

Análise de Estabilidade das Falésias na Praia de Cacimbinhas, Litoral Leste do Rio Grande do Norte

Ricardo Nascimento Flores Severo

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
ricardo.severo@ifrn.edu.br

Kairo Linneman Peixoto Correia Lima

Graduando Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
gleydson.n@escolar.ifrn.edu.br

Ênio Fernandes Amorim

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
enio.amorim@ifrn.edu.br

André Luiz Lopes Toledo

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
andre.lopes@ifrn.edu.br

Rubens Diego Fernandes Alves

Professor Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal - RN, Brasil,
rubens.alves@ifrn.edu.br

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise da estabilidade das falésias na Praia de Cacimbinhas, localizada no litoral leste do Rio Grande do Norte. A área apresenta risco de deslizamentos e os impactos desses movimentos de massa podem configurar desastres de grandes proporções. A região costeira do município é marcada por praias arenosas, dunas e falésias ativas da Formação Barreiras (FB). Sua paisagem atrativa favorece a ocupação das bordas das falésias por residências e empreendimentos turísticos. No entanto, o crescimento urbano desordenado aumenta os riscos geológico-geotécnicos, pois a sobrecarga de edificações, remoção da vegetação e drenagem inadequada favorecem processos erosivos, como sulcos e ravinas, e movimentos gravitacionais de massa. O objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade das falésias na Praia de Cacimbinhas, com ênfase na mitigação e prevenção de desastres provocados por deslizamentos de terra, utilizando métodos tradicionais de equilíbrio limite. A metodologia adotada incluiu revisão bibliográfica sobre a área, vistorias no local com registros fotográficos e análises de estabilidade do talude utilizando o software GeoSlope da Geostudio. O estudo contribuiu para o entendimento do comportamento mecânico das falésias e identificou o mecanismo de ruptura dessas encostas. Estudos anteriores demonstram que a sucção presente nos solos não saturados das falésias influencia seu comportamento mecânico. As principais conclusões indicaram que as encostas analisadas apresentaram Fatores de Segurança inferiores ao mínimo recomendado pela NBR 11.682 – Estabilidade de Encostas ($FS > 1,5$) em solos saturados, destacando a necessidade de ações preventivas para minimizar os riscos geotécnicos na região.

PALAVRAS CHAVES: Análise da Estabilidade de Taludes; Propriedades Geotécnicas; Processos Erosivos; Falésias da Formação Barreiras; Tibau do Sul.

ABSTRACT: This paper presents an analysis of the stability of the cliffs at Cacimbinhas Beach, located on the east coast of Rio Grande do Norte. The area is at risk of landslides, and the impacts of these mass movements can lead to major disasters. The municipality's coastal region is characterized by sandy beaches, dunes, and active cliffs of the Barreiras Formation (FB). Its attractive landscape favors the occupation of the cliff edges by residences and tourist developments. However, disorderly urban growth increases geological and geotechnical risks, as overloaded buildings, vegetation removal, and inadequate drainage favor erosion processes, such as gullies and ravines, and gravitational mass movements. The objective of this study was to



2025

evaluate the stability of the cliffs at Cacimbinhas Beach, with an emphasis on mitigating and preventing disasters caused by landslides, using traditional limit equilibrium methods. The methodology adopted included a literature review of the area, on-site surveys with photographic records, and slope stability analyses using Geostudio's GeoSlope software. The study contributed to the understanding of the mechanical behavior of cliffs and identified the failure mechanism. Previous studies demonstrate that the suction present in the unsaturated soils of cliffs influences their mechanical behavior. The main conclusions indicated that the slopes analyzed presented Safety Factors lower than the minimum recommended by NBR 11.682 – Slope Stability ($FS > 1.5$) in flooded soils, highlighting the need for preventive measures to minimize geotechnical risks in the region.

KEYWORDS: Stability Analysis of Urban Cliffs; Geotechnical Properties; Barreiras Formation (BF).

1 INTRODUÇÃO

O litoral Potiguar é marcado por paisagens costeiras de grande beleza, caracterizadas pela presença de falésias que se erguem imponentes sobre o oceano. Essas formações geológicas, resultantes da ação erosiva continental e do mar, são elementos de grande valor ambiental e turístico. No entanto, a crescente ocupação da zona costeira e eventos extremos possivelmente associados às mudanças climáticas têm intensificado os processos erosivos e colocado em risco a estabilidade dessas estruturas.

A linha costeira do Estado tem aproximadamente 400 km de extensão e é constituída principalmente por praias arenosas, dunas e falésias ativas da Formação Barreiras as quais afloram em diversos municípios do estado. Um dos municípios que tem uma extensa orla com estes afloramentos sob a forma de falésias é Tibau do Sul - RN.

Conforme Severo (2011), cerca de 60% da linha da costa oriental do estado do Rio Grande do Norte apresenta nítidos processos erosivos, causando sérios danos ambientais e levando prejuízos às atividades econômicas e aos usuários próximos a esta linha de costa.

De acordo com Severo (2011) o recuo da linha de costa sobre as áreas ocupadas do litoral do RN vem passando por um processo de ocupação acelerado e desordenado, intensificado a partir da década de 80 através da expansão urbana, do turismo e das habitações para veraneio causando processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa. Ao longo do tempo foram feitos vários estudos sobre a ocorrência desses processos de transporte e de movimentação de massa, conforme se observa nos trabalhos de Severo (2005 e 2011) e Santos Júnior et al. (2008, 2014 e 2015).

Nas falésias é comum o aparecimento de descontinuidades de planos de estratificação, falhas, fraturas e contatos geológicos mergulhando em direção ao talude. As juntas de alívio de tensões quase verticais paralelas à crista da encosta que geram instabilidade com o acúmulo de águas pluviais, esse acúmulo acaba gerando pressões que abre cada vez mais as fendas no topo das falésias o que vai gerar instabilidade no volume de massa de solo ou no maciço rochoso e deflagrar seu desprendimento da falésia gerando quedas e tombamentos que são movimentos de massa bastante frequentes segundo Silva (2003). Embora pareça que o mecanismo principal de ruptura pode estar relacionado ao comportamento do meio descontínuo, como quedas e tombamentos, devido a geometria bastante escarpada das falésias, observa-se que de acordo com Severo (2005) os deslizamentos são muito mais frequentes do que as quedas e tombamentos.

Movimentos gravitacionais e os movimentos de transportes de massa estão intimamente relacionados às características geométricas, geológicas e geotécnicas de taludes naturais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade das falésias da Praia de Cacimbinhas, com ênfase na mitigação e prevenção de desastres provocados por deslizamentos de terra.

2 DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área objeto deste estudo está localizada no litoral leste do RN, cerca de 80 km ao sul de Natal. (Figura 1). A Praia de Cacimbinhas tem um trecho de aproximadamente 2,0 km de linha de costa no Município de Tibau do Sul, e é formada principalmente por falésias com altura média de 20 metros. De acordo com Diniz (2002) a geologia da área estudada é formada por materiais de origem sedimentar. Nos tabuleiros costeiros ocorrem os sedimentos da Formação Barreiras, os quais, consistem em camadas intercaladas de arenitos

2025

argilosos, argilitos, conglomerados e arenitos ferruginosos. As dunas são formadas por areias finas quartzosas de origem eólica que recobrem estes tabuleiros e as falésias são as bordas dos tabuleiros. Na planície costeira ocorrem praias arenosas. Ocorre ainda outro grupo de arenito que tem uma geometria linear. São cimentados por carbonatos e ocorrem ao longo de alguns trechos da área, segundo um alinhamento aproximadamente paralelo à linha de costa.

Na área da Praia de Cacimbinhas (Figura 2) foram identificadas nas falésias tanto a presença de ravinas (Figura 3) e presença de voçorocas (Figura 4). Ambas, resultantes de processos erosivos no solo causados pela drenagem inadequada da água de chuva da RN-003 (Figura 5), que a despeja concentradamente em pontos das falésias, exacerbando a erosão.

Em algumas áreas da praia, as voçorocas (Figura 4) encontram-se em estágios avançados, resultado de um processo mais acelerado e severo de erosão, onde a água da chuva remove grandes volumes de solo rapidamente, levando a uma erosão muito mais profunda e abrangente, indicando assim, a necessidade urgente de intervenção para mitigar os danos.

Esse processo erosivo cria pontos fracos que se aprofundam com o tempo, ampliando o volume de material que pode ser movimentado (desmoronar) em um evento erosivo hídrico. Conforme essas zonas enfraquecidas progridem, elas expõem ainda mais o topo da falésia a condições de instabilidade, o que pode levar a desprendimentos periódicos de material. Esses desprendimentos impactam a estabilidade da camada inferior, que, embora mais resistente, também sofre pressão com o acúmulo de material e pode acabar sendo erodida na sua base.

A Praia de Cacimbinhas, no geral, pouco apresenta cobertura vegetal, o que contribui significativamente para a intensificação da erosão na região. A ausência de uma flora adequada agrava essa situação, pois essas espécies desempenham um papel crucial na estabilização do solo por meio de suas raízes. Além disso, a presença dessa cobertura ajuda a reduzir o impacto das gotas de chuva, minimizando a erosão causada pela força da água.

A manifestação dos movimentos de massa citados ainda pode ser intensificada por outros fatores como chuvas intensas, saturação do solo, instabilidade estrutural e ação dos ventos, contribuindo assim para a formação de escarpas erosivas e “blowouts”, como citado no estudo realizado por Sousa et al. (2012).

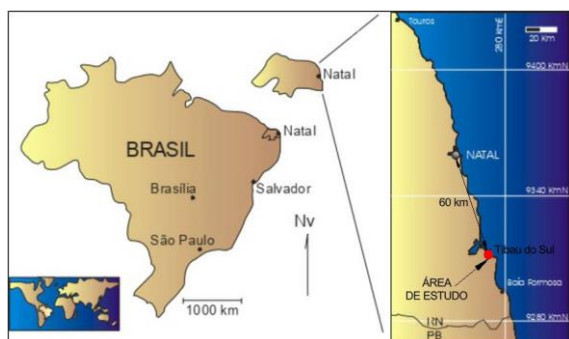


Figura 1. Localização da área estudada. Fonte: Autores.



Figura 2. Vista do topo da falésia da Praia de Cacimbinhas. Fonte: Autores, 2024.



Figura 3. Ravinas presentes no topo da falésia da Praia de Cacimbinhas. Fonte: Autores, 2024.



Figura 4. Voçoroca com surgência de água com presença de vegetação mais verde na base da falésia da . Fonte: Autores, 2024.

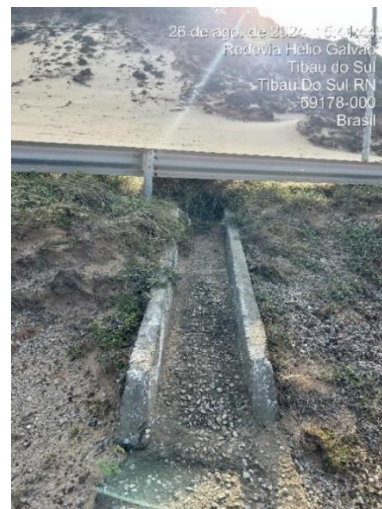


Figura 5. Sistema de Drenagem da água inadequado da RN-003 ocasionando processos erosivos. Fonte: Autores, 2024.

3 METODOLOGIA E PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DOS SOLOS

Para a realização deste estudo, foi feito levantamento de dados bibliográficos, visitas de campo, definição de parâmetros geotécnicos e análises de estabilidade considerando uma seção representativas da falésia na situação com os solos saturados e outra na situação com os solos não saturados.

3.1 Parâmetros Geotécnicos dos Solos

Os parâmetros geotécnicos dos solos utilizados nas análises de estabilidade das falésias foram obtidos a partir de ensaios realizados por Severo (2005) que estudou a área da Praia de Cacimbinhas. Na Figura 6 são apresentados as fotos dos blocos indeformados das camadas de Topo e Base utilizados para obtenção dos parâmetros de resistência dos solos.

Os ensaios de laboratório foram realizados seguindo-se os procedimentos recomendados pelas normas Brasileiras (NBR 7181; NBR 6458; NBR 6459 e NBR 7180). Os procedimentos adotados para a realização dos ensaios de cisalhamento direto foram baseados na ASTM D3080. Os ensaios de caracterização estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.



Bloco de Topo da Falésia



Blocoda da Base da Falésia

Figura 6. Blocos indeformados ensaiados

Tabela 1. Caracterização - Análise Granulométrica Conjunta dos Blocos

AMOSTRA	Ped (%)	A G (%)	A M (%)	A F (%)	Sil (%)	Arg (%)
TOPO	0,00	3,50	19,50	14,50	18,50	44,00
BASE	0,03	1,47	12,50	49,00	2,50	34,50

Ped - pedregulho, A G - areia grossa, A M - areia média, A F - areia fina, Sil - silte, Arg - argila



Tabela 2 Caracterização - Densidade dos sólidos, Limites de Atterberg e Classificação (SUCS)

AMOSTRA	G _s	LL (%)	LP(%)	IP (%)	(SUCS)
TOPO	2,66	28,8	21,5	7,3	CL
BASE	2,61	31,5	15,1	16,4	SC

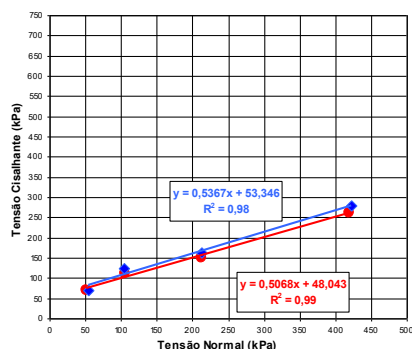
G_s – densidade dos sólidos, LL - limite de liquidez, LP - limite de plasticidade, IP - índice de plasticidade.

Os ensaios de permeabilidade em laboratório foram realizados com corpos de prova moldados a partir dos blocos indeformados mostrados na Figura 6, seguindo a NBR . Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3. Embora o material da base seja classificado como areia argilosa, observa-se que a permeabilidade da mesma ordem de grandeza do material do topo esteja associado ao alto grau de compactação e cimentação da camada da base.

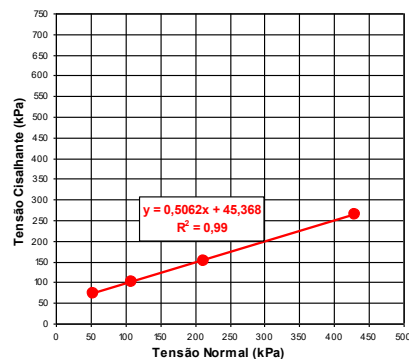
Tabela 3. Coeficiente de Permeabilidade (k) em laboratório.

AMOSTRA	k (m/s)	IP (%)	CLASS (SUCS)
Topo-Falésia	$6,3 \times 10^{-6}$	7,3	CL
Base - Falésia	$8,2 \times 10^{-6}$	16,3	SC

A partir dos resultados dos ensaios de Cisalhamento Direto nas condições inundada e de umidade natural, as envoltórias de resistência dos solos são mostradas nas Figuras 7 e 8 e os parâmetros geotécnicos dos solos são apresentados nas Tabelas 4 e 5. Os valores dos ensaios com as amostras de topo são valores médios entre as duas envoltórias muito próximas.

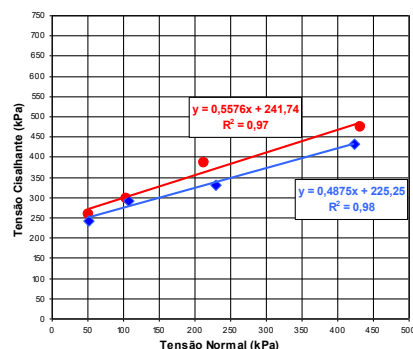


(a) Solo da camada de Topo.

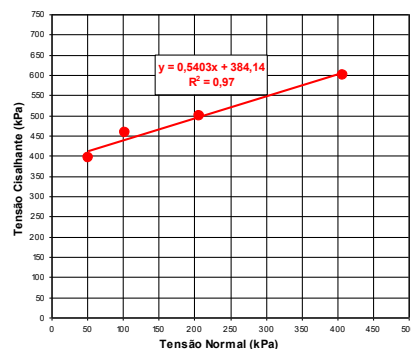


(b) Solo da camada de Base.

Figura 7. Envoltórias de Resistência obtidas nos Ensaios de Cisalhamento Direto com solos na condição inundada. Fonte: Autor.



(c) Solo da camada de Topo.



(d) Solo da camada de Base.

Figura 8. Envoltórias de Resistência obtidas nos Ensaios de Cisalhamento Direto com solos na condição de umidade natural. Fonte: Autor.

Tabela 4. Cisalhamento Direto Solos na Condição Inundada.

Camada	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ (°)
Topo	17,6	50,6	27,5
Base	20,0	45,4	26,8

Tabela 5. Cisalhamento Direto Solos na Condição de Umidade Natural

Camada	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ (°)
Topo 1	15,5	233,0	27,7
Base	18,5	384,1	28,4°

3.2 Metodologia das Análises de Estabilidade

Foi gerado o levantamento topográfico simplificado a partir do voo de drone (Mavic 3 Classic) e posteriormente traçada uma seção para realização da análise de estabilidade da falésia local.

Foram feitas duas análises de estabilidade, uma na situação com os solos saturados e outra na situação com os solos não saturados. As análises foram feitas de forma a encontrar o menor Fator de Segurança e a superfície crítica de ruptura. Os parâmetros dos solos inundados (saturados) e não inundados (não saturados) utilizados foram apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Utilizou-se a ferramenta computacional “Slope/W”, que é uma das extensões de softwares da “GeoStudio” para determinar o menor Fator de Segurança e a superfície potencial de ruptura para o perfil analisado. Os Fatores de Segurança (FS) foram determinados pelo método de Morgenstern-Price.

Essa abordagem permitirá a comparação das diferenças de comportamento entre as duas situações, proporcionando uma visão mais clara das condições do terreno e contribuindo para a avaliação de sua estabilidade e segurança.

Observa-se que as falésias presentes na região apresentam duas camadas bem distintas, uma camada de topo constituída de argila de baixa plasticidade (CL) de coloração avermelhada e a camada de base classificada como SC pelo SUCS, de coloração esbranquiçada com incrustações de nódulos de óxido de ferro avermelhados em processo de cimentação, conforme mostrada na Figura 6.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DA ESTABILIDADE DA FALÉSIA

Nas análises de estabilidade realizadas foram consideradas duas situações, uma situação mais desfavorável com os parâmetros dos solos na condição inundada e outra mais favorável, em que a linha freática está em determinado nível na base da falésia utilizando solos na condição de umidade natural, que corresponderá a situação futura, após execução de obras de recuperação das estruturas de drenagem.

De acordo com as recomendações da Norma Brasileira NBR 11.682 - Estabilidade de Encostas, os Fatores de Segurança (FS) mínimos para deslizamentos considerados para a situação desta falésia serão considerados estáveis se os Fatores de Segurança mínimo atingirem 1,5. Esse valor é definido levando em conta o nível de segurança necessário para evitar danos a vidas humanas, bem como prejuízos materiais e ambientais. Nas Figuras 9 e 10 são apresentados os resultados dos FS obtidos nas análises de estabilidade com sua provável superfície potencial de ruptura (SPR).

Na análise de estabilidade da falésia da Praia de Cacimbinhas na condição inundada, os resultados indicaram uma superfície crítica de ruptura, com um Fator de Segurança de 0,98. Esse valor evidencia que a falésia ao atingir a saturação o bem próxima desta condição torna-se instável e está sujeito a um colapso por deslizamento.

Na análise da falésia com solos não saturados (umidade natural), obteve-se um Fator de Segurança de 1,75, indicando que a falésia se encontra em uma condição estável.

Na condição não saturada, o talude apresenta um Fator de Segurança (FS) de 1,75. Isso indica que as forças resistivas geradas pela sucção intergranular são suficientes para prevenir a ruptura. No entanto, quando em condições de solos inundado, a falésia tem sua estabilidade comprometida devido à redução na resistência

ao cisalhamento, o que aumenta o risco de ruptura. Em condições normais durante a maior parte do ano prevalece a condição de não saturação dos solos. Na Tabela 6 são apresentados os Fatores de segurança para as situações consideradas.

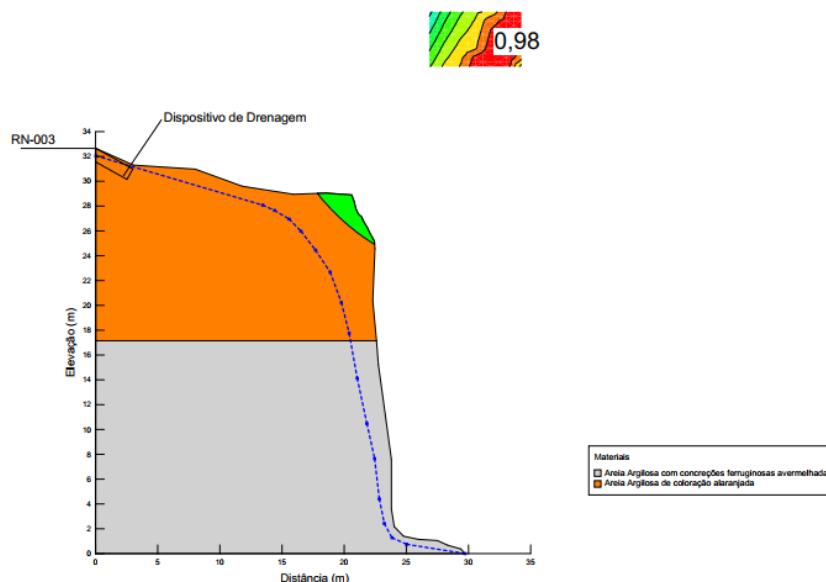


Figura 9. Análise de estabilidade com solos na condição saturada – FS = 0,98. Fonte: Autores, 2024.

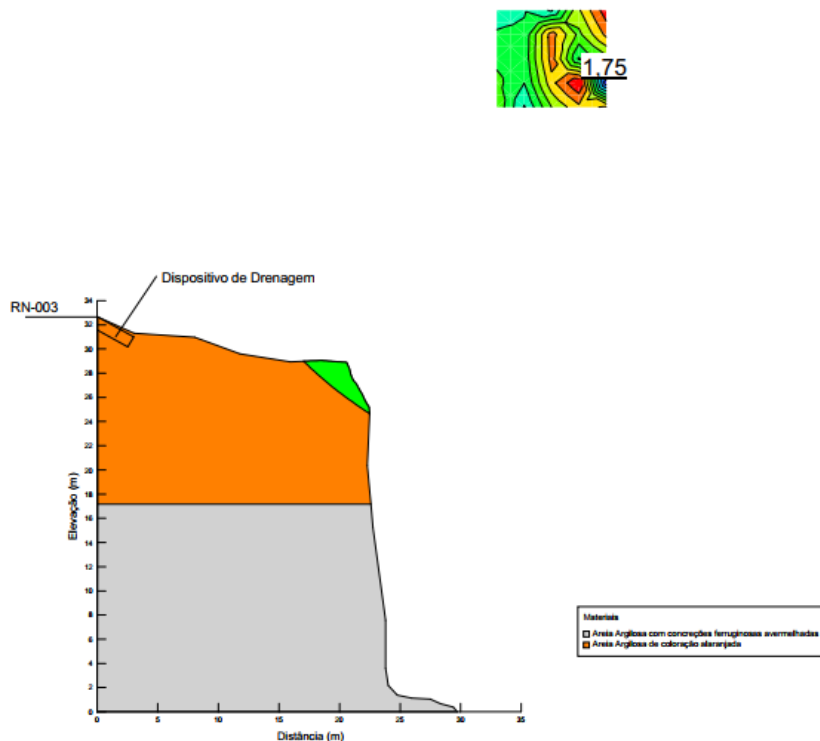


Figura 10. Seção 01: Análise de estabilidade com solos na condição de umidade natural – FS = 1,75. Fonte: Autores, 2024.

Tabela 6. Resultados Fatores de Segurança (FS) das falésias da Praia do Madeiro.

Análises de Estabilidade	FS Solos Não Saturados	FS Solos Saturados
Seção Analisada	1,75	0.98

5 CONCLUSÕES

As encostas da Praia de Cacimbinhas apresentaram Fatores de Segurança inferiores ao mínimo recomendado pela NBR 11.682 – Estabilidade de Encostas ($FS > 1,5$) quando os solos estão na condição inundada. Nesse contexto, é essencial adotar medidas imediatas e eficazes para mitigar os riscos e garantir a estabilidade da área.

Dentre as recomendações, sugere-se a implementação de um sistema de drenagem eficiente ao longo da RN-003, com a construção de sarjetas, canaletas de drenagem e dissipadores de energia. Essas medidas visam evitar a descarga direta das águas pluviais sobre o topo das encostas, minimizando a infiltração e o aumento da saturação do solo, que são fatores críticos para a instabilidade.

É também recomendada a realização de estudos periódicos sobre a evolução da instabilidade da área, com monitoramento constante das condições do solo e da estrutura da falésia. O uso de tecnologias, como sensores de umidade e dispositivos de monitoramento geotécnico, pode fornecer dados em tempo real sobre o comportamento das encostas e permitir a implementação de medidas preventivas de forma mais eficaz.

Conclui-se que a elaboração e execução de projetos de drenagem, aliados a medidas de mitigação e controle, são fundamentais para reduzir o risco de deslizamentos e quedas de blocos, além de preservar a integridade da paisagem e minimizar os impactos dos processos erosivos. Essas ações contribuirão para a segurança da área, garantindo a estabilidade a longo prazo e a preservação ambiental, sem comprometer o uso da região de forma sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). NBR 11.682. *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.
- Autores. Correia Lima, K. L. P. (2025). *Análise de Estabilidade das Falésias na Praia de Cacimbinhas, Litoral Leste do Rio Grande do Norte*. TCC Engenharia Civil. IFRN, Natal.
- Diniz, R. F. (2002). *A erosão costeira ao longo do litoral oriental do Rio Grande do Norte: causas, consequências e influência nos processos de uso e ocupação da região costeira*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Santos Jr, O. F.; Severo, R. N. F.; Scudelari, A. C.; Amaral, R. F do. (2008). *Processo de Instabilização em Falésias: Estudo de um Caso no Nordeste do Brasil*. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, SPG, ABMS, ABGE. N. 114, p. 71-90.
- Santos Jr., O. F.; Freitas Neto, O. de; Severo, R. N. F.; Scudelari, A. (2014). *Sea cliff stability in Tibau do Sul, Brazil*. Advanced Materials Research, 1065-1069, 540–544.
- Santos Jr, O. F.; Coutinho, R. Q.; Severo, R. N. F. (2015). *Propriedades geotécnicas dos sedimentos da Formação Barreiras no litoral do Rio Grande do Norte - Brasil*. Geotecnia, v. 134, p. 87–108.
- Severo, R. N. F. (2005). *Análise da estabilidade das falésias entre Tibau do Sul e Pipa – RN*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal..
- Severo, R.N.F. (2011). *Caracterização geotécnica da falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul - RN considerando a influência do comportamento dos solos nos estados indeformado e cimentado artificialmente*. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Severo, R. N. F.; Santos JR, O. F.; Coutinho, R. Q. (2012). Propriedades geotécnicas de uma falésia da Formação Barreiras compostas de solos cimentados naturalmente. *Anais Cobramseg*. Porto de Galinhas-PE.
- Silva, W. S. (2003). *Estudo da dinâmica superficial e geotécnico das falésias do município de Tibau do Sul – Litoral Oriental do RN*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Sousa, M. P.; Fernandes, E.; J. C. V. Ferreira, J. C. V.; Melo, M.T. C. *Caracterização sedimentológica da duna de Cacimbinhas–Tibau do Sul-RN*. Revista Geonorte, v. 3, n. 4, p. 526-539, 2012.