

ANÁLISE CINEMÁTICA EM TALUDE DE PEDREIRA DESATIVADA EM PACATUBA, REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

David dos Santos ¹; Eduardo Gurgel Reis ²; César Ulisses Vieira Veríssimo ³; Sebastián González Chiozza ⁴

Resumo – A análise cinemática do maciço rochoso toma por base as atitudes dos planos de fraqueza em relação à atitude da vertente ou do talude, levando-se em conta os ângulos de atrito ou de fricção atuantes ao longo destes planos. Este processo é feito pela representação gráfica das descontinuidades através do uso de uma rede estereográfica de Schmidt-Lambert. O presente trabalho foi realizado em uma mina desativada de brita (Pedreira Britaboa), na serra da Monguba, situada no município de Pacatuba, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Ceará. Foram realizadas 85 medições das orientações das descontinuidades ao longo de duas direções perpendiculares entre si, que posteriormente foram projetadas no *software Dips* para se efetuar a análise estatística. Com base nessas análises e nas observações de campo foi possível identificar a possibilidade da ocorrência de três tipos de ruptura do talude: ruptura planar (76,92% das medidas), tombamento (4,94% das medidas) e ruptura em cunha (45,51%), esse último sendo desconsiderado pelo fato de não haver afloramentos contendo a interseção entre os planos simulada pelo *software Dips*.

Abstract – The kinematic analysis of the rock mass is based on the attitudes of the weakness planes in relation to the attitude of the slope, considering the friction angle along these planes. This process is made by the graphical representation of the discontinuities using the equal-area Schmidt-Lambert net. This work was carried out in a deactivated mine of gravel (Pedreira Britaboa), in the Monguba mountain range, located in the municipality of Pacatuba, in the Metropolitan Region of Fortaleza (RMF), Ceará. A total of 85 measurements of the discontinuities orientations were made along two perpendicular directions, which were later plotted in the *Dips software* to perform the statistical analysis. Based on these analyses and field observations, it was possible to identify three plausible types of slope sliding occurrences: planar sliding (76,92% of measurements), direct toppling (4,94% of measurements) and wedge sliding (45,51%), the latter being disregarded due to the fact that there are no outcrops containing the intersection between the planes simulated by *Dips*.

Palavras-Chave – Análise cinemática; estabilidade de talude; maciço rochoso.

1 Aluno, Universidade Federal do Ceará: Fortaleza – CE, (85) 98170-2201, d_santos12@hotmail.com

2 Aluno, Universidade Federal do Ceará: Fortaleza – CE, (85) 98886-4717, eduardogurgel96@hotmail.com

3 Prof., Dr., Universidade Federal do Ceará: Fortaleza – CE, (85) 3366-9866, verissimo@ufc.br

4 Prof., Dr., Universidade Federal do Ceará: Fortaleza – CE, (85) 3366-9867, sebastian@ufc.br

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado em uma antiga pedreira de extração de brita para construção civil (Britaboa), situada na serra da Monguba, no município de Pacatuba, Região Metropolitana de Fortaleza (figura 1), localizado nas cartas topográficas Fortaleza (Folha SA.24-Z-C-IV) e Baturité (Folha SB.24-X-A-I) (Feitosa, 1998). O talude estudado possui aproximadamente 250m de comprimento.

O acesso à área se dá através do Km 15 da CE-060, que vai de Fortaleza a Pacajus iniciando-se na Avenida Godofredo Maciel, em Fortaleza. Atualmente o local corresponde a uma área de proteção pertencente à Tribo Pitaguary, residente nos municípios de Maranguape e Pacatuba, podendo ser facilmente localizado com o auxílio de mecanismos de pesquisa pois lá encontra-se o Museu Indígena Pitaguary.

A área em questão apresenta uma grande cicatriz de um antigo deslizamento ocorrido na década de setenta, além de blocos rolados recentemente na base da serra. Nesse contexto, com o objetivo de estudar os fatores que condicionam a estabilidade do talude e delimitar as zonas com maior susceptibilidade à ocorrência de quedas ou deslizamentos, foi realizado um levantamento sistemático das estruturas que potencialmente poderiam levar à compartimentação do maciço. Esta delimitação se mostra importante pelo fato da área se encontrar muito próxima a regiões habitadas, podendo representar um risco para os eventuais transeuntes.

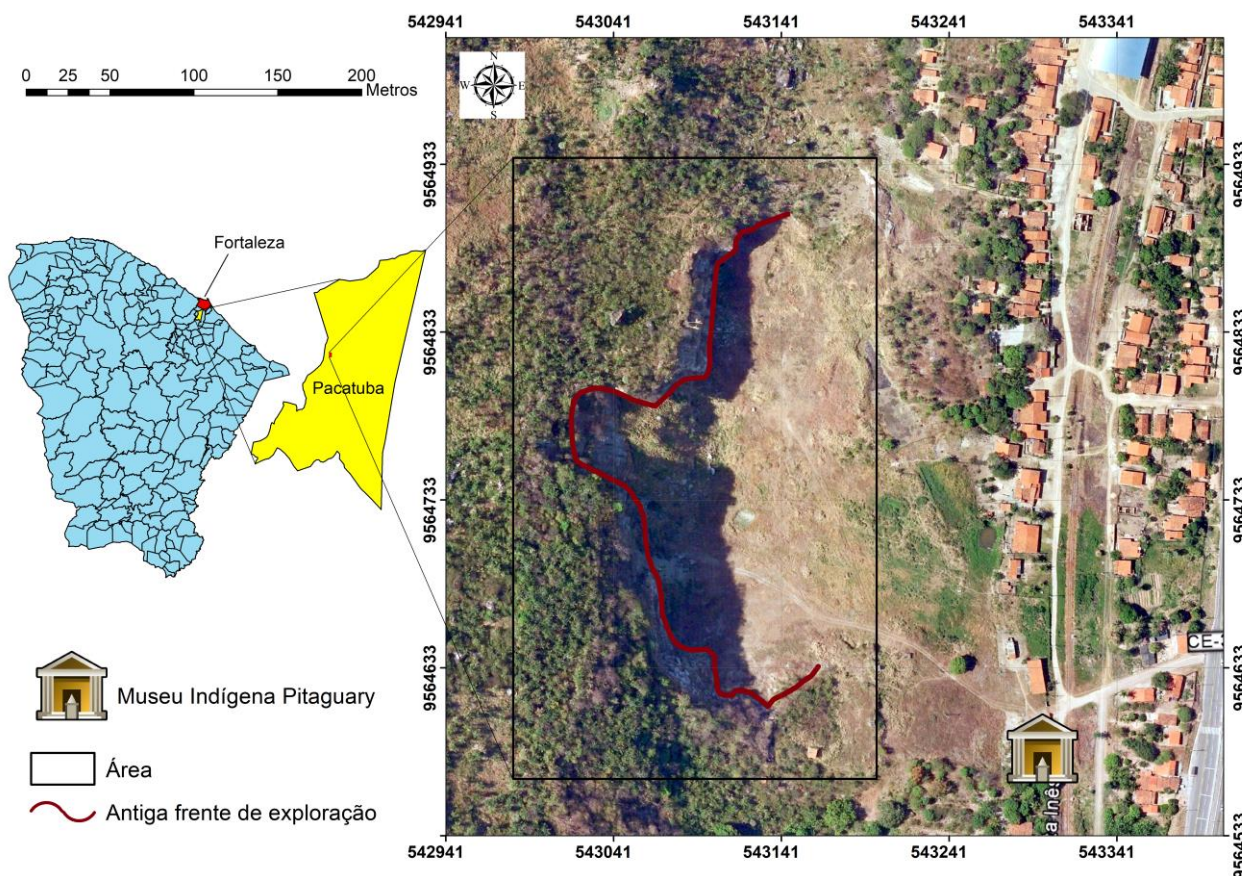


Figura 1. Localização da área de estudo no município de Pacatuba.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA ESTUDADA

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) está inserida geologicamente no extremo norte da Província Borborema, no contexto geotectônico da Faixa de Dobramentos Jaguaribeana (Almeida et al, 1977; apud Mota, 1998). Segundo Brandão (1995), a configuração geológica desta região está caracterizada pela ocorrência de sequências do Proterozóico Inferior, sotopostas às do Proterozóico Superior, deformadas conjuntamente no Ciclo Brasileiro. Essas rochas supracrustais tem sido agrupada sob a denominação de Complexo Ceará, caracterizado por um estilo estrutural não linear com amplas exposições de embasamento Pré-Brasiliano e ocorrência comum de rochas máficas e ultra-máficas. (Mota, 1998; apud Batista, 2010). De acordo com Brandão (1995), a região é dominada por um complexo gnáissico-migmatítico que ocupa principalmente os terrenos rebaixados pela erosão diferencial que deixou saliente na topografia as áreas constituídas por granitoides, os quais apresentam suas melhores exposições na porção ocidental da RMF, nas serras de Monguba, Maranguape e Itaitinga (DNPM, 1998).

A área da pedreira Britaboa localiza-se no extremo NE da Serra de Monguba, cuja orientação obedece aproximadamente ao trend regional da foliação tectono-metamórfica relacionada à orogênese Brasileira (NNE-SSW).

Afloram no local rochas predominantemente graníticas e migmatíticas, com as migmatíticas apresentando foliação bem definida. Ao longo de todo o maciço, estas litologias encontram-se cortadas por descontinuidades planares de orientação E-W, interpretadas como planos de falhas, bem como por fraturas irregulares, interpretadas como juntas de alívio. Destaca-se que as mencionadas estruturas são, por vezes responsáveis pela compartimentação de blocos do talude.

3. METODOLOGIA

3.1 Levantamento de campo

Nos setores acessíveis do talude foram realizados levantamentos sistemáticos georreferenciados das descontinuidades ao longo de duas direções perpendiculares entre si, efetuando-se os seguintes registros mediante a utilização de bussola e trena: atitude, espaçamento, persistência, rugosidade, grau de alteração das paredes, abertura e preenchimento nas aberturas, presença de água e vegetação.

3.2 Análise Cinemática

Segundo Fiori (2015), a cinemática estuda a movimentação dos corpos, sem fazer, entretanto, referências às forças que causam o movimento. Quando aplicada na análise de estabilidade de blocos, com base nas atitudes dos planos de fraqueza em relação à atitude da vertente ou do talude, leva-se em consideração o ângulo de atrito ou de fricção atuante ao longo destes planos. De modo geral, os escorregamentos em maciços rochosos podem ser classificados em quatro tipos principais: escorregamentos planares, escorregamentos circulares, escorregamentos em cunha e tombamento de blocos. A Figura 2 ilustra os quatro tipos de rupturas mais comuns determinadas por descontinuidades, que podem condicionar diretamente o mecanismo e a geometria da ruptura em maciços rochosos.

Neste trabalho a análise cinemática é realizada graficamente através da projeção estereográfica, na qual os planos medidos podem ser representados como polos ou vetores, permitindo a identificação das famílias de descontinuidades que compartimentam o talude. Para efetuar a análise estatística, foram processadas 85 medições de atitudes das descontinuidades através do *software Dips 7.0* da *Rocscience*®. Para o cálculo do ângulo de atrito (ϕ_r) das descontinuidades foi utilizado o critério de Barton (2002), com o qual valor angular é determinado

através da equação 1, onde J_r é um valor baseado no índice de rugosidade das fraturas e J_a é um valor baseado no índice de alteração das paredes das fraturas.

$$\phi_r = \tan^{-1} \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \quad (1)$$

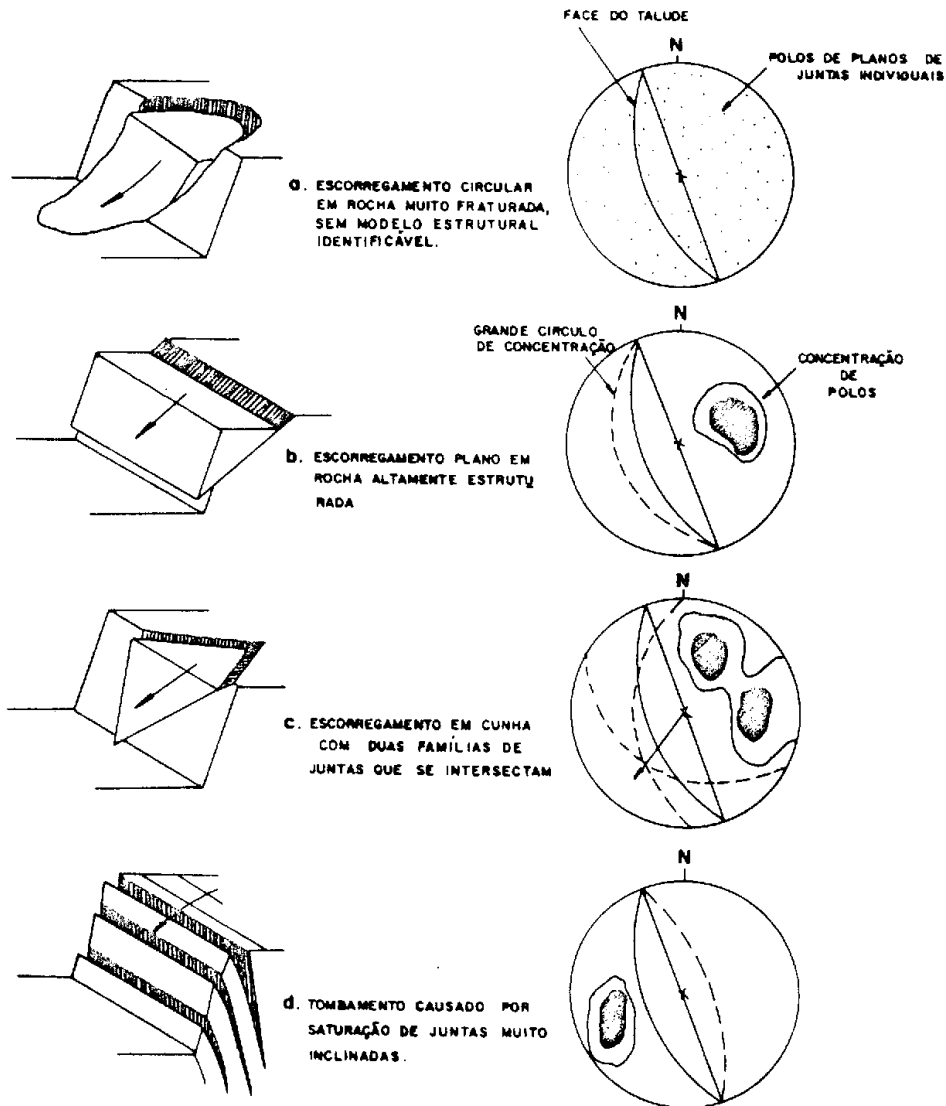


Figura 2. Principais tipos de deslizamentos em taludes e respectivos estereogramas com ilustração das concentrações máximas dos polos dos planos ativados em relação à face dos taludes (Hoek & Bray 1981).

4. RESULTADOS

4.1 Caracterização Estrutural e Geotécnica

Através da análise estatística foi possível definir a predominância, a orientação média e a variação de cada família de descontinuidades. Desta forma verificou-se que existem três famílias: uma sub-vertical representada por planos de falha com direção E – W caindo por vezes para N e outras para S; outra sub-vertical correspondente a planos de foliação com direção NNE - SSW e uma terceira família sub-horizontal apresentando fraturas de alívio com direção N - S.

Adicionalmente, foram identificados os seguintes fatores que contribuem com a instabilidade do maciço: 1) presença de aberturas com valores centimétricos nas descontinuidades; 2) ocasional preenchimento com material areno-argiloso, o qual evidencia a ação do intemperismo e colabora para a diminuição da resistência ao atrito da rocha; 3) percolação de água em algumas fraturas, favorecendo também o intemperismo e reduzindo o atrito; 4) presença de vegetação em boa parte da face do talude, fazendo com que haja um intemperismo físico ao longo das aberturas das descontinuidades pela ação mecânica do crescimento de raízes.

4.2. Análise Cinemática

As descrições de campo das descontinuidades, permitiram caracteriza-las como fraturas polidas onduladas com paredes apresentando películas siltosas ou areno-argilosas. Considerando essas informações, adotaram-se os valores de 1,5 para o parâmetro J_r (índice de rugosidade) e de 3,0 para o parâmetro J_a (índice de alteração). Com esses valores foi calculado um valor de ângulo de atrito interno (ϕ_r) de 27° que foi introduzido no *software Dips 7.0* da *Rocscience*®, para realizar a análise cinemática. Em todos os casos foi utilizada a orientação geral do talude principal da antiga pedreira que se apresenta com mergulho de aproximadamente 80° na direção azimutal 085° .

4.2.1. Ruptura planar

Na análise para ruptura apresentada na figura 3, todas as medidas realizadas em campo foram plotadas no estereograma, no qual posteriormente foram classificadas em famílias (campos delimitados com contornos vermelhos) de acordo com as suas atitudes. Em seguida foi inserida a janela de instabilidade potencial para deslizamento planar (área preenchida em vermelho no estereograma) determinada em função da atitude do talude, o ângulo de atrito, os planos apresentando mergulho menor que o do talude e uma variação de $\pm 20^\circ$ a partir da direção de mergulho da vertente.

Avaliando-se os resultados obtidos pelo software, foi possível concluir que há possibilidade de risco gerado pela família de fraturas presente no maciço, com 76,92% das medidas, relacionadas a fraturas, susceptíveis a causar a ruptura planar. Esse tipo de ruptura já é visualizado na frente do talude, como ilustrado na figura 4.

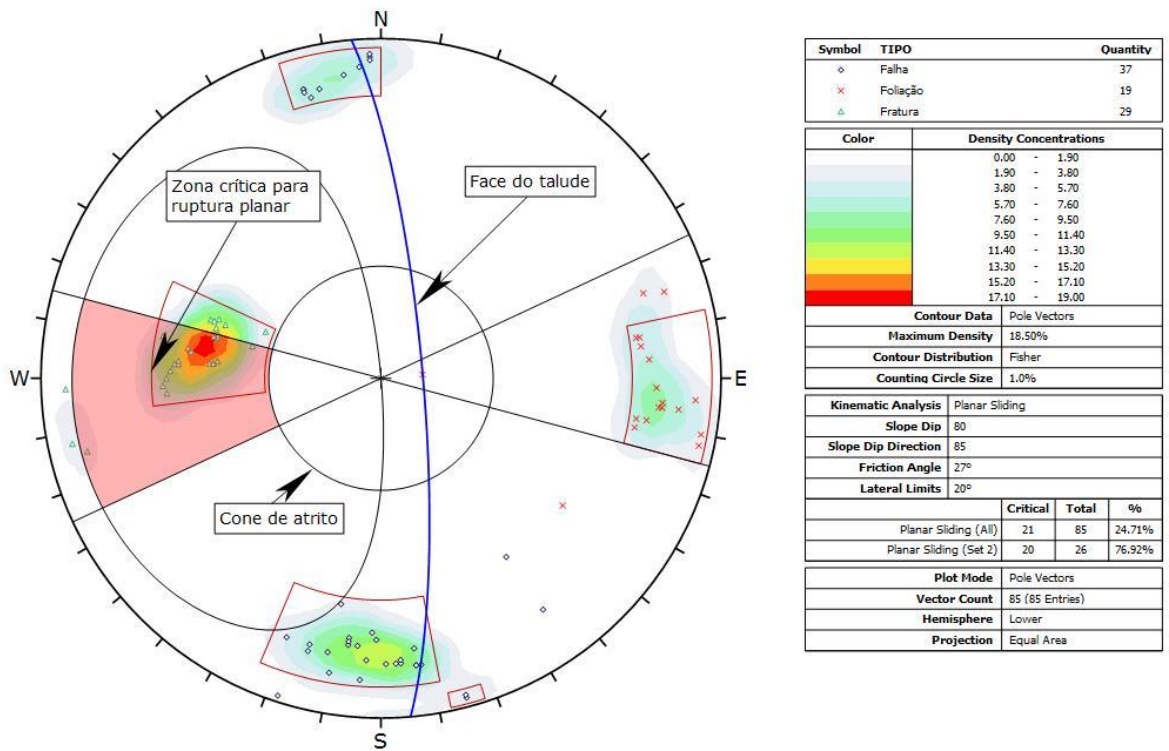


Figura 3. Estereograma da análise cinemática para ruptura planar usando *software Dips*.

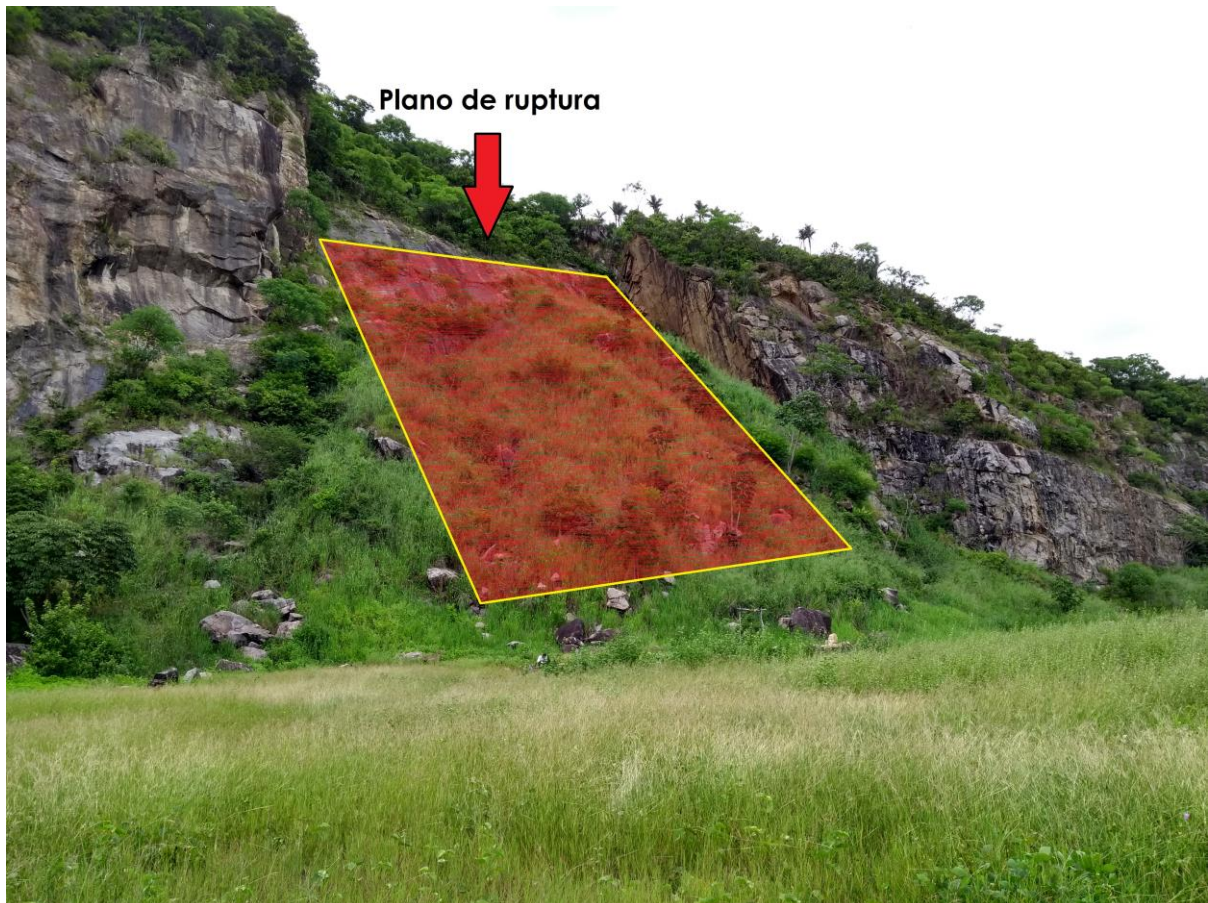


Figura 4. Frente do talude com cicatriz da ruptura planar e blocos sob detritos de movimentos de massa.

4.2.2. Ruptura em Cunha

Na análise para ruptura em cunha foram utilizadas todas as medidas tomadas em campo e foi executado através do programa o cálculo de todas as possíveis interseções entre as descontinuidades que são potenciais para a causa de ruptura em cunha (figura 5). A partir dos valores de ângulo de atrito, da inclinação do talude e seu sentido, foi plotada uma zona crítica (área preenchida em vermelho no estereograma) para ocorrência de ruptura em cunha.

A partir dos resultados obtidos pelo *software*, foi possível concluir que há possibilidade de ter risco gerado pelas interseções dos planos, com 45,51% de todas as possíveis interseções entre os planos dentro do campo crítico. Porém como não foi visualizado o afloramento desses planos se intersectando na vertente do talude, não se levou em consideração esse risco calculado.

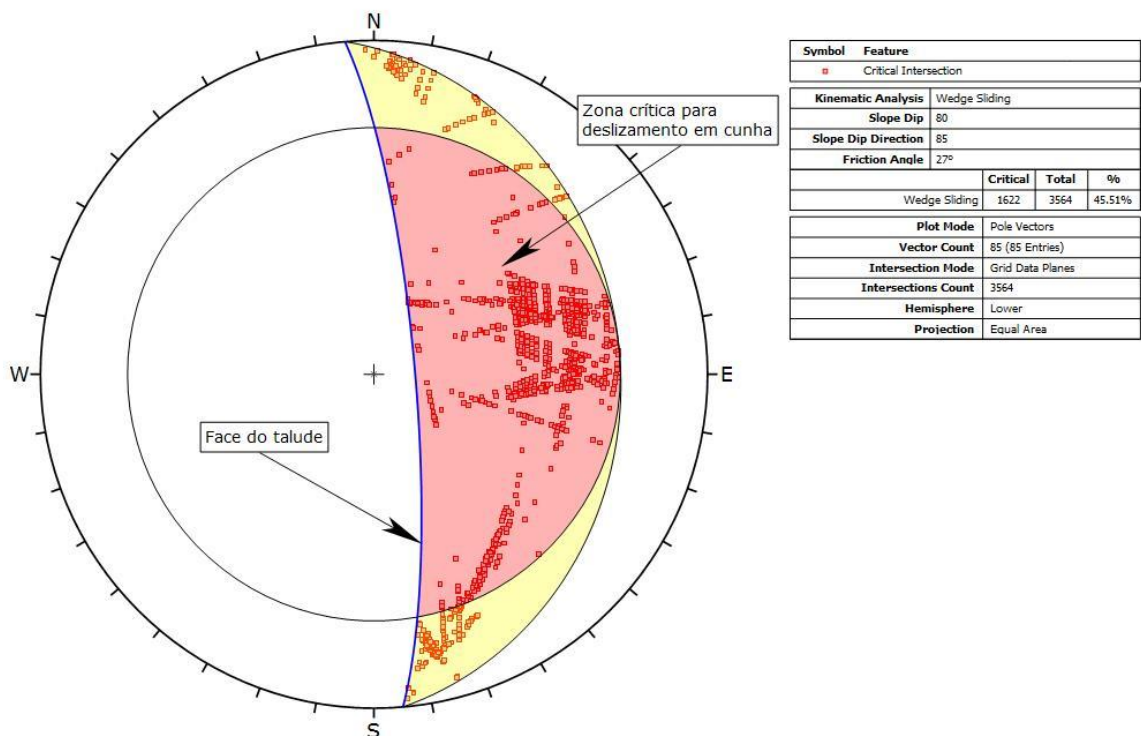
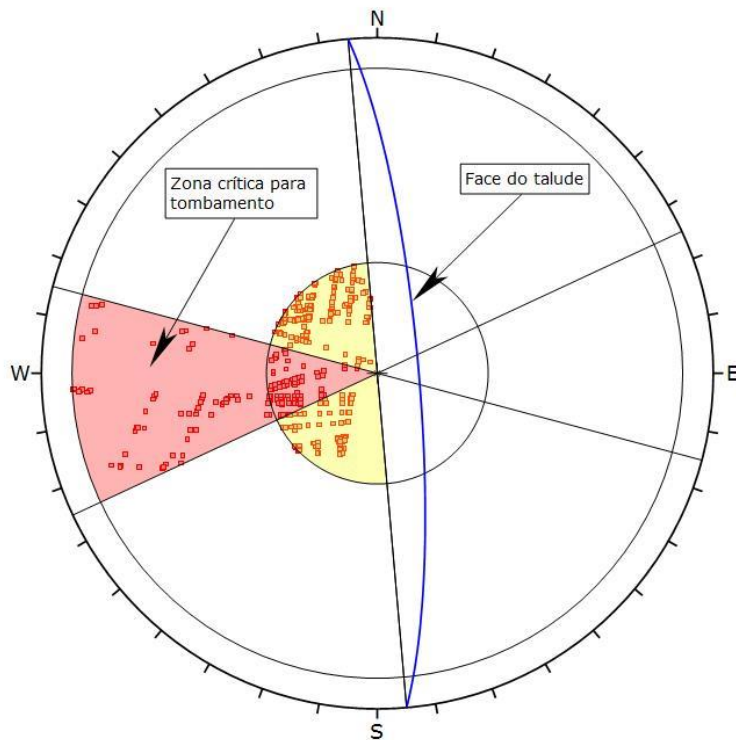


Figura 5. Estereograma da análise cinemática para ruptura em cunha usando *software Dips*.

4.2.3. Tombamento de Blocos

Para a análise de tombamento de blocos foram utilizadas todas as medidas tomadas em campo e foram calculadas pelo programa as interseções que apresentam potencial para causar tombamento de blocos. A análise realizada pelo programa, baseada no método descrito por Hudson e Harrison (2000), permitiu determinar as linhas de interseção com atitudes favoráveis ao tombamento de blocos (direção de caimento oposta à inclinação do talude considerando um intervalo azimutal de $\pm 20^\circ$). A figura 6 mostra o resultado desta análise, a partir da qual chegou-se à conclusão de que 4,94% das interseções geradas podem causar o tombamento de blocos, sendo as famílias da foliação e das falhas as que geram possibilidade de risco. As descontinuidades consideradas na análise foram visualizadas na face do talude como mostra a figura 7.



Symbol	Feature																				
■	Critical Intersection																				
Kinematic Analysis Direct Toppling																					
Slope Dip 80																					
Slope Dip Direction 85																					
Friction Angle 27°																					
Lateral Limits 20°																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Critical</th> <th>Total</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Direct Toppling (Intersection)</td> <td>176</td> <td>3564</td> <td>4.94%</td> </tr> <tr> <td>Oblique Toppling (Intersection)</td> <td>306</td> <td>3564</td> <td>8.59%</td> </tr> <tr> <td>Base Plane (All)</td> <td>21</td> <td>85</td> <td>24.71%</td> </tr> <tr> <td>Base Plane (Set 2)</td> <td>20</td> <td>26</td> <td>76.92%</td> </tr> </tbody> </table>		Critical	Total	%	Direct Toppling (Intersection)	176	3564	4.94%	Oblique Toppling (Intersection)	306	3564	8.59%	Base Plane (All)	21	85	24.71%	Base Plane (Set 2)	20	26	76.92%
	Critical	Total	%																		
Direct Toppling (Intersection)	176	3564	4.94%																		
Oblique Toppling (Intersection)	306	3564	8.59%																		
Base Plane (All)	21	85	24.71%																		
Base Plane (Set 2)	20	26	76.92%																		
Plot Mode Pole Vectors																					
Vector Count 85 (85 Entries)																					
Intersection Mode Grid Data Planes																					
Intersections Count 3564																					
Hemisphere Lower																					
Projection Equal Area																					

Figura 6. Estereograma da análise cinemática para tombamento de blocos usando *software Dips*.



Figura 7. Setor do talude estudado, ilustrando o mergulho subvertical da foliação tectono-metamórfica para o interior do talude condicionando tombamento de blocos.

5. CONCLUSÃO

O levantamento das discontinuidades e posterior tratamento estatístico permitiram a definição dos principais tipos de ruptura do talude estudado, bem como a delimitação do cone de atrito e zonas críticas de instabilidade.

A análise levou à constatação do risco da ocorrência, principalmente, de rupturas planares controladas pela interseção entre as fraturas de alívio, sub-horizontais, e planos sub-verticais

orientados aproximadamente E-W, correspondentes a planos de falhas. Uma vez que a maior parte do talude se apresenta orientado aproximadamente N-S, ou seja, perpendicular aos planos de falha, este tipo de ruptura é tido aqui como o mais provável.

Os tombamentos de blocos são frequentes nas porções onde a foliação/bandamento migmatítico mergulha no sentido contrário ao talude interagindo também com os planos de falha ortogonais a sua direção. Este tipo de ruptura se apresenta de forma mais localizada ao longo do talude por conta das inflexões e irregularidades típicas das foliações migmatíticas.

A análise da ruptura em cunha, através do *software Dips Rocscience*® indicou a possibilidade deste tipo de ocorrência; entretanto não foram visualizados grande número de planos de interseção nas frentes de talude em função da baixa penetratividade e número reduzido destes planos nos taludes expostos.

Além das desfavoráveis atitudes das descontinuidades em relação à face do talude, observa-se a presença de raízes e percolação de água através das descontinuidades, que levam a um aumento da susceptibilidade à ocorrência de rupturas no maciço rochoso, especialmente no período de chuva, onde a precipitação mensal pode chegar a 300mm. Embora o estado do Ceará tenha época longa de estiagem, o município de Pacatuba no primeiro semestre do ano recebe chuvas intensas, acentuadamente nos meses de fevereiro a maio, que favorecem a ocorrência de deslizamentos e quedas de blocos.

Dessa forma, com a verificação da possibilidade de ocorrência de rupturas, considera-se que os índios Pitaguary, que ocupam a região da antiga pedreira, deveriam evitar transitar e construir moradias de uma margem mínima de 100 metros de distância, considerando a altura e a possibilidade de rolamento dos blocos da frente do talude.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal do Ceará (UFC) pelos materiais e equipamentos utilizados, e pela ajuda de custo das viagens de campo realizadas. Aos laboratórios de laminação (Lamin) e de computação do centro de tecnologia (LACT3) da UFC por disponibilizar o espaço e dos auxílios de seus técnicos, bem como o geólogo Francisco Diones Oliveira Silva pelo apoio nas descrições litológicas e ao professor Dr. Silvrano Dantas do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC por auxiliar no trabalho e conceder o *software* da *Rocscience*® para instalação nos computadores do laboratório. Aos moradores da região estudada por liberar o acesso ao espaço para o estudo.

REFERÊNCIAS

Barton, N. (2002). "Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *International journal of rock mechanics and mining sciences*", 39(2), 185-216.

Batista, C. T. A. (2010). "Mineração de Agregados na Região Metropolitana de Fortaleza: Impactos Ambientais e Conflitos de Uso e Ocupação do Solo". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.

Brandão, R.L. (1995). "Sistema de Informação para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza" – Projeto Sinfor. Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza – Texto Explicativo, CPRM, Fortaleza.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. (1998). *Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza*, Brasília.

Feitosa, Fernando A. C. (1998). "Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará: Diagnóstico do município de Pacatuba". Fortaleza, Ceará.

Fiori, A. P. (2015). "*Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas - aplicações na estabilidade de taludes*". 3. ed. rev. Oficina de Textos. ISBN: 978-85-7975-184-4. São Paulo, 276p.

Hoek, E.; Bray, J.W. (1981). "*Rock Slope Engineering*". 3. ed. rev. London: The Institution of Mining and Metallurgy, 358p.

Hudson, J. A., & Harrison, J. P. (2000). "*Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles*". 2 ed. Elsevier. ISBN: 978-0-08-043864-1. Amsterdam, Pergamon, 444p.

Mota, R. F. (1998) "*Geologia e Diagnóstico Geoambiental da Região das Pedreiras de Itaitinga, Estado do Ceará*". Dissertação de Mestrado. Mestrado Acadêmico em Geologia – UFC. Fortaleza, Ceará.