metodologia integrada combina dados de campo, correlação de parâmetros e modelagem computacional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa etapa não apenas revela as constatações da pesquisa, mas também proporciona uma interpretação crítica, alinhando os resultados aos objetivos propostos. Por meio de gráficos, tabelas e estatísticas, os dados foram organizados de forma a permitir uma compreensão clara e objetiva.

Foi realizada uma visita ao local no qual o estudo foi proposto. No dia 31 de agosto de 2023, no local foi presenciado sua vegetação portado por algumas árvores de pequeno porte, e uma grama alta apresentado na Figura 5.



Figura 5 - Vegetação presente no talude da área de estudo.

A determinação da granulometria do solo seguiu as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 7181/2016. Foram realizados dois ensaios para o talude estudado um para sua base e outro para seu topo, após o peneiramento do material da base realizado na peneira #200 uma média de 0,038 g permaneceu de um total inicial de 0,5 kg da amostra, representando assim 7,6%.

A seguir na Figura 6 é apresentada a curva gerada de acordo com a granulometria do solo da base da encosta e do topo encosta estudada, curva que foi utilizada para a classificação de grãos do solo.

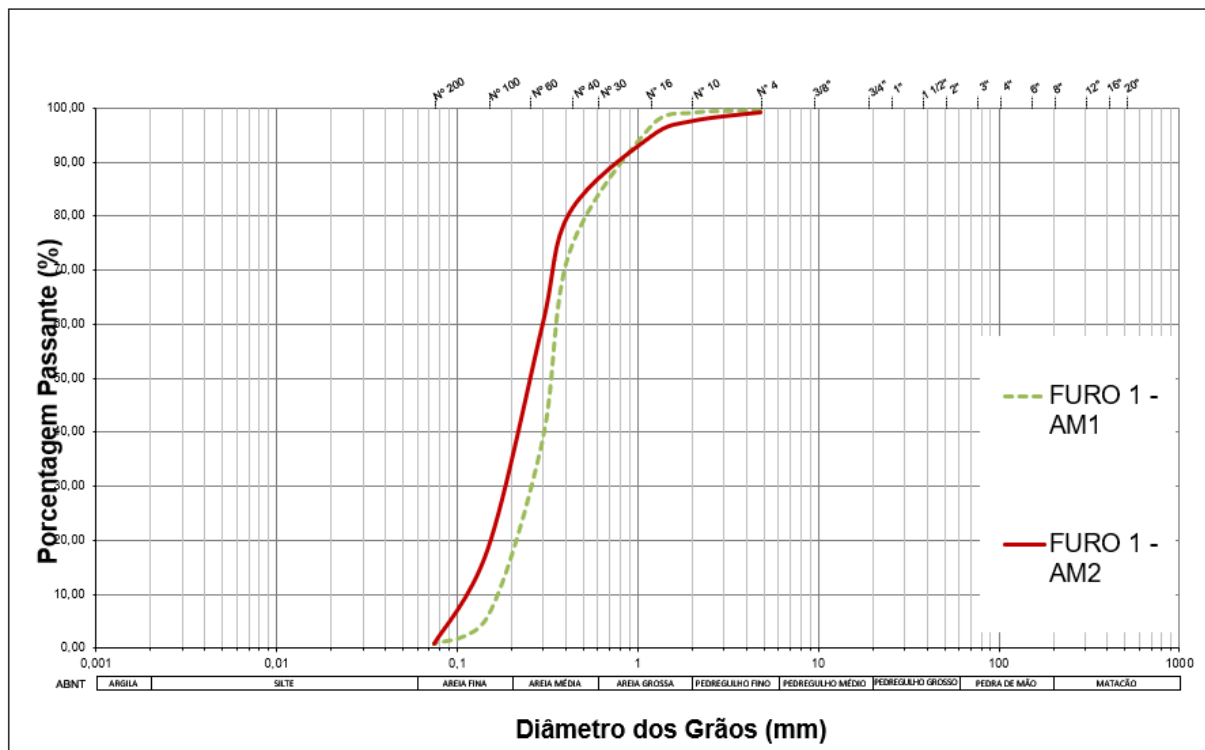


Figura 6 - Curva granulométrica das amostras analisadas.

O Limite de Plasticidade e o Limite de Liquidez são propriedades geotécnicas do solo amplamente utilizadas na engenharia civil. O Limite de Liquidez representa a umidade mínima em que o solo se comporta como um líquido viscoso, enquanto o Limite de Plasticidade refere-se à umidade abaixo da qual o solo se torna plástico e moldável. Esses limites são cruciais para determinar as características de deformação e suporte do solo, influenciando o projeto e construção de estruturas como fundações e barragens. Engenheiros utilizam esses parâmetros para classificar os solos, prever seu comportamento frente a cargas e selecionar métodos de

compactação apropriados.

A seguir na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para a determinação dos limites de liquidez e plasticidade.

Tabela 1 – Resumos dos resultados dos ensaios de limites e consistência.

Solo do topo do talude		
Limite de Liquidez	(LL):	52,59%
Limite de Plasticidade	(LP):	38,44%
Índice de Plasticidade	(IP):	14%
Solo do pé do talude		
Limite de Liquidez	(LL):	50,93%
Limite de Plasticidade	(LP):	47,65%
Índice de Plasticidade	(IP):	3%

Para caracterizar esse solo, foi utilizada a carta de plasticidade de Casagrande, Figura 7, onde são observados os resultados da amostra do topo AM1 é um solo (MH) considerado um silte com teores médios de Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade, Já a amostra da base AM2 indica que é um solo (OL) considerado um solo orgânico de baixa plasticidade com identificação de solos não plásticos ou muito pouco plásticos.

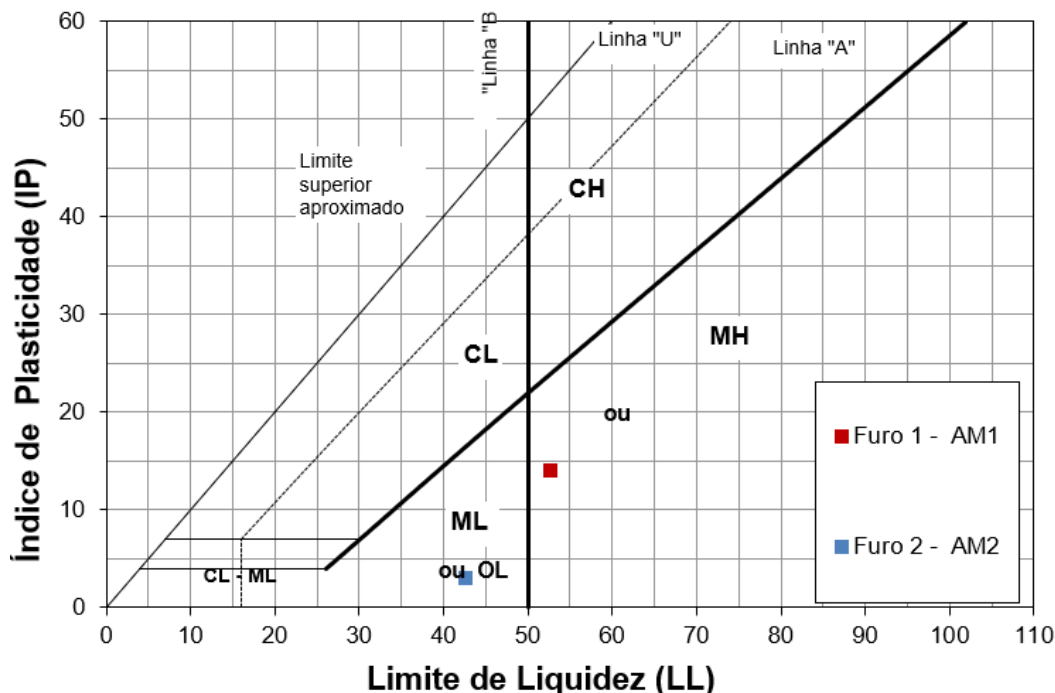


Figura 7 - Carta de Casagrande com a classificação das amostras analisadas.

Para a Caracterização do solo foi utilizada a carta de Casagrande na Tabela 2, com os resultados das obtidos através dos ensaios podemos classificar os solos estudados.

Tabela 2 - Legenda da carta de Casagrande.

Grupo	Trabalhabilidade	Permeab. Compac	Resist. Compact sat	Compres. Compac/sat
CH	má	impermeável	baixa	alta
MH	má	semip. a permeável	baixa a regular	alta
ML	regular	semip. a permeável	regular	média
CL	regular a boa	impermeável	regular	média

Para o estudo foi imprescindível deslocar-se até o local e registrar as propriedades físicas do solo e as especificações da área de estudo. Foram realizadas 3 sondagens SPT na área para construção do perfil geotécnico da área, as quais foram utilizadas nas análises de estabilidade no software SLOPE/W.

O resultado da análise de estabilidade obtida revelou um fator de segurança de 1.316 (Figura 8), o que implica em uma condição de estabilidade média, embora abaixo do limiar amplamente aceito de 1,5 recomendado pela NBR 11682/2009 para encostas com áreas risco devido as ocupações existentes. Indicando assim a necessidade de intervenções geotécnicas na área.

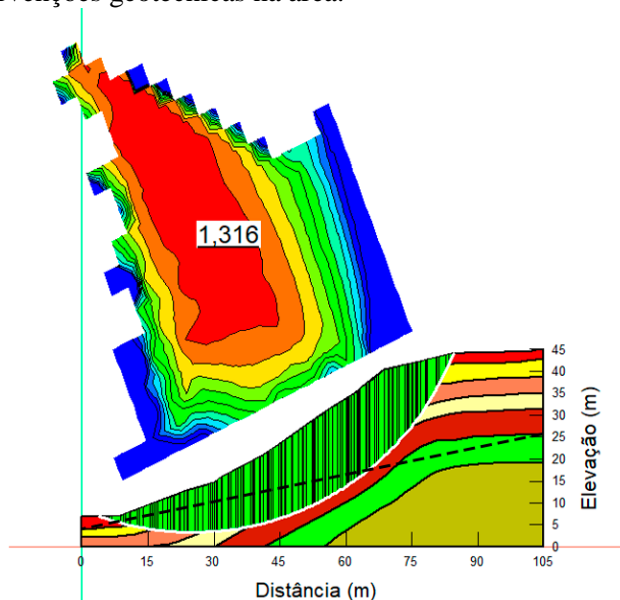


Figura 8 - Fator de Segurança do Talude.

5. CONCLUSÕES

Os resultados desse estudo revelaram que o solo analisado, se mostrou desde o primeiro contato tátil e visual, um solo argilo-arenoso, sua coloração avermelhada foi uma característica provavelmente relacionada a solos com maior concentração de óxido férricos. Se tratando de um solo de resistência média, com características plásticas que apresentam areia, silte e argila.

A caracterização detalhada do solo revelou propriedades geotécnicas fundamentais para compreender o comportamento do terreno estudado. A análise granulométrica proporcionou importantes informações sobre a distribuição de tamanhos de partículas, enquanto o limite de liquidez e plasticidade ofereceu dados cruciais para avaliar a suscetibilidade do solo à deformação. O perfil geotécnico, obtido por meio de ensaios de sondagem, enriqueceu a caracterização ao fornecer informações sobre as camadas estratigráficas e a presença de eventuais discordâncias geológicas.

Ao empregar o *software* SLOPE/W, foi possível realizar uma análise de estabilidade do talude, considerando as condições específicas do solo investigado. Os resultados do FS refletem diretamente na segurança da estrutura, destacando áreas de potencial instabilidade e orientando medidas corretivas. A identificação de parâmetros críticos, como coesão e ângulo de atrito interno, permitiu uma avaliação mais precisa do comportamento do solo em condições de talude.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Das, B. M. (2012) Principles of geotechnical engineering. Cengage Learning.

Fernandes, N. F., Guimarães, R. F., Gomes, R. A. T., Vieira, B. C., Montgomery, D. R., & Greenberg, H. (2001). Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1).

Guidicini, G.; Nieble, C. M.(1983) Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: *Edgard Blücher*.