



XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ESTABILIDADE DE FALÉSIAS NO LITORAL DO RN SUBMETIDAS A FENDAS DE TRAÇÃO E INCISÃO BASAL

David Esteban Diaz Taquez¹; Nathalia Marinho Barbosa ²; Breno Marques Ferreira da Silva³;
Osvaldo de Freitas Neto ⁴; Olavo Francisco dos Santos Júnior ⁵

RESUMO – A ação marinha exerce grande influência sobre o processo de evolução da posição e forma da linha costeira. Este estudo avalia a estabilidade de falésias, situadas no litoral sul do Rio Grande do Norte, mais precisamente no município de Tibau do Sul. Nestas falésias foram observadas fendas causadas por diversos motivos e.g. avanço da erosão basal, condições marinhas e climáticas da região, ação antrópica e propriedades de resistência dos materiais. O objetivo desse trabalho é avaliar os prováveis mecanismos de ruptura, das falésias da zona litorânea do Rio Grande do Norte, através de análises de estabilidade de taludes, e dessa forma, contribuir para uma reavaliação do uso e ocupação das áreas costeiras.

ABSTRACT – Marine action carried out great influence on the process of evolution of the position and shape of the coastline. This study assesses the stability of cliffs, located on the southern coast of Rio Grande do Norte, more precisely in the municipality of Tibau do Sul, subjected to tensile cracks caused by various reasons e.g. notchs, marine and climatic conditions of the region, human action and strength properties of soils. The aim of this study is to evaluate failure mechanisms of seacliffs of the coastal zone, through slope stability analysis, and thus contribute to a reassessment of the use and occupation of coastal areas.

1) Universidade Federal do Rio Grande do Norte: BR-101 s/n Campus Universitário, Lagoa Nova - Natal/RN. davidesteban002@hotmail.com

2) Universidade Federal do Rio Grande do Norte: BR-101 s/n Campus Universitário, Lagoa Nova - Natal/RN. Cel. (84) 99159-1891. nathaliamarinhobarbosa@hotmail.com

3) Universidade Federal do Rio Grande do Norte: BR-101 s/n Campus Universitário, Lagoa Nova - Natal/RN. Cel. (84) 98703-3936 brenomarquesfs@gmail.com

4) Universidade Federal do Rio Grande do Norte: BR-101 s/n Campus Universitário, Lagoa Nova - Natal/RN. Cel. (84) 9885-81230 osvaldoecivil@gmail.com

5) Universidade Federal do Rio Grande do Norte: BR-101 s/n Campus Universitário, Lagoa Nova - Natal/RN. Cel. (84) 99471-3020 olavo@ct.ufrn.br

1 – INTRODUÇÃO

A evolução da linha costeira está diretamente associada a processos erosivos, principalmente em decorrência erosão basal em falésias. A erosão basal pode ser definida como a destruição mecânica do solo, com remoção de material do "pé" do talude costeiro, sendo de acordo com Young A.P. (2015), largamente atribuído à ação marinha e seus processos como, impacto direto das ondas, abrasão e correntes marinhas nas falésias vivas, com diminuição do volume de sedimentos que protegem sua base. Com isso, há a formação de grandes incisões na base das falésias costeiras, podendo provocar instabilização na parte superior do maciço, na forma de escorregamentos, quedas e tombamentos.

Segundo Terzaghi (1950) *apud* Richards e Lorriman (1987) a erosão basal combina-se a fatores passivos, referentes a litologia, estratigrafia, estrutura e topografia e deflagradores (ativos), os quais são associados à perda de resistência ao cisalhamento devido ao intemperismo e aumento da poro-pressão, acionando movimentos de massa.

Outro fator determinante na instabilização de encostas, é o surgimento de fendas de tração. Geralmente, essas fendas são observadas tanto no topo das falésias, resultado principalmente da erosão pluvial (intemperismo), ocorrendo inclusive a formação de ravinas e voçorocas, como na zona próxima à incisão basal. De acordo com Silva *et al.* (2016), observou-se que conforme a incisão basal progride, surge uma região sob tração adjacente à mesma. Esse comportamento, aliado ao impacto gerado pelas ondas e correntes marinhas, justificam a tendência a outros tipos de movimentos de massa, e.g. tombamentos e quedas de blocos.

Dessa forma, é de extrema relevância entender e avaliar os prováveis mecanismos de ruptura relacionados aos processos erosivos, e assim continuar auxiliando as políticas de uso e ocupação do solo.

2 – DESCRIÇÃO GERAL ÁREA

As características da região exercem influência direta nos mecanismos de recuos costeiros. De acordo com Diniz (2002), a linha de costa norte-rio-grandense é formada por uma grande sequência de baías em forma de zeta (anzol), as quais são explicadas essencialmente pela presença de dois fatores: o domínio das ondas de sudeste e a presença de promontórios. Essa tipologia é uma das evidências mais importantes do balanço sedimentar nos processos erosivos costeiros.

A área objeto de estudo localiza-se no município de Tibau do Sul, a aproximadamente 60km da capital Natal, no litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. Consiste em um trecho de aproximadamente 16km de extensão composto por praias e falésias ativas da Formação Barreiras. Nessa região é evidenciado um trecho com erosão mais severa que se inicia nas proximidades de Pipa e se estende para Norte, progredindo por 1,6km, atuando sobre imponentes falésias da Formação Barreiras (Figura 1).

Conforme Severo (2005), as rochas sedimentares e os sedimentos ocupam praticamente toda a porção litorânea oriental potiguar, sendo representados predominantemente, da base para o topo, pelas rochas carbonáticas e areníticas cretácias e terciárias das Bacias Potiguar e Pernambuco-Paraíba, os depósitos areno-argilosos terciário-quadernários da Formação Barreiras, culminando com as acumulações quadernárias compostas pelos arenitos de praia e sedimentos arenosos, argilosos e argilo-arenosos de ambientes fluviais, lacustres estuarinos, dunares e praias.



Figura 1 - Evidências de erosão nas falésias, com deslocamento causado por solapamento e posterior deposição de sedimentos, na praia da Baía dos Golfinhos - Pipa/RN (Piérri, 2008).

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar a influência direta da presença de fendas de tração e incisão basal na estabilidade dos taludes costeiros situados em Tibau do Sul/RN, foram modeladas falésias características com feições geométricas típicas da região, por meio do programa computacional Optum G2. A finalidade foi calcular o fator de segurança (FS) e sua variação conforme a presença de fendas de tração, através do método de elementos finitos SRM (Strength Reduction Method).

Neste trabalho foram adotados taludes com ângulos de 45° (Figura 2a) e 90° (Figura 2b), com altura fixa de 35m. A escolha dos mesmos é devido ao fato de serem perfis representativos da área de estudo. Também foi considerada a existência de uma incisão basal de 2 m de comprimento e as fendas de tração foram posicionadas da seguinte maneira: perfil 45° - na região do topo, no primeiro patamar, próximo a incisão e atingindo a incisão basal; perfil 90° - na região do topo, na região intermediária e atingindo a incisão basal. O comprimento das fendas adotados foram 3 m, 6 m e 9 m. Para todos os casos, considerou-se na modelagem a presença e ausência de água nas fendas de tração.

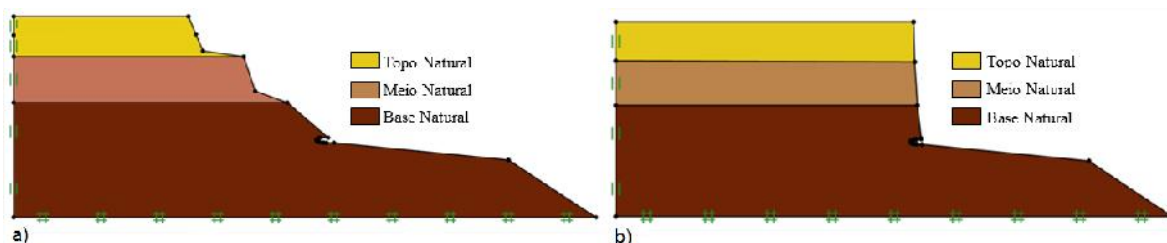


Figura 2 - a) Perfil de 45°; b) Perfil de 90°.

As propriedades de resistência dos materiais e de deformabilidade utilizadas foram obtidas a partir de Severo (2005) (Tabela 1). Os módulos de deformabilidade, ou módulo de Young, foram obtidos a partir das curvas tensão-deformação. Os parâmetros de resistência de pico dos solos da falésia da Ponta do Pirambu (Tibau do Sul) foram obtidos, através de ensaios de resistência ao cisalhamento direto e triaxiais consolidados isotropicamente drenados (CID).

Tabela 1 - Resumo dos parâmetros de resistência e módulo de deformabilidade (módulo de Young) dos solos, utilizados nas simulações (Severo 2005; 2011).

Solo	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E (MPa)
Solo 1 Natural	15,35	233	27,7	14,7
Solo 2 Natural	15,35	233	27,7	71,6
Solo 3 Natural	18,81	384,1	28,4	88,8

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Análises de estabilidade pelo Método SEM

Os resultados das análises de estabilidade de taludes mostram, conforme o suposto, uma diminuição dos FS nas situações em que a fenda de tração é preenchida por água. A Figura 3 expõe essa suposição. Ao avaliar os perfis, cujas fendas de tração atingem a incisão basal, constata-se que

o FS é menor que 1, sugerindo um deslocamento da massa de solo da face do talude, como mostra a Figura 3. Esse comportamento é observado tanto no perfil de 45° quanto no de 90°.

As hipóteses sugerem que para o perfil de 45° os FS são maiores que para os de 90°, fato que é constatado nas análises e compilados nas Tabela 2 e Tabela 3. É possível observar que para o perfil de 45° as fendas de tração, tanto no topo quanto no patamar, e também próximas à incisão, provocam mudanças pequenas nos valores de FS. Pode ser constatado também que quanto menor a extensão da fenda, menor o efeito provocado pela água nos FS, ocorrendo uma diminuição pequena, sem provocar o tombamento. Já em relação ao perfil de 90°, as fendas geram uma condição de ruptura em forma de deslocamento quando preenchidas por água, como pode ser evidenciado na Tabela 3 e na Figura 3b. A ruptura só não é observada para a fenda com menor extensão localizada no topo. Sendo assim, de modo geral, a presença de fendas em taludes de 90° é mais preocupante que em taludes de 45°, conforme era de se esperar.

Tabela 2 – Dados referentes às análises dos Perfis de 45°

Modelo: Perfil 45°				
Localização da fenda	Situação	Presença de água	Fator de segurança	Tombamento
Fenda vertical até incisão	Fenda até topo da incisão	Não	< 1,0	Sim
Talude incisão	Fenda 3 m	Não	7,05	Não
Sem Fendas		Não	7,05	Não
Topo	Fenda 3 m	Não	7,05	Não
Patamar 1	Fenda 3 m	Não	7,05	Não
Patamar 1	Fenda 6 m	Não	7,05	Não
Topo	Fenda 6 m	Não	7,07	Não
Fenda vertical até incisão	Fenda até topo da incisão	Sim	< 1	Sim
Talude incisão	Fenda 3 m	Sim	6,23	Não
Patamar 1	Fenda 3 m	Sim	5,30	Não
Patamar 1	Fenda 6 m	Sim	5,83	Não
Topo	Fenda 6 m	Sim	5,30	Não
Topo	Fenda 3 m	Sim	6,38	Não

Tabela 3 - Dados referentes às análises dos Perfis de 90°

Modelo: Perfil 90°				
Localização da fenda	Situação	Presença de água	Fator de segurança	Tombamento
Fenda vertical até incisão	Fenda até topo da incisão	Não	< 1	Sim
Meio	Fenda 6 m - inclinada	Não	3,45	Não
Sem Fenda		Não	3,45	Não
Topo	Fenda 3 m	Não	3,46	Não
Topo	Fenda 9 m	Não	3,46	Não
Meio	Fenda 3 m - inclinada	Não	3,46	Não
Topo	Fenda 6 m	Não	3,46	Não
Fenda vertical até incisão	Fenda até topo da incisão	Sim	< 1	Sim
Meio	Fenda 6 m	Sim	< 1	Sim
Topo	Fenda 9 m	Sim	< 1	Sim
Meio	Fenda 3 m - inclinada	Sim	< 1	Sim
Topo	Fenda 6 m	Sim	1,02	Sim
Topo	Fenda 3 m	Sim	2,91	Não

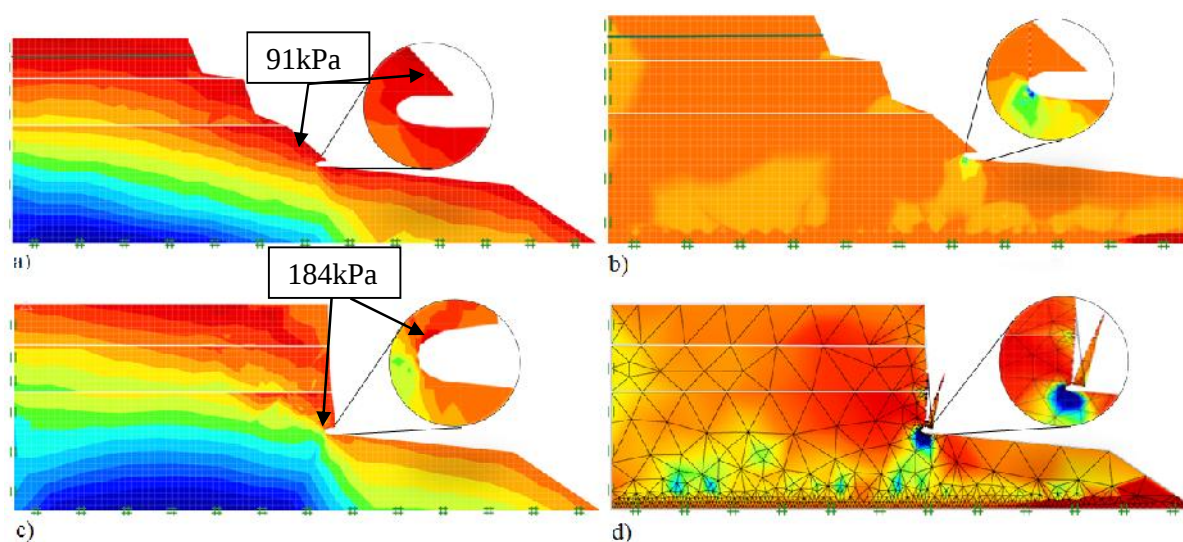


Figura 3 - Distribuições de tensões nos modelos de taludes de 45° (a) e (b) e 90° (c) e (d), com presença de fendas em (b) e (d).

No caso do perfil de 45° (Figura 4a é possível observar tensões de tração na face e no topo da falésia, com valores até 91 kPa e tensões de compressão na região da incisão basal. Com a presença de fendas de tração (Figura 4b) ocorre um aumento nas tensões de tração na região superior da incisão

basal e o surgimento de tensões de compressão na base da incisão, possibilitando a eventual ruptura. Os resultados apresentados para o perfil de 90° (Figura 4c) seguem de forma análoga ao descrito anteriormente no que diz respeito à progressão das tensões. Porém, com valores superiores.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que ao considerar a presença de fendas de tração atingindo a incisão basal ocorre a ruptura do perfil. Esse fato é ainda mais preocupante em perfis verticais, visto que ocorre uma diminuição acentuada nos FS observados.

5 – CONCLUSÕES

Os movimentos de massa em áreas costeiras necessitam de um interesse maior pelas autoridades e engenheiros, visto que engloba diversos fenômenos antrópicos e naturais, que podem provocar perdas humanas e materiais. Os processos naturais estudados visaram correlacionar a influência da incisão basal e fendas de tração numa situação preenchida por água, que são evidenciadas principalmente após chuvas.

Mediante as análises realizadas neste estudo e as comparações realizadas, o entendimento dos processos erosivos e os mecanismos de ruptura dos taludes, é possível inferir alguns pontos importantes em perfis com presença de fendas de tração e como isto influencia na estabilidade dos taludes:

- As fendas de tração em perfis menos íngremes, como de 45°, não interferem na estabilidade, caso sejam preenchidas por água. O que se observa é uma diminuição pequena nos valores dos FS.

- Para os perfis íngremes (90°), a presença de água nas fendas provoca sua instabilidade observada pela ocorrência de tombamento, uma vez que o FS foi menor que a unidade. Em relação ao comprimento das fendas, quanto maior for sua extensão dentro do maciço de solo, menores serão os FS calculados (Tabela 3).

- As análises de Tensão x Deformação evidenciam a influência da erosão basal na estabilidade de falésias de forma direta. Concomitantemente à evolução da incisão basal, surgem tensões mais elevadas em regiões vizinhas à mesma, sobretudo no modelo com 90° de inclinação;

- À medida que a incisão basal progride, surge uma região sob tração. Esse comportamento, aliado ao impacto gerado pelas ondas e correntes marinhas, justifica a tendência a outros tipos de movimentos de massa, e.g. tombamentos e quedas de blocos (modo de ruptura esperado). Esses mecanismos de ruptura estão contemplados nessas análises de estabilidade, visto que tais movimentos de massas são frequentes na região.

AGRADECIMENTOS - Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo apoio técnico e acadêmico a esta pesquisa.

6 - BIBLIOGRAFIA

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 da Universidade Federal da Bahia;

PIÉRRI, G.C.S. (2008). Análise de Risco à Erosão Costeira na Região de Tibau do Sul/RN Através de Mapeamento Geoambiental e Análise Morfodinâmica. Tese de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

RICHARDS, K.S. e LORRIMAN, N.R. (1987). "Slope Stability - Geotechnical Engineering and Geomorphology, Chapter 10 Basal Erosion and Mass Movement". Editado por Anderson M.G. e Richards K.S. pp. 331-355;

SEVERO, R.N.F. (2005). "Análise da Estabilidade das Falésias entre Tibau do Sul e Pipa - RN." Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

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 da Universidade Federal de Pernambuco;

SILVA, B.M.F.; FREITAS NETO, O.; SANTOS JÚNIOR, O.F.; SEVERO, R.N.F.; BARBOSA, N.M. (2016). "Influência da Incisão Basal na Estabilidade de Falésias no Litoral do RN", in COBRAMSEG 2016;

YOUNG, A.P. (2015). "Recent deep-seated coastal landsliding at San Onofre State Beach, California", in Geomorphology 228 (2015) 200-212;

YOUNG, A. P.; ASHFORD, S. A. (2008) Instability investigation of cantilevered seacliffs. Earth Surface Processes and Landforms, v. 33, n. 11, p. 1661-1677.