



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO *LATO SENSU* À DISTÂNCIA EM
GEOLOGIA DE MINAS E TÉCNICAS DE LAVRA A CÉU ABERTO**

PAULO ROBERTO BERNARDES COELHO JUNIOR

**ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA ANÁLISE DE
ESTABILIDADE DAS FRENTES DE EXTRAÇÃO DE UMA PEDREIRA DE
DIABÁSIO LOCALIZADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO**

**Belém / PA
2016**

PAULO ROBERTO BERNARDES COELHO JUNIOR

**ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA ANÁLISE DE
ESTABILIDADE DAS FRENTES DE EXTRAÇÃO DE UMA PEDREIRA DE
DIABÁSIO LOCALIZADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Geologia de Minas e Lavra a Céu Aberto do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como parte das exigências para obtenção do título de Especialista em Geologia de Minas e Lavra a Céu Aberto.

Orientador: Dr. Rubens Borges da Silva

**Belém / PA
2016**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Coelho Junior, Paulo Roberto Bernardes, 1987 -

Estudos geológicos-geotécnicos para análise de estabilidade das frentes de extração de uma pedreira de diabásio localizada no interior do estado de São Paulo / Paulo Roberto Bernardes Coelho Junior - 2016

95 f. : il. ; 30cm

Orientador: Rubens Borges da Silva

Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* à Distância em Geologia de Minas e Técnicas de Lavra a Céu Aberto, Belém, 2016.

1. Solos - Compactação - São Paulo. 2. Deslizamentos (Geologia) - São Paulo. 3. Segurança nas minas - São Paulo. 4. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. 5. Rochas - São Paulo. I. Título.

CDD 22. ed.: 624.151363098161

PAULO ROBERTO BERNARDES COELHO JUNIOR

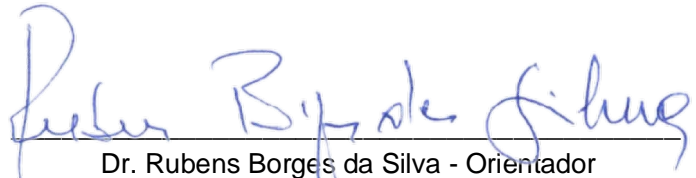
**ESTUDOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS PARA ANÁLISE DE ESTABILIDADE
DAS FRENTES DE EXTRAÇÃO DE UMA PEDREIRA DE DIABÁSIO
LOCALIZADA NO INTERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Geologia de Minas e Lavra a Céu Aberto do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como parte das exigências para obtenção do título de Especialista em Geologia de Minas e Lavra a Céu

Data da aprovação: 29/10/2016

Conceito: Excelente

Banca Examinadora:



Dr. Rubens Borges da Silva - Orientador
Doutor em Geologia Regional
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Prof. Estanislau Luczynski - Membro
Doutor em Energia
Universidade de São Paulo - USP, Brasil

Prof. Evaldo Raimundo Pinto da Silva - Membro
Doutor de Geologia Econômica e Geoquímica
Curso de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica do
Centro de Geociências da Universidade do Pará

RESUMO

A elaboração desta monografia visa determinar o risco de escorregamentos e tombamento em taludes de rocha das frentes de lavra de uma mineração de diabásio por meio de estudos geológico-geotécnicos e com auxílio de softwares específicos para análise estruturais (Diagrama de Fisher) e escorregamentos (planar, em cunha). Para isso, foram obtidos dados in situ, como a caracterização litológica do local, descrição da geometria e da disposição espacial das famílias de descontinuidades (falhas e fraturas), preenchimento destas estruturas, percolação de água, direção do talude, entre outros parâmetros, e dados empíricos, como, por exemplo, coesão e ângulo de atrito, retirados de literatura especializada. Com todos os parâmetros estabelecidos, realizou-se a análise dos taludes da cava visando obter, por meio computacional, o valor do fator de segurança das frentes de lavra para escorregamentos em cunha e planar (rocha) e determinar zonas de maior risco para tombamento de blocos rochosos. Além disso, com objetivo de determinar a configuração final dos taludes de solo, foram realizadas simulações computacionais para que não ocorra escorregamentos circulares de solo.

Palavras chaves: Estabilidade. Escorregamento. Fator de Segurança. Talude, Solos. Rochas.

ABSTRACT

This work aims to present the result of a survey about the prediction's possibility of landslides and rockfalls on the bench faces of the walls of a diabase quarry located close to the Capivari city in the state of São Paulo. The analyse was based on Structural Geology techniques by using specific softwares (ROCPLANE, SWEDGE and SLIDE) headed to seek for potential risk situations and to minimize the risk of landslides and rockfalls. In order to make the softwares to work it is necessary a lot of Strutral Geology datas like the massif properties, lithological composition, degree of weathering , consistency of rocks, major systems of fractures, joints and faults beside the identification of blocks in unstable situations. As the survey's result we have got the more suitable value of the Factor of Safety (FS) for the best slope of the face bench during the mining development, in order to avoid problems related to rockfalls, and to have the more geotechnical stability conditions of slopes of the quarry walls, according to the future use project of the area.

Keywords: Stability. Rockfal. Factor of Safety. Bench. Soil. Rock.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 01- Orientação da descontinuidade, onde α é direção do mergulho, medida com relação ao norte magnético e β o mergulho, medido com relação à horizontal..... | 14 |
| Figura 02- Abertura das fraturas: (a) fechada; (b) aberta; (c) preenchida..... | 17 |
| Figura 03- Talude em solo - ruptura circular e lamelas que serão analisadas.. | 18 |
| Figura 04- Lamela individualizada indicando as forças atuantes..... | 19 |
| Figura 05- Principais tipos de escorregamento: (a) circular (em solos); (b) planar; (c) cunha; (d) tombamento..... | 20 |
| Figura 06- Definição da zona de instabilidade de escorregamento planar.Utilizou-se um exemplo com inclinação do talude de 70° e ângulo de atrito de 30°..... | 21 |
| Figura 07- Definição de zona de instabilidade propícia à ocorrência de escorregamento em cunha..... | 23 |
| Figura 08- Conjunto de zonas de instabilidades que determinam condições propícias a tombamento de blocos..... | 23 |
| Figura 09- Planta Planialtimétrica da Cava demarcando os Blocos de Análise | 27 |
| Figura 10- Geomorfologia da região de Capivari. O item 211 representa as morfologias de tabuleiro; 212 Colinas Amplas; 213 - Colinas Médias; e 234 - Morrotes Alongados e Espigões..... | 30 |
| Figura 11- Geologia - contexto regional. O retângulo vermelho representa a poligonal mineraria. A cor verde representa o diabásio, intrudido nos sedimentos do Itararé (cinza) e parcialmente recoberto pelos sedimentos inconsolidados da Formação Rio Claro (bege)..... | 31 |
| Figura 12- Diagrama de polos..... | 40 |
| Figura 13- Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 1A..... | 40 |
| Figura 14- Diagrama com o talude analisado– Atitude=N28W/85NE..... | 41 |
| Figura 15- Escorregamento Planar– Plano A = N33W/80NE. FS obtido: c/água = 0,00, drenado = 0,84..... | 41 |
| Figura 16- Análise de Escorregamento Planar do Plano A –Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 17- Escorregamento em Cunha – Plano A = N33W/80NE; Plano D = N65E/84NW. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 0,00$; drenado = 1,30..... | 42 |
| Figura 18- Escorregamento em Cunha – Plano A = N33W/80NE; Plano E= N49E/63SE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 0,06$; drenado = 1,30..... | 42 |
| Figura 19- Escorregamento em Cunha – Plano D = N65E/84NW; Plano F = N71W/55NE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 1,12$; drenado = 1,74..... | 42 |
| Figura 20- Escorregamento em Cunha – Plano E = N49E/63SE; Plano F = N71W/55NE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 1,19$; drenado = 1,64..... | 43 |
| Figura 21- Análise de Tombamento. Sem potencial para ocorrer o tombamento..... | 43 |
| Figura 22- Diagrama com o talude analisado – Atitude = N10E/85SE..... | 43 |
| Figura 23- Escorregamento Planar – Atitude do Plano B = N25E/59SE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 0,24$; drenado = 0,60..... | 44 |
| Figura 24- Análise de Escorregamento Planar do Plano B - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água..... | 44 |
| Figura 25- Escorregamento Planar – Atitude do Plano C = N24E/75SE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 0,00$; drenado = 0,54..... | 44 |
| Figura 26- Análise de Escorregamento Planar do Plano C - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água..... | 45 |
| Figura 27- Escorregamento em Cunha – Plano A = N33W/80NE; Plano E = N49E/63SE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 0,21$; drenado = 0,83..... | 45 |
| Figura 28- Escorregamento em Cunha: Plano D = N65E/84NW; Plano F = N71W/55NE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 1,02$; drenado = 1,92..... | 45 |
| Figura 29- Escorregamento em Cunha – Plano E = N49E/63SE; Plano F = N71W/55NE. FS obtido: $c/\acute{a}gua = 1,18$; drenado = 1,65..... | 46 |
| Figura 30- Análise de Tombamento. Sem potencial para ocorrer o tombamento..... | 46 |
| Figura 31- Análise de escorregamento circular - talude de 4m - Método Fellenius. FS obtido - FS = 1,95..... | 53 |
| Figura 32- Análise de escorregamento circular - talude de 4m - Método Bishop. FS obtido - FS = 1,71..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 33- Análise de escorregamento circular- talude de 6m - Método Fellenius. FS obtido: 2,07..... | 54 |
| Figura 34- Análise de escorregamento circular - talude de 6m - Método Bishop. FS obtido: 1,63..... | 54 |
| Figura 35- Análise de escorregamento circular - Método Fellenius - talude de 8m. FS obtido - FS = 2,85..... | 55 |
| Figura 36- Análise de escorregamento circular - Método Bishop. FS obtido: 2,27..... | 55 |
| Foto 1 – Blocos de Análise nas frentes de avanço da cava..... | 32 |
| Foto 2 – Blocos de Análise nas frentes de avanço da cava..... | 33 |
| Foto 3 – Detalhe da porção nordeste da cava com percolação d'água no maciço rochoso proveniente da interface solo/rocha (infiltração de água de chuva)..... | 34 |
| Foto 4 – Vista da porção nordeste da cava - Bloco de Análise 6..... | 35 |
| Foto 5 – Marcas de movimentação tectônica (estriamentos indicados pela pontilhado amarelo)..... | 35 |
| Foto 6 – Material de cobertura da rocha - Vista geral de corte na frente de avanço leste; a) rocha são a pouco alterada em primeiro plano; b)rocha alterada e solo de alteração de rocha em horizonte intermediário; c) Latossolo Vermelho-Escuro no topo..... | 37 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01- Índice de rugosidade das juntas (Jr)..... | 16 |
| Tabela 02- Índice de alteração das paredes das fraturas (Ja)..... | 16 |
| Tabela 03- granulométrica das amostras de solo..... | 36 |
| Tabela 04- Espessura do solo em sondagens..... | 37 |
| Tabela 05- Descrição das feições dos taludes dos BA..... | 38 |
| Tabela 06- Resumo dos dados obtidos em campo e processados no <i>software</i> | 40 |
| Tabela 07- BA 1A - Síntese dos resultados do Talude 1..... | 47 |
| Tabela 08- BA 1A - Síntese dos resultados do Talude 2..... | 47 |
| Tabela 09- BA 1B - Síntese dos dados utilizados..... | 47 |
| Tabela 10- BA 1B - Síntese dos resultados do Talude..... | 47 |
| Tabela 11- BA 1C - Síntese dos dados utilizados..... | 47 |
| Tabela 12- BA 1C - Síntese dos resultados do Talude 1..... | 48 |
| Tabela 13- 1C - Síntese dos resultados do Talude 2..... | 48 |
| Tabela 14- BA 2 - Síntese dos dados utilizados..... | 48 |
| Tabela 15- BA 2 - Síntese dos Resultados do Talude..... | 48 |
| Tabela 16- BA 3 - Síntese dos dados utilizados..... | 49 |
| Tabela 17- BA 3 - Síntese dos Resultados do Talude 1..... | 49 |
| Tabela 18- BA 3 - Síntese dos Resultados do Talude 2..... | 49 |
| Tabela 19- BA 4 - Síntese dos dados utilizados..... | 49 |
| Tabela 20- BA 4 - Síntese os Resultados do Talude 1..... | 50 |
| Tabela 21- BA 4 - Síntese dos Resultados do Talude 2..... | 50 |
| Tabela 22- BA 5 - Síntese dos dados utilizados..... | 50 |
| Tabela 23- BA 5 - Síntese dos Resultados do Talude 1..... | 50 |
| Tabela 24- BA 5 - Síntese dos Resultados do Talude 2..... | 51 |
| Tabela 25- BA 6 - Síntese dos dados utilizados..... | 51 |
| Tabela 26- BA 6 - Síntese dos Resultados do Talude 1..... | 51 |
| Tabela 27- BA 6 - Síntese dos Resultados do Talude 2..... | 51 |
| Tabela 28- BA 7 - Síntese dos dados utilizados..... | 51 |
| Tabela 29- BA 7 - Síntese dos Resultados do Talude 1..... | 52 |
| Tabela 30- BA 7 - Síntese dos Resultados do Talude 2..... | 52 |
| Tabela 31- Geometria e fator de segurança para taludes em solo..... | 52 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 13 |
| 2.1 Maciço rochoso | 13 |
| 2.1.1 Descontinuidades | 14 |
| 2.1.2 Frequência | 15 |
| 2.1.3 Extensão ou persistência | 15 |
| 2.1.4 Rugosidade | 15 |
| 2.1.5 Abertura e preenchimento | 17 |
| 2.2 Análise em talude de solo | 17 |
| 2.3 Análise dos escorregamento | 20 |
| 3 METODOLOGIA | 25 |
| 3.1 Visita Prévia à Área | 25 |
| 3.2 Topografia e cartografia | 25 |
| 3.3 Levantamento de descontinuidades do maciço rochoso | 26 |
| 3.4 Análise de estabilidade | 26 |
| 3.4.1 Estabilidade de talude em rocha..... | 26 |
| 3.4.2 Estabilidade de talude em solo | 29 |
| 4 DESCRIÇÃO FIOGRÁFICA DA REGIÃO E LOCAL | 30 |
| 4.1 Descrição regional | 30 |
| 4.1.1 Aspectos fisiográficos da região | 30 |
| 4.1.2 Contexto geológico regional | 31 |
| 4.2 Descrição local – a cava | 32 |
| 4.2.1 Configuração atual | 32 |
| 4.2.2 Considerações sobre as descontinuidades do maciço rochoso | 34 |
| 4.3 Considerações sobre a cobertura de solo | 36 |
| 5 RESULTADO | 38 |
| 5.1 Análise de estabilidade no maciço rochoso | 38 |
| 5.1.1 Bloco de análise 1A - talude 1 | 39 |
| 5.1.2 Síntese dos resultados dos Blocos de Análise | 46 |
| 5.2 Análise de estabilidade no solo | 52 |
| 6 DISCUSSÃO | 56 |
| REFERÊNCIAS | 58 |

| | |
|--|-----------|
| APÊNDICES | 60 |
| APÊNDICE A - PLANTA PLANIALTIMÉTRICA COM OS BLOCOS DE ANÁLISE | 61 |
| APÊNDICE B - DIAGRAMAS DOS DEMAIS BLOCOS DE ANÁLISE EM TALUDE DE ROCHA..... | 62 |

1 INTRODUÇÃO

A mina a céu aberto objeto de estudo é uma pedreira de diabásio que tem como fim a produção de material para construção civil (brita) e esta situada à noroeste da capital São Paulo, aproximadamente 140 km, no município de Capivari.

Devido à extração do material, formam-se taludes de rocha com altura variável e subverticalizados, além de solos sobrepostos a esta, que podem chegar a uma espessura de 17 metros.

Com essas conformações criadas pela extração de diabásio, torna-se necessário o estudo que garanta a estabilidade destes taludes, garantindo assim a segurança dos trabalhadores, enquanto houver a mineração, e prevenir eventuais desastres, tanto com pessoas que transitem no local quanto ambientais, quando já estiver desativada.

Por este motivo, este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo realizar a análise de estabilidade de taludes por meio de *softwares* da empresa *Rocscience* direcionados à estabilidade de taludes, seja por compilação de dados estruturais em forma de estereograma (*Dips*) ou por meio do cálculo do fator de segurança para escorregamento planar, programa denominado *Rocplane*, e escorregamento em cunha (*Swedge*) quando é rocha e escorregamento circular (utilizou-se o programa *Slide*) quando solo. . Para análises por tombamento de blocos, os taludes foram caracterizados de acordo com sua suscetibilidade, determinado por meio do diagrama de Fisher.

Para determinar os valores do fator de segurança ou, no caso do solo, projetar o talude final, uma vez que este é constantemente removido para o avanço da lavra, foi programadas diversas visitas para coleta de dados, além de utilizar dados fornecidos pelo empreendimento, como sondagens, e dados bibliográficos.

No fim do estudo, pode-se determinar, com base no fator de segurança exigido pela associação brasileira de normas técnicas (ABNT) se os taludes da mineração encontravam-se estáveis ou não.
especializada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para realizar a análise de escorregamento, tanto do solo como do maciço rochoso, é necessário definir alguns termos, métodos e práticas que propiciem que o valor do fator de segurança seja mais adequado ao estudo, uma vez que algumas informações, como coesão e ângulo de atrito (que são a base do cálculo do FS) foram retirados de métodos empíricos ou de literatura relacionada a esta análise.

2.1 Maciço rochoso

Segundo Teixeira et al.(2000) pode-se definir rocha como "*produtos consolidados, resultantes da união natural dos minerais*". Além disso, o autor descreve que a força de ligação dos minerais constituintes da rocha depende do seu processo de formação e tem como resultado rochas mais "duras" ou mais "brandas".

Entretanto, a definição de maciço rochoso diferente um pouco da rocha, pois entende-se que é "*uma massa de rocha interrompida por descontinuidades, constituída de blocos discretos, estes últimos com propriedades de rocha intacta*" (FIORI; CARMIGNAMI, 2009). No estudo será analisado o maciço rochoso

Devido às movimentações no maciço, decorrentes de atividades tectônicas, ocasionadas por gravidade ou devido ao intemperismo (tanto físico, como químico), pode exacerbar deslocamentos ao longo de juntas, ou fraturas, e falhas na superfície de taludes naturais ou artificiais..

A junta é definida por Loczy e Ladeira (1980) como sendo "*planos ou superfícies de fraturas que dividem as rochas ao longo dos quais não ocorreu deslocamento das paredes rochosas paralelamente aos planos da fratura*", ou seja, não há indícios de movimentação relativo entre os dois blocos separados por este plano de fratura, enquanto que falha é definido por "*planos que ocorrem movimentos entre si*" (LOCZY; LADEIRA, 1980). Para fins do estudo, as fraturas ou falhas serão nomeadas de descontinuidades.

Somado a isso, processos atectônicos, como contatos litológicos, intrusões ígneas e foliação da rocha também podem ser consideradas como descontinuidades. No caso estudado, a formação do maciço rochoso (que é composta de diabásio) permite que ocorra um fenômeno atectônico que também gera descontinuidades e que devem ser consideradas, chamadas de disjunção colunar. Esse fenômeno ocorre devido ao "*resfriamento de corpos ígneos tabulares,*

como sills e diques, e mesmo derrames de lava[...]. Isto se dá devido à perda rápida de calor da lava em níveis crustais rasos [...]" (TEIXEIRA,2000). Por causa deste resfriamento abrupto, ocorre a contração da rocha que esta se cristalizando formando colunas poligonais.

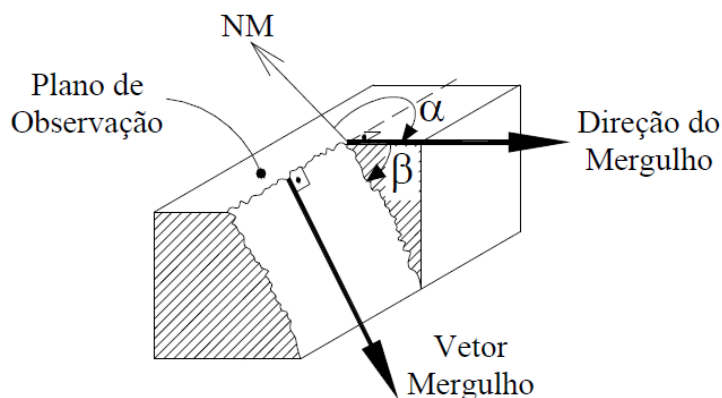
Estas descontinuidades, que desestruturam a rocha intacta, proporciona planos de fraqueza que contribuem para que ocorra deslizamentos de rocha. É de vital importância determinar estas descontinuidades para a análise de estabilidade nas vertentes rochosas, pois formarão os planos de escorregamento planar, a junção de planos para formar blocos nos escorregamentos em cunha ou a separação de blocos para tombamentos.

Algumas características das descontinuidades que são imprescindíveis quando se faz a análise de escorregamento, dentre elas pode-se citar: orientação no espaço; frequência das descontinuidades; extensão ou persistência; rugosidade dos planos formados e preenchimento e abertura entre as descontinuidades.

2.1.1 Descontinuidades

A orientação da descontinuidade representa sua posição no espaço, sendo definido por uma direção que varia de 0° a 360° e é medida com relação ao norte magnético, e inclinação (também chamada de mergulho), que varia de 0° a 90° com relação a horizontal. Para realizar a medição deste plano, utiliza-se o emprego da bússola. A figura 1 ilustra as definições comentadas acima.

Figura 1 - Orientação da descontinuidade, onde α é direção do mergulho, medida com relação ao norte magnético e β o mergulho, medido com relação à horizontal.



Segundo Fiori e Carmignami (2009) há dois aspectos relevantes quando se estuda a orientação das descontinuidades visando a estabilidade. O primeiro ponto é se as descontinuidades ou a intersecção destas afloram a um ângulo igual ou menor

do que a inclinação da vertente do talude, deste modo proporcionando uma geometria factível ao escorregamento; e o segundo aspecto é se o mergulho destes planos de descontinuidade ou "*suas intersecções excede o valor do ângulo de atrito ao longo das superfícies*", proporcionando assim um maior risco para o escorregamento.

2.1.2 Frequência

"O espaçamento, ou frequência, das descontinuidades é determinado em termos de distância média entre as descontinuidades, sendo as distâncias tomadas geralmente ao longo de linhas de varredura"(FIORI; CARMIGNAMI, 2009), sendo que a distância média é a perpendicular entre as descontinuidades.

Sua relação com a estabilidade de um maciço rochoso é direta, uma vez que quanto maior a frequência, maior será o número de blocos contido no talude e, conseqüentemente, menor será sua resistência ao escorregamento.

2.1.3 Extensão ou persistência

A extensão ou persistência é "*a extensão do traço de uma descontinuidade conforme observado em um afloramento*" (MAIA, 2003) e que pode ser definido como a razão entre a área com porções de rocha intacta pela totalidade da área da descontinuidade.

Segundo Franklin e Dusseault (1989), pode-se encontrar no plano de descontinuidade uma (ou todas) as seguintes feições: pontes de rochas intactas (alta coesão), áreas com segmentos enfraquecidos (baixa coesão) e áreas com segmentos descontínuos (sem coesão). Isso resulta uma variação na suscetibilidade de escorregamento ou não, tendo porções mais propícias a movimentação (segmentos descontínuos) ou menos propícias (pontes de rochas).

2.1.4 Rugosidade

"A rugosidade representa o índice de aspereza e ondulações relativas ao plano médio de uma descontinuidade" (MAIA, 2003).Essas irregularidades proporcionam que a rocha tenha um determinado ângulo de atrito (ângulo mínimo para que ocorra o movimento). Essa rugosidade pode ser alterada com o preenchimento da descontinuidade, diminuindo assim o ângulo de atrito.

O *ângulo de atrito* das descontinuidades presentes no maciço de diabásio foi definido pela fórmula empírica proposta por Barton et. al. (1974), onde se utilizam os

índices de *rugosidade*(*Jr*) e de *alteração*(*Ja*) referentes às feições das paredes das discontinuidades (Tabelas 01 e 02, respectivamente), enquanto que para estimar o valor do ângulo de atrito a fórmula utilizada é mostrada na equação 1:

Tabela 01 - Índice de rugosidade das juntas (*Jr*).

| Fraturas sem deslocamento relativo. Contato entre os planos das fraturas | |
|--|---------------------|
| Descrição | Valores - <i>Jr</i> |
| A- Fraturas descontínuas | 4 |
| B- Fraturas com ondulações e ásperas ou irregulares | 3 |
| C- Fraturas com ondulações e lisa | 2 |
| D- Fraturas com ondulações e polida | 1,5 |
| E- Fraturas planas ásperas ou irregulares | 1,5 |
| F- Fraturas planas lisas | 1 |
| G- Fraturas planas polidas | 0,5 |
| Fraturas com deslocamento relativo. Sem contato entre os planos da fratura | |
| Descrição | Valores |
| H- Fraturas preenchidas com minerais argilosos | 1 |
| I- Zonas esmagadas | 1 |

Fonte: Modificado de Barton et. al.(1974)

Tabela 02 - Índice de alteração das paredes das fraturas (*Ja*)

| Fraturas sem deslocamento relativo. Contato entre os planos das fraturas | |
|---|---------------------|
| Descrição | Valores - <i>Ja</i> |
| A- Preenchimento com material impermeável (ex. quartzo)- duras e compactas | 0,75 |
| B- Leve descoloração do plano- sem alteração | 1 |
| C- Pouco alterada- com areia e rocha desintegrada | 2 |
| D- Preenchimento por material siltoso ou areno-argiloso | 3 |
| E- Preenchimento por material "mole" - talco e grafite. Pode conter material expansivo em baixa quantidade | 4 |
| Fraturas sem deslocamento relativo (menor que 10cm). Contato entre os planos das fraturas | |
| Descrição | Valores - <i>Ja</i> |
| F- Preenchimento com areia e rocha desintegrada | 4 |
| G- Preenchimento argiloso sobre-consolidado (espessura de 5mm) | 6 |
| H- Preenchimento argilosos sub-consolidado (espessura de 5mm) | 8 |
| I- Preenchimento com material argiloso expansivo (espessura de 5mm) | 8 a 12 |
| Fraturas com deslocamento relativo. Sem contato entre os planos das fraturas | |
| Descrição | Valores - <i>Ja</i> |
| J,K,L - Rochas desintegradas ou esmagadas preenchida com argila (Ver os itens G,H,I para classificar este item) | 6 a 8 8 a 12 |
| M- Preenchimento de material siltoso ou areno-argiloso. Pode conter pequena quantidade de material argiloso | 5 |
| N,O,P - Preenchimento de argila em toda a extensão da fratura (Ver os itens G,H,I para classificar este item) | 10 a 13 13 a 20 |

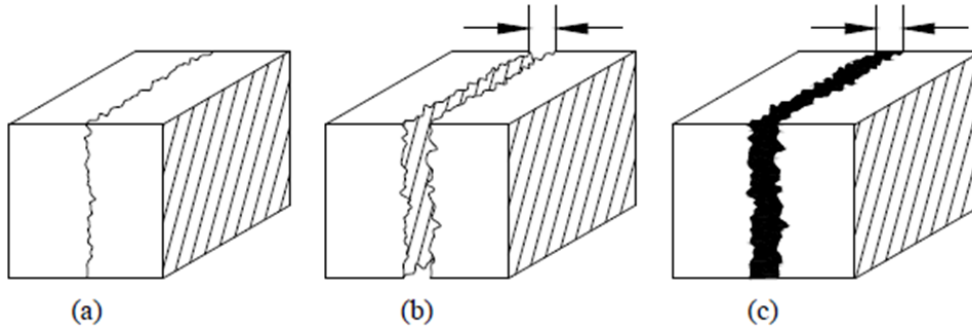
Fonte: Modificado de Barton et. al.(1974)

$$\hat{\text{Ângulo de atrito}} \phi = \text{Arctan} (Jr/Ja) \quad (1)$$

2.1.5 Abertura e preenchimento

A abertura pode ser medida através da distância ortogonal entre os planos de descontinuidade. Na figura 2, mostra os as feições que podem ser encontradas no maciço rochoso.

Figura 2 -Abertura das fraturas: (a) fechada; (b) aberta; (c) preenchida.



Fonte: Retirado de Maia, 2003

Quando fechadas, as faces da descontinuidade proporcionam maior ângulo de atrito, uma vez que as ondulações da rocha aumenta a resistência para o escorregamento, como explicado no item anterior.

No entanto, quando as faces da descontinuidade estão abertas, pode ocorrer o preenchimento destes planos por material que pode variar, sendo que os mais comuns são argilominerais, areia, silte, rocha desagregada, talco, grafite e água. Esses materiais podem tornar o maciço rochoso mais susceptível ao escorregamento.

2.2 Análise em talude de solo

Pode-se definir o solo segundo *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* (1999, p. 9, apud IBGE 2015):

Solo é a coletividade de indivíduos naturais na superfície da terra, eventualmente modificado ou mesmo construído pelo homem, contendo matéria orgânica viva e servindo ou sendo capaz de servir a sustentação de plantas ao ar livre. Em sua parte superior, limita-se com o ar atmosférico ou águas rasas. Lateralmente, limita-se gradualmente com rocha consolidada ou parcialmente desintegrada, água profunda ou gelo. O limite inferior é talvez o mais difícil de definir. Mas, o que é reconhecido como solo deve excluir o material que mostre pouco efeito das interações de clima, organismos, material originário e relevo através do tempo.

Devido a sua diferente constituição e interação entre os materiais compostos no solo (matéria orgânica e argilominerais, por exemplo), quando comparada ao maciço rochoso, o modo de ocorre o deslizamento e a análise para o cálculo da

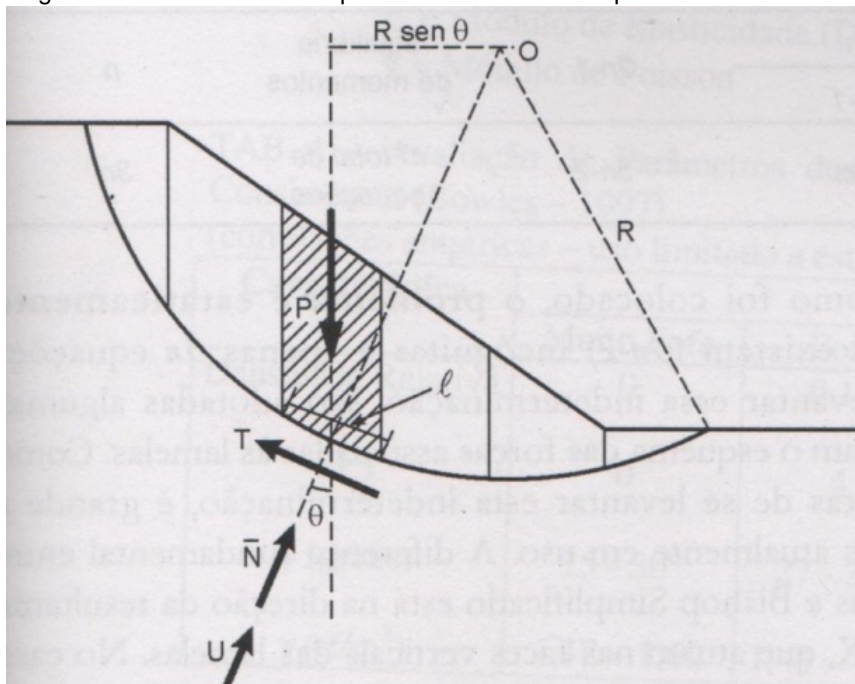
estabilidade também difere-se. Para tanto, no caso em questão, será utilizado dois métodos distintos: O Método Fellenius e o Método Bishop Simplificado.

O Método de Fellenius é baseado na análise estática de um volume de solo individualizado pela parede do talude e por um arco de circunferência interno ao maciço de solo que representa a superfície potencial para um escorregamento circular, sendo que este volume é fracionado em "n" lamelas verticais (GUIDICINI; NIEBLE, 1984), para cada uma das quais são calculadas as forças incidentes (normal, atrito e resultante) como mostram as figuras 3 e 4.

O Método de Fellenius considera que as forças laterais das lamelas (coesão) atuantes em cada lado da lamela são iguais, não considerando as interações de forças entre lamelas. O resultado final é expresso pela somatória de forças resultantes obtida em cada lamela, indicando potencialidade de ruptura.

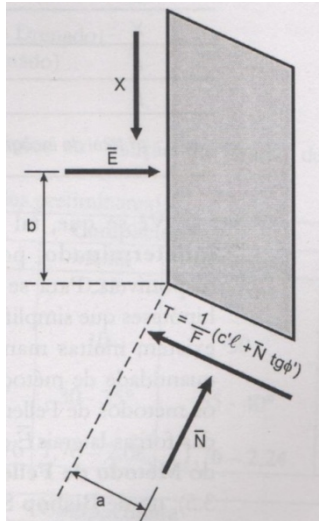
O Método de Bishop Simplificado é uma alteração do Método de Fellenius e considera uma interação de forças entre as lamelas, resultando em uma análise mais condizente com a realidade.

Figura 3 -Talude em solo - ruptura circular e lamelas que serão analisadas.



Fonte:Retirado de Massad, 2003

Figura 4 - Lamela individualizada indicando as forças atuantes.



Fonte:Retirado de Massad, 2003

Outro dado necessário para determinar a estabilidade é a inclinação do talude, que será definida para que se alcance um valor do fator de segurança respeitando as normas técnicas quando o solo estiver saturado em água, condição usada em todos os cálculos de estabilidade. A saturação de água foi calculada através do coeficiente r_u , Método de Bishop e Morgenstein (1960), e corresponde:

$$r_u = \frac{u}{\gamma h} \quad (2)$$

onde:

u = Poropressão da água; γ = Peso específico do solo; h = Espessura do horizonte de solo.

Sabendo que a poropressão de um material é definida por:

$$u = \gamma_w h_w \quad (3)$$

sendo:

γ_w = Peso específico da água; h_w = Coluna d'água,

Tem-se como condição menos favorável para a estabilidade a situação em que a altura da coluna d'água (h_w) é igual à espessura do solo (h). Isso resulta na seguinte equação:

$$r_u = \frac{\gamma_w}{\gamma} \quad (4)$$

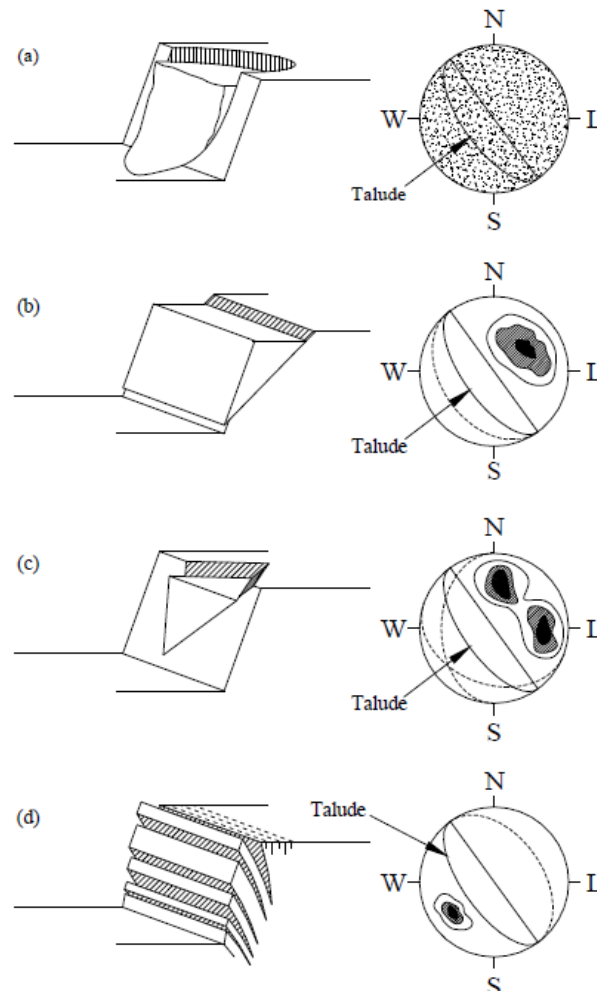
Com essa equação, consegue-se definir coeficiente r_u para calcular valores de estabilidade do talude de solo.

2.3 Análise dos escorregamento

Os taludes em solo e no maciço rochoso podem se movimentar por alguns determinados padrões estabelecidos pela frente da vertente (talude) de escorregamento e por suas características já citadas anteriormente.

Essa análise cinemática dos blocos e a identificação das características do material analisado (como densidade e composição, por exemplo) e os requisitos para que ocorra essa instabilidade é de vital importância para obter os fatores de segurança mais próximo com a realidade. A figura 5 mostra os padrões encontrados quando ocorre o escorregamento e suas representações nos estereogramas (HOEK; BRAY, 1981):

Figura 5 - Principais tipos de escorregamento: (a) circular (em solos); (b) planar; (c) cunha; (d) tombamento.



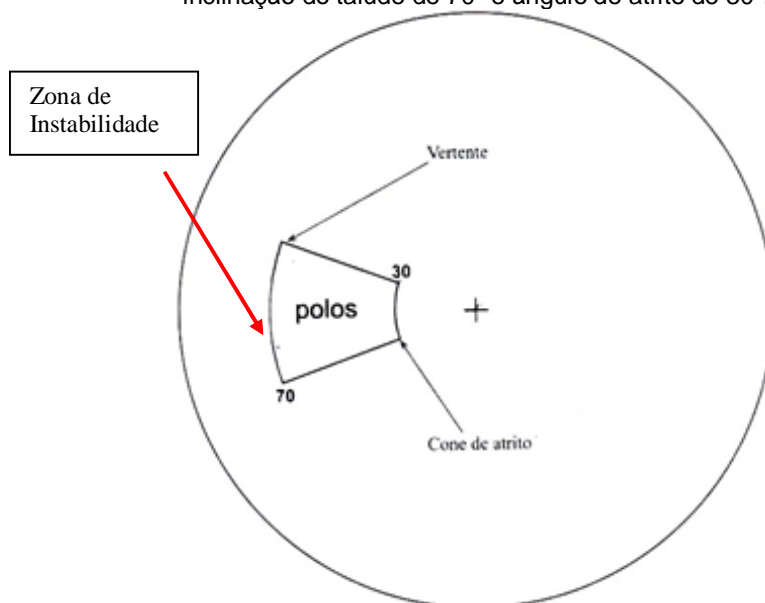
Fonte: Retirado de Maia, 2003

Para realizar os estudos referentes à movimentação do talude do maciço rochoso, é imprescindível a utilização dos estereogramas, uma vez que este compila informações à respeito da atitudes das descontinuidades e da vertente estudada. Cada situação de escorregamento terá suas particularidades demonstradas no estereograma, formando zonas de instabilidade, que, se coincidir com os polos dos planos, poderá ocorrer movimentação.

Para escorregamento planar, a análise foi executada de acordo com metodologia descrita por Fiori e Carmignani, (2011); para escorregamento em cunha de acordo com Markland (1972, apud FIORI; CARMIGNANI 2011); e para tombamento, de acordo com Markland (1972, apud FIORI; CARMIGNANI 2011) e Hoek e Bray (1981).

Com relação ao escorregamento planar, define-se uma zona de instabilidade que será sobreposta ao estereograma já com os polos das descontinuidades medidas. A zona de instabilidade é determinada a partir do polo correspondente ao plano do talude. Com o polo do talude definido, traça-se a linha correspondente à direção de seu mergulho e duas outras a 20° de cada lado dessa direção. Na sequência, traça-se círculo a partir do centro do diagrama com raio no valor do ângulo de atrito - que definirá o cone de atrito - e um outro círculo com raio igual ao ângulo de inclinação do talude, também medido a partir do centro do diagrama, conforme mostrado na figura 6.

Figura 6 - Definição da zona de instabilidade de escorregamento planar. Utilizou-se um exemplo com inclinação do talude de 70° e ângulo de atrito de 30° .



Os polos que caem no interior dessa área do diagrama referenciam planos de descontinuidades com potencial para provocar escorregamento. No presente estudo, considerou-se que há potencial para escorregamento planar no talude analisado quando há coincidência de concentrações maiores de polos com a zona de instabilidade.

Conforme destacam Fiori e Carmignani (2011, p.480):

Para que o escorregamento (planar) possa ocorrer, essas estruturas devem ser aflorantes e inclinadas na direção da face livre da vertente a um ângulo superior ao ângulo de atrito interno e a um ângulo menor que o da inclinação da superfície livre da vertente. O deslizamento se dará ao longo da direção do mergulho, admitindo-se nas análises uma variação de 20° em torno dessa direção.

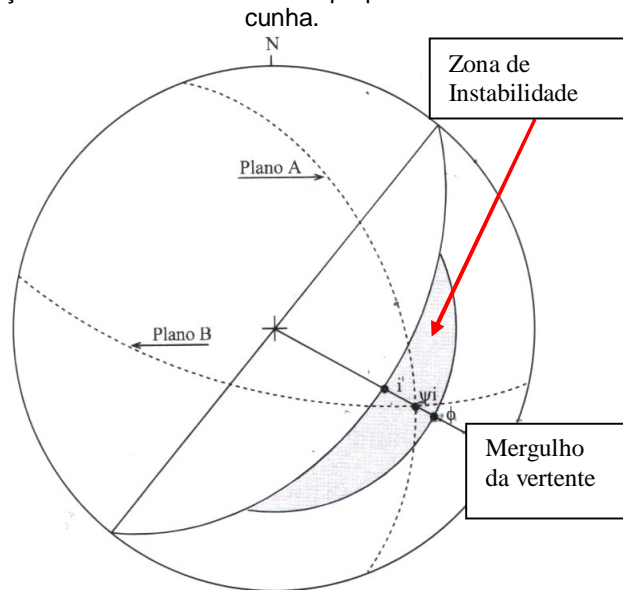
Para escorregamentos em cunha a criação da zona de instabilidade para análise a partir de estereograma é feita a partir do círculo determinado por raio com o valor do ângulo de atrito, medido a partir da borda do estereograma (e que definirá o cone de atrito) e do arco referente à projeção estereográfica do plano do talude. A região que se forma pela intersecção do círculo com o arco, na direção livre do talude, é a zona de instabilidade (figura 7).

Conseqüentemente, todas as duplas de famílias de planos que se intersectam nesta região constituem um arcabouço propício para a ocorrência de escorregamento em cunha. Fiori e Carmignani (2011, p 485 e 486) explicam as condições que são necessárias para que ocorra o escorregamento de blocos por cunha:

Para o deslizamento em cunha, três condições devem ser observadas: a) As superfícies de deslizamento deverão intersectar ou aflorar na vertente; b) a linha de intersecção dos dois planos de deslizamento deverá aflorar na vertente; c) O caimento da linha de intersecção deverá ser maior que o ângulo de atrito dos planos

Para análise de tombamento de blocos a partir de estereogramas considera-se duas zonas de instabilidade: a) uma para descontinuidades de baixo ângulo com mesmo sentido de inclinação do talude; b) outra para descontinuidades de alto ângulo com inclinação contrária à do talude. Para segurança da análise, assim como no escorregamento planar, na construção das duas zonas de instabilidade considera-se uma variação de 20° de cada lado da direção do mergulho do talude

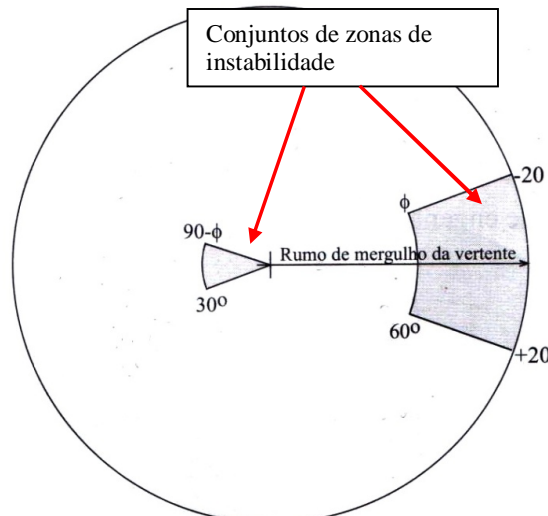
Figura 7 - Definição de zona de instabilidade propícia à ocorrência de escorregamento em cunha.



Fonte: Fiori e Carmignani, 2011.

A zona de instabilidade para englobar planos de descontinuidade de baixo ângulo no mesmo sentido da inclinação do talude é definida pela intersecção das duas linhas a 20° de cada lado da direção do talude com o círculo determinado por raio com o valor do ângulo de atrito, medido a partir do centro do estereograma. A zona de instabilidade para englobar planos de descontinuidade de alto ângulo caindo no sentido contrário ao da inclinação do talude é definida pela intersecção das duas linhas a 20° de cada lado da direção do talude com o círculo determinado por raio com o valor do ângulo de atrito medido da borda para o centro do diagrama (Figura 8).

Figura 8 - Conjunto de zonas de instabilidades que determinam condições propícias a tombamento de blocos.



Fonte: Fiori e Carmignani, 2011.

Para a análise do tombamento de blocos, três condições devem ser observadas: a) deverá haver duas famílias de descontinuidades que se entrecruzam, inclinadas uma a favor e outra contra a inclinação da vertente; b) A condições mais favoráveis para a ocorrência de tombamento aparecem quando a família que mergulha contra a vertente é inclinada a ângulos maiores que $(90 - \phi)$ (Hoek; Bray, 1981; Walton, 1985), enquanto a família que mergulha a favor deverá ter inclinações menores que o ângulo de atrito interno; c) Os rumos de mergulho desses planos deverão se situar dentro de 20° do rumo de mergulho da face da vertente.(FIORI; CARMIGNANI, 2011; p. 493 e 494).

Deve-se atentar para uma das premissas que determinam a possibilidade de tombamento: “*Deverá haver duas descontinuidades que se entrecruzam, inclinadas uma a favor e outra contra a inclinação da vertente* (FIORI; CARMIGNANI, 2011).”

Outra consideração a fazer no caso de tombamento de blocos: na determinação das condições de estabilidade não foi considerada a presença d’água, mesmo de chuva, uma vez que esta se estudando somente por meio de diagramas. Porém, destaque-se, em episódios de chuvas intensas e prolongadas pode haver empuxos ativos nas fraturas, potencializando movimentos.

Também deve-se reter que para a análise de estabilidade de um modo geral, os planos basais para escorregamento planar, os planos conjugados para o escorregamento em cunha e o conjunto de planos para tombamento foram considerados segundo dois critérios, que se complementam para atender a abrangência necessária à análise de estabilidade: a) famílias de maior frequência obtidas no tratamento estatístico com estereogramas; b) planos expressivos no talude analisado por apresentarem grande extensão, penetratividade e inclinação favorável ao condicionamento de deslizamentos e tombamentos.

3 METODOLOGIA

Os itens abaixo listam e descrevem as etapas e os procedimentos realizados para elaborar esta monografia. Vale lembrar que o empreendimento minerário forneceu dados necessários para que a análise da estabilidade dos taludes pudessem ser elaboradas com a maior quantidade de dados possíveis.

3.1 Visita Prévia à Área

Para a execução dos trabalhos foram realizadas visitas prévias à área. Estas tiveram como objetivo coletar informações técnicas com o engenheiro de minas responsável pelo empreendimento e reconhecer os padrões estruturais do maciço rochoso.

Para a análise de estabilidade em rocha, os taludes foram setorizados de acordo com a direção dos mesmos e nomeados como Blocos de Análise.

Em cada Bloco de Análise (BA) serão observadas, em campo, as estruturas regionais existentes, além de falhas e fraturas de pequena dimensão e que são exacerbadas pelo desmonte através de explosivos, causando assim maiores condições que permitam que haja escorregamentos, tanto planar, como em cunha ou tombamento.

O estudo considerou, prioritariamente, o reconhecimento de diferentes sistemas de descontinuidades ou mesmo de planos mais importantes de uma determinada porção do maciço em função de sua penetratividade ou condicionamento de situações propícias à instabilidade, além da orientação espacial da frente do talude.

3.2 Topografia e cartografia

Foram utilizadas plantas planialtimétrica fornecidas pelo empreendimento para definir a orientação da frente do talude e representar graficamente os blocos de estudo.

Em decorrência de diferenças verificadas entre o levantamento fornecido pela empresa e o observado na cava, a altura do talude foi medida com emprego de trena eletrônica. Foi adotada inclinação média de 85° para todas as frentes de talude estudadas, pois em avanço contínuo ou já finalizadas próximas desse ângulo.

3.3 Levantamento de Descontinuidades do Maciço Rochoso

A avaliação da estabilidade de um maciço rochoso deve considerar, numa escala macroscópica, uma análise dos aspectos gerais determinados por descontinuidades diversas, como falhas e seus rejeitos, dobras, fraturas, contatos entre litotipos, juntas de alívio de carga e assim por diante.

Em seguida, deve-se atentar para as consequências dessas feições na estrutura do maciço em si, em termos de sua estabilidade. Nesse sentido, enfocando características das descontinuidades numa escala mesoscópica, como: presença de rugosidade; grau de alteração dos materiais constituintes; relações de contato; forma de blocos definidos por descontinuidades; possíveis planos de deslizamento; preenchimentos das descontinuidades com caracterização do material e seu grau de alteração; crescimento de minerais secundários; presença de água; etc.

O levantamento estrutural das descontinuidades foi realizado através das medições com a bússola clar (onde suas notações são apresentadas com a orientação do sentido do mergulho e sua máxima inclinação), medindo ao longo de trechos pré-definidos do talude, com medição de todas as descontinuidades observáveis, buscando alcançar, no mínimo, 100 medidas para fins de tratamento estatístico por meio de diagramas de igual ângulo (diagrama de Fisher), que utiliza a calota inferior da esfera.

3.4 Análise de estabilidade

3.4.1 Estabilidade de talude em rocha

O estudo de estabilidade inicia-se pela análise cinemática, utilizando estereogramas, e, após a identificação das situações críticas de instabilidade potencial por esse método, passa-se à análise de estabilidade por métodos numéricos, ou seja, a determinação do fator de segurança.

Para a realização da análise estrutural e de estabilidade dos taludes foram considerados os seguintes parâmetros do maciço rochoso:

- Trecho do talude para análise – Bloco de Análise;
- Geometria do talude representativo do Bloco – direção, inclinação e altura;
- Descontinuidades estruturais – famílias de maior frequência e ou importância no condicionamento de situação propícia à instabilidade;
- Presença e tipo de preenchimento das descontinuidades;

tipo de contato encontrado entre descontinuidades, e de dados resgatados da literatura especializada, como densidade, coesão e ângulo de atrito.

O ângulo de atrito das descontinuidades presentes no maciço de diabásio foi definido pela fórmula empírica proposta por Barton *et. al.* (1974), onde se utilizam os índices de rugosidade-Jr e de alteração-Ja referentes às paredes das descontinuidades. A fórmula utilizada para determinar o ângulo de atrito é a equação 01, referenciada no item 2 (Revisão Bibliográfica).

Através de observações de campo foram calculados dois valores distintos de ângulo de atrito e coesão. Essa variação decorre das condições locais do maciço rochoso onde se encontra o Bloco de Análise, podendo ser associado à sua posição espacial, ou seja: se o local for próximo ao piso da cava, onde as descontinuidades estão fechadas e há uma predominância de contato rocha-rocha, sem material argiloso preenchendo as fraturas, os Blocos de Análise estão inseridos num Cenário 1. Por outro lado, se os Blocos de Análise estão mais próximos da superfície do terreno (topo da cava), com fraturas abertas e maior presença de minerais argilosos, estão inseridos num Cenário 2.

No que se refere à coesão, é considerada pelas pontes de rocha existentes em taludes de grande extensão, ou seja, se o plano de descontinuidade não persiste por todo o talude, estima-se que as possíveis pontes de rocha ofereçam resistência por coesão (Marchesi, 2008). Com isso, os valores utilizados são:

a) Cenário 1 (piso da cava):

- *ângulo de atrito* = 37° (BARTON ET. AL,1974);
- *coesão do maciço* = 2 t/m^2 (HOEK; BRAY, 1981)
- *densidade* = $2,7 \text{ t/m}^3$ (FRAZÃO; FRASCÁ, 2002).

b) Cenário 2 (topo da cava):

- *ângulo de atrito* = 27° (BARTON ET. AL,1974);
- *coesão do maciço* = 1 t/m^2 (HOEK; BRAY, 1981)
- *densidade* = $2,7 \text{ t/m}^3$ (FRAZÃO; FRASCÁ, 2002).

O tratamento dos dados estruturais foi executado por meio do programa DIPS, da Rocscience, que utiliza rumo e ângulo do mergulho como entrada de dados. Por opção oferecida pelo programa, os resultados foram plotados em diagrama de igual ângulo, Diagrama de Fisher, com a concentração de polos de planos na calota inferior.

O tratamento objetivou a determinação de famílias de descontinuidades de maior frequência cujos planos são favoráveis ao condicionamento de movimentações do maciço rochoso. Adicionalmente, a partir de anotações diretas de campo, foi realizada uma análise qualitativa das descontinuidades, que, mesmo com baixa frequência de ocorrência, são de grande extensão e penetrativas, favorecendo deslocamentos, sejam planares ou em cunha.

Tendo o conjunto de dados referentes à geometria do talude, parâmetros da rocha e resultados do tratamento de descontinuidades com estereogramas, a partir do Critério Ruptura Mohr-Coulomb calculou-se o Fator de Segurança – FS para escorregamento planar e em cunha, com emprego dos programas da Rocscience.

Os valores de FS obtidos foram avaliados em relação a valores de FS de referência adotados para considerar uma situação de estabilidade, resgatado da Norma ABNT-NBR 11682/2009, que recomenda o valor mínimo de FS= 1,3 para situações similares às da pedra em questão, em situação final sem a presença constante de pessoas.

3.4.2 Estabilidade de talude em solo

Devido à retirada constante do volume de solo para a operação da lavra, o cálculo do fator de segurança do talude foi calculado no intuito de projetar a estabilidade do mesmo, em uma situação futura, ou seja, quando desativar a operações de lavra. Com dados de sondagens realizadas, pode-se estimar a altura de solo, além dos dados obtidos por meio de observações em campo. A análise da estabilidade dos taludes em solo, no material de cobertura, foi realizada por meio do programa *Slide*, da *Rocscience*, onde é representado o perfil do talude analisado e, a partir do esquema feito, foi calculada a estabilidade pelos métodos Equilíbrio-limite de Fellenius e de Bishop Simplificado.

Como o talude de solo foi calculado para uma situação futura, considerando a geometria da cava após o encerramento das atividades da mina, foi projetado de modo que o valor calculado de FS atenda à norma ABNT.

Para este estudo também se obteve parâmetros geomecânicos do maciço de solo da bibliografia técnica especializada:

- *Ângulo de atrito*: 29° (PIRES, 2007);
- *Densidade*: 15 kN/m³ (PIRES, 2007);
- *Coesão*: 31 kN/m² (PIRES, 2007);

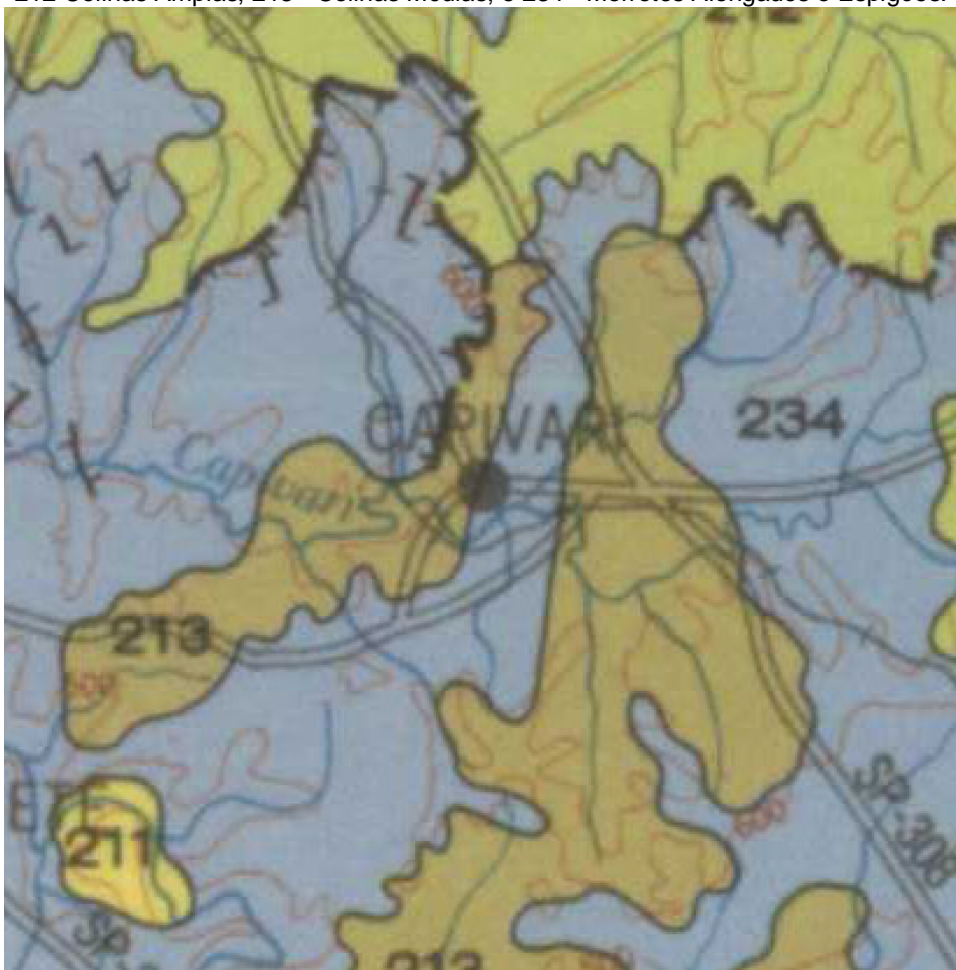
4 DESCRIÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO E LOCAL

4.1 Descrição regional

4.1.1 Aspectos fisiográficos da região

A pedreira embute-se, segundo IPT(1981a), em relevo de colinas médias, podendo conter topos aplainados e vertentes com perfis convexos a retilíneos. Há a presença de um ribeirão que bordeja a cava a ocidente, correspondendo a um curso d'água que alterna trechos meandранtes e retilíneos devido o condicionamento imposto pelas estruturas tectônicas regionais (Figura 10).

Figura 10 – Geomorfologia da região de Capivari. O item 211 representa as morfologias de tabuleiro; 212 Colinas Amplas; 213 - Colinas Médias; e 234 - Morrotes Alongados e Espigões.



Fonte: IPT 1981a.

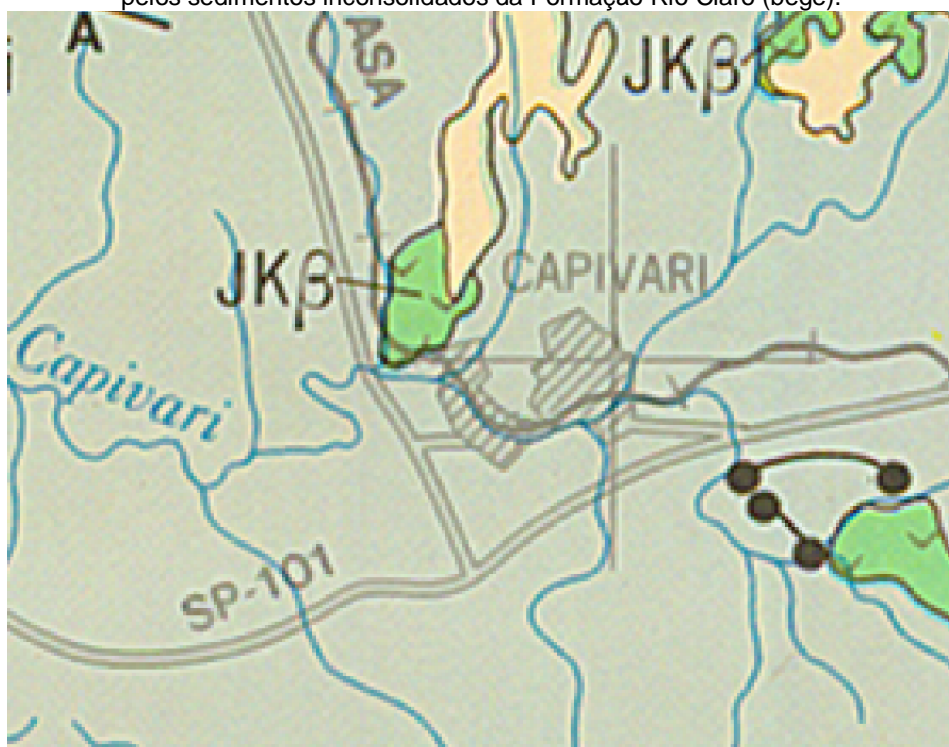
O solo de capeamento é derivado do diabásio, localmente predominando Latossolo Vermelho-Escuro. Sua espessura é variável, compreendendo entre alguns poucos metros até 17m, aproximadamente.

Encontra-se também um solo litólico de coloração amarelo claro derivado de sedimentos lamínicos englobados pelo sill de diabásio, restritos à porção E-SE da cava.

4.1.2 Contexto geológico regional

Na região estão presentes os sedimentos do Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná, representados exclusivamente pelo Subgrupo Itararé, do Supergrupo Tubarão, e por diques e sills do vulcanismo Juro–Cretáceo da Formação Serra Geral, Grupo São Bento. Recobrimo parcialmente tais unidades são preservados restos de coberturas cenozóicas admitidas como correlatas da Formação Rio Claro (IPT 1981b). Ao longo das principais drenagens da bacia hidrográfica do rio Capivari ocorre depósitos recentes em planícies aluviais restritas (Figura 11) .

Figura 11 – Geologia - contexto regional. O retângulo vermelho representa a poligonal mineraria. A cor verde representa o diabásio, intrudido nos sedimentos do Itararé (cinza) e parcialmente recoberto pelos sedimentos inconsolidados da Formação Rio Claro (bege).



Fonte: IPT 1981b.

O Itararé aflora extensivamente na região de Capivari, constituindo paisagem colinosa típica da Depressão Periférica, com forte controle das formas e feições do relevo pelas características dos litossomas e estruturas tectônicas.

Diques e sills de diabásio da Formação Serra Geral ocorrem mais restritamente, com algumas exposições de sills dominando vastos setores do terreno.

Geralmente, pela resistência maior à erosão, coroam topos de colinas ou condicionam ressaltos topográficos tabulares já muito desfigurados pela erosão.

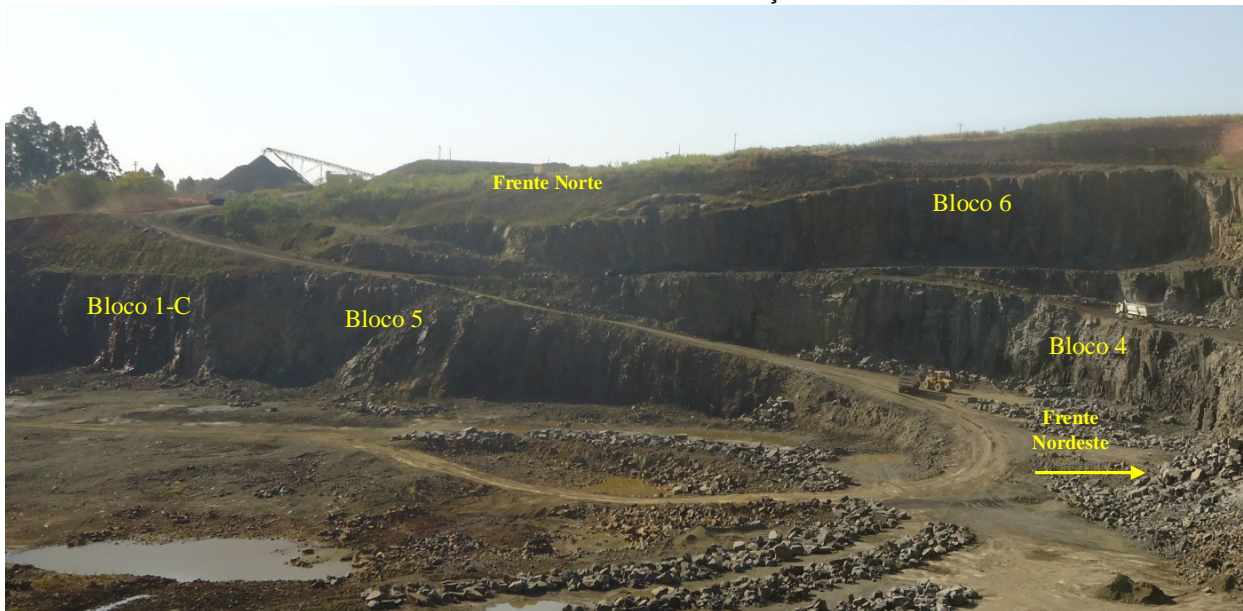
Os sedimentos cenozóicos são predominantemente arenosos e ocupam exclusivamente espigões divisores principais, também desbastados por erosão. Por fim, os sedimentos inconsolidados do Quaternário, pouco representativos nas proximidades, ocorrem em planícies restritas, inclusive no próprio ribeirão que margeia a pedreira.

4.2 Descrição local – a cava

4.2.1 Configuração atual

A cava atual pode ser visualizada no todo pelas Fotos 1 e 2. A cava mostra um leve alongamento oblíquo no sentido NW-SE, com aproximadamente 340m na direção N-S e 306 metros na direção E-W. O piso da cava se encontra na cota 470,61 m (ponto mais baixo), enquanto o topo encontra-se à cota 528 m (ponto mais alto), ou seja, há um desnível máximo de 58 metros, aproximadamente. As bermas, quando presentes, têm largura estimada de 5m.

Foto 1 – Blocos de Análise nas frentes de avanço da cava.



Fonte: Do autor

Foto 2 – Blocos de Análise nas frentes de avanço da cava.



Fonte: Do autor

Na porção norte-nordeste da cava pode-se encontrar três bancadas na rampa de acesso à cava, de altura variada, denominadas de Blocos de Análise (BA) 1C, 5 e 6. A rampa se inicia à cota 508m (topo) e termina à cota 475m (piso da cava), enquanto o talude intermediário, que também tem uma forma de cunha, inicia-se na cota 500 m e chega à cota 476 m. Caminhando sentido leste deste talude, a cota da crista decresce para a cota 492 m, e sua base fica localizada no piso da cava (continuidade norte do BA 4) Com este rebaixo, criou-se um talude incipiente (onde a berma tem largura aproximada menor que 1 m), que, caminhando para leste, se une com o talude superior. O talude superior (BA 6) tem seu topo na cota 525 m e sua base na cota 507 m (quando se une com o talude incipiente, este fica na cota 492m). As demarcações dos BA estão mostradas na Planta Planimétrica da Cava e Blocos de Análise (Figura 9 e Apêndice 1)

Na mesma região da cava, no talude superior, poucos metros abaixo do contato solo-rocha, aparece água a partir do topo, infiltrada pelas discontinuidades existentes (Foto 3). São percolações efêmeras, ligadas mais de perto ao período das chuvas.

Na porção leste da cava tem-se 2 bancadas, sendo que o talude próximo ao topo tem a base à cota 492 m e a crista em 523 m. O talude abaixo, próximo ao piso, tem a crista à cota 492m e a base à cota 476 m (Bloco de Análise 4). Acima desses taludes de diabásio ocorre uma camada de rocha sedimentar silto-argilosa alterada de cor cinza claro-amarelado. Aparece apenas no sudeste da cava. Recobrimo-a, tem-se o talude em solo com espessura máxima de 16 m.

Foto 3 – Detalhe da porção nordeste da cava com percolação d'água no maciço rochoso proveniente da interface solo/rocha (infiltração de água de chuva).



Fonte: Do autor

As porções sul e oeste da cava são conformadas em talude único, tendo a cota da base a 475m e a crista a 500m, aproximadamente, com presença de água em locais restritos (nas descontinuidades próximas ao topo e próximo ao piso da cava), como mostra a (BA 3).

O aparecimento da água no maciço rochoso das porções sul e oeste da cava ocorrem, preferencialmente, em descontinuidades de baixo ângulo e acredita que sua origem é ocasionada por percolação de água proveniente do Ribeirão adjacente à mineração.

4.2.2 Considerações sobre as descontinuidades do maciço rochoso

A natureza das descontinuidades presentes no maciço de diabásio decorre de resfriamento (colunas) e fluxo (planos subhorizontalizados) da intrusão magmática e de esforços tectônicos (fraturas de caráter rúptil).

As descontinuidades devido ao resfriamento magmático (colunas) estão presentes em toda a cava (Foto 4), porém são mais facilmente visualizadas no lado nordeste, enquanto as estruturas de fluxo são marcantes em todos os setores, sempre tendendo de uma disposição horizontal a sub-horizontal. Estas estruturas de fluxo são mais perceptíveis na porção leste da cava, onde a quantidade de planos que demonstram o fluxo é anômala, originando uma alta concentração .

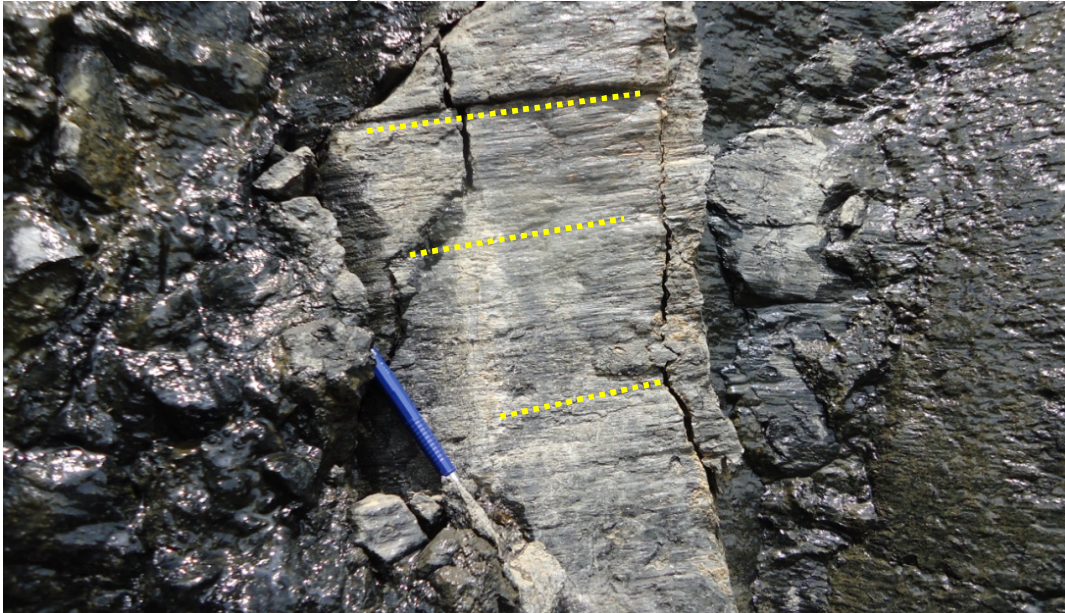
Foto 4 – Vista da porção nordeste da cava - Bloco de Análise 6.



Fonte: Do autor

O tectonismo Mesozóico causou movimentações em toda a região, conseqüentemente é possível identificar estruturas que evidenciam estas movimentações no maciço estudado, como marcas de estriamento em alguns planos (Foto 5).

Foto 5 – Marcas de movimentação tectônica (estriamentos indicados pela pontilhado amarelo).



Fonte: Do autor

Cabe, pois, definir a geometria das descontinuidades e conhecer aspectos inerentes às mesmas, principalmente rugosidade e preenchimentos, além da presença d'água, fatores que interferem diretamente nas condições de estabilidade. Considerações a respeito dessas características serão apresentadas, quando pertinentes, nas avaliações de estabilidade dos blocos considerados na análise.

Os sedimentos encontrados na porção sudeste da cava não será objeto de análise, uma vez que se encontra restrito a uma pequena área e, com o avanço da cava, será retirado. Assim, o diabásio corresponde ao único litotipo estudado em todas as situações de avaliação de estabilidade de maciço rochoso.

A rocha mostra-se de são a pouco alterada em todos os blocos individualizados. O preenchimento de fraturas não é generalizado e quando observado, corresponde a calcita, são e alterada, sílica amorfa e argilominerais.

A presença de água no maciço esta relacionada à pluviosidade e muito restritamente, em pequeno trecho da cava, ao ribeirão adjacente a mineração, cuja água pode percolar por descontinuidades, vindo a aflorar no piso da cava.

Deve-se atentar que a lavra é praticada por desmonte com explosivo, procedimento que provoca abertura de planos existentes e cria outros pela expansão dos gases. Como já explicado, qualquer descontinuidade observada no maciço, independentemente de sua natureza, compõe o quadro lito-estrutural avaliado.

4.3 Considerações sobre a cobertura de solo

O solo de recobrimento corresponde a Latossolo Vermelho Férrico derivado do maciço rochoso sotoposto (diabásio). Sua composição granulométrica pode ser observada na Tabela 3, resultado de análise de duas amostras coletadas em campo .

Tabela 3 - Análise granulométrica das amostras de solo.

| Amostra | Camadas amostradas de solo (m) | Argila <0,002mm | Silte 0,053-0,002mm | Areia >0,210mm | Areia Grossa 2,00-0,210mm | Areia Fina 0,210 - 0,053mm |
|-------------|--------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| AM-1 | 0,0 - 0,20 | 447 g/kg | 223 g/kg | 330 g/kg | 90 g/kg | 240 g/kg |
| | 0,40 - 0,60 | 608 g/kg | 182 g/kg | 210 g/kg | 60 g/kg | 150 g/kg |
| | 1,00 - 1,10 | 619 g/kg | 161 g/kg | 220 g/kg | 60 g/kg | 160 g/kg |
| AM-2 | 0,0 - 0,20 | 543 g/kg | 187 g/kg | 270 g/kg | 70 g/kg | 200 g/kg |
| | 0,40 - 0,60 | 577 g/kg | 213 g/kg | 210 g/kg | 70 g/kg | 140 g/kg |
| | 1,00 - 1,10 | 613 g/kg | 217 g/kg | 170 g/kg | 50 g/kg | 120 g/kg |

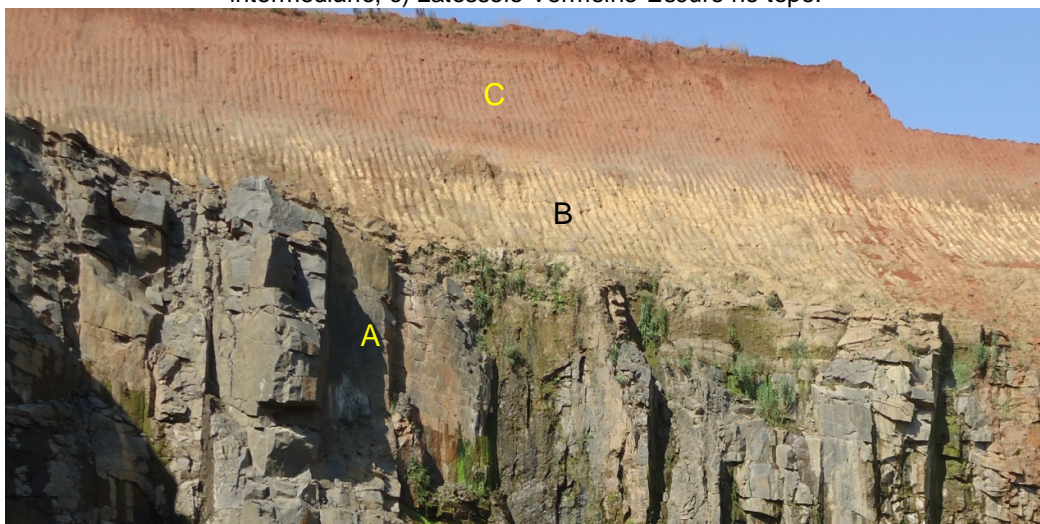
A espessura máxima dos taludes em solo no avanço da pedreira está ao norte da cava.

Para determinar a espessura do solo nas porções onde serão projetados os taludes finalizados foram realizados furos de sondagem nesses limites. As espessuras da cobertura de solo variou de 4,0 m e 16,5 m (Tabela 4).

Tabela 4 –Espessura do solo em sondagens.

| Furo | Espessura solo (m) |
|------|--------------------|
| S1 | 4,0 |
| S2 | 4,2 |
| S3 | 6,0 |
| S4 | 5,7 |
| S5 | 13,0 |
| S6 | 12,0 |
| S7 | 16,50 |

Foto 6 – Material de cobertura da rocha - Vista geral de corte na frente de avanço leste; a) rocha sã a pouco alterada em primeiro plano; b) rocha alterada e solo de alteração de rocha em horizonte intermediário; c) Latossolo Vermelho-Escuro no topo.



Fonte: Do autor

5 RESULTADO

5.1 Análise de estabilidade no maciço rochoso

Os resultados obtidos são apresentados por Blocos de Análise. Todos os Blocos foram analisados para as três possibilidades de movimento do maciço rochoso: escorregamento planar, escorregamento em cunha e tombamento de bloco.

Conforme explicado anteriormente, empregou-se parâmetros de análise que configuram dois cenários:

- a) Cenário 1 - empregado nos BA que se encontram no piso da cava:
 - *ângulo de atrito* = 37° ; *coesão* do maciço = 2 t/m^2 ; *densidade* = $2,7 \text{ t/m}^3$.
- b) Cenário 2 - empregado nos BA que se encontram próximos ao topo:
 - *ângulo de atrito* = 27° ; *coesão* do maciço = 1 t/m^2 ; *densidade* = $2,7 \text{ t/m}^3$.

Alguns dados foram obtidos da carta planialtimétrica (orientação do talude e comprimento), a altura média com trena eletrônica e a inclinação dos taludes, considerada com um valor médio de 85° . Este valor de inclinação foi adotado devido ao observado em campo, uma vez que os taludes estão subverticalizados e variando poucos graus do valor médio adotado. Os dados são mostrados na tabela 5:

Tabela 5 - Descrição das feições dos taludes dos BA.

| Bloco | Altura Talude (m) | Comprimento Talude aproximado (m) | Orientação Talude |
|-------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1A | 24,21 | 151,82 | N28W/85NE N10E/85SE |
| 1B | 23,84 | 71,61 | N41E/85SE N10W/85NE |
| 1C | 23,26 | 58,94 | N63W/85SW N13E/85SE |
| 2 | 26,28 | 78,52 | N50W/85NE |
| 3 | 30,31 | 70,49 | N17W/85NE N64W/85NE |
| 4 | 12,66 | 60,1 | N37W/85SW N06E/85NW |
| 5 | 18,53 | 44,28 | N60W/85SW N69E/85SE N16E/85NW |
| 6 | 16,79 | 83,6 | N20W/85SW |
| 7 | 30,27 | 60,1 | N37W/85SW N06E/85NW |

Cada BA foi limitado sua altura e direção de talude, conforme considerados na análise de estabilidade. O Bloco de Análise pode conter mais de uma orientação de talude para compreender a variação existente em cada trecho analisado. Porém, quando o talude tem pouca variação na direção, no máximo de 15°, foi considerado com somente uma orientação. Este valor foi estipulado com base na análise gráfica do escorregamento, que já considera uma variação média de 20° na direção do talude, como já mencionado no item anterior.

Para cada Bloco de Análise foi elaborado um estereograma com os polos dos planos medidos, além do diagrama de roseta. Uma tabela adjacente às figuras dos estereogramas mostram as frequências dos polos medidos em campo com o uso de bússola e a quantidade total de polos medidos.

As figuras subsequentes e suas legendas mostram os planos envolvidos e os resultados da análise expresso em um valor de Fator de Segurança (FS) com e sem presença de água na descontinuidade. No caso de tombamento de blocos, o resultado indica apenas se há potencial para que ocorra o tombamento ou não.

De modo a desenvolver melhor este trabalho, será exemplificado no texto somente o BA 1A. Os demais Blocos de Análise em rocha constarão no Apêndice 2. Porém a síntese dos resultados é mostrado mais adiante, no item 5.1.3

O BA 7, como mencionado anteriormente, utiliza os dados obtidos no BA 4, pois estes blocos se encontram no mesmo trecho da cava, no entanto o Bloco de Análise se encontra próximo ao topo, com fraturas mais espaçadas e com maior intemperismo, enquanto o Bloco de Análise 4 se encontra no piso da cava, com a rocha mais sã e fraturas fechadas. Com isso, o ângulo de atrito e coesão entre estes Blocos diferem entre si.

5.1.1 Bloco de análise 1A - talude 1

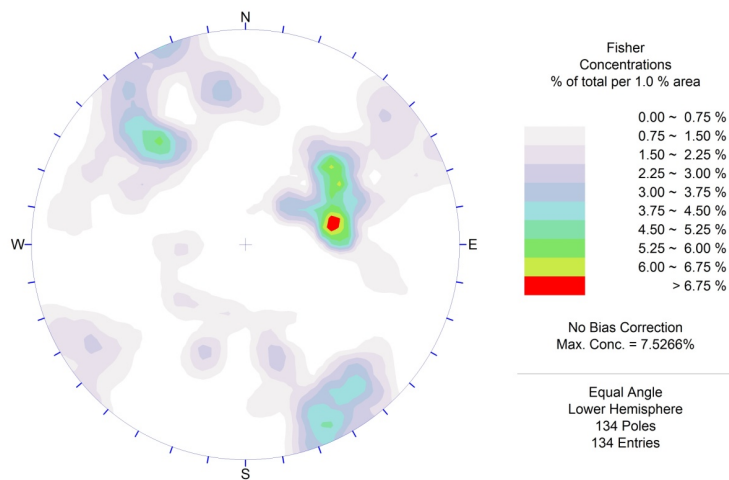
Para determinar a estabilidade do maciço rochoso do fragmento denominado Bloco 1A, foi utilizado ângulo de atrito de 37°; coesão de 2 t/m²; altura de 24,21 m e as orientações do talude são N28W/85NE e N10E/85SE.

A tabela 6 mostra o resumo dos dados obtidos em campo e analisados pelo programa *Dips* e as figuras 12 a 30 mostram as imagens das análises dos escorregamentos:

Tabela 6: Resumo dos dados obtidos em campo e processados no *software*.

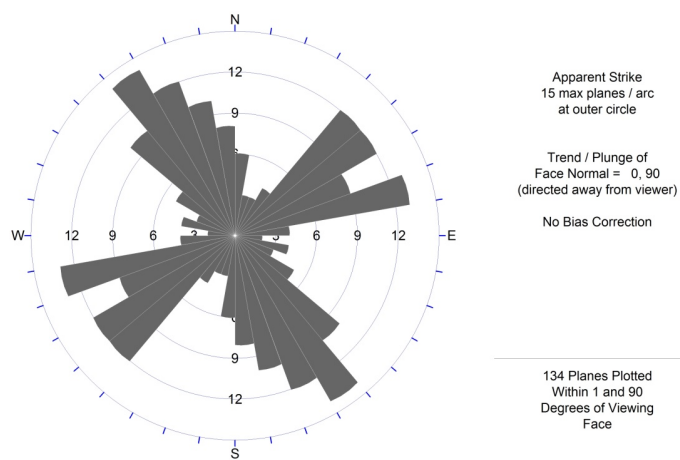
| Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-----------|-----------|---------------|-----------------|
| Talude1 | N28W/85NE | --- | |
| Talude2 | N10E/85SE | --- | |
| Plano A | N33W/80NE | 2,25-3,0 | |
| Plano B | N25E/59SE | 1,5-2,25 | |
| Plano C | N24E/75SE | 1,5-2,25 | |
| Plano D | N65E/84NW | 4,5-5,25 | 134 |
| Plano E | N49E/63SE | 2,25-3,0 | |
| Plano F | N71W/55NE | 2,25-3,0 | |
| Plano G | N65E/58NW | 2,25-3,0 | |

Figura 12 - Diagrama de polos.



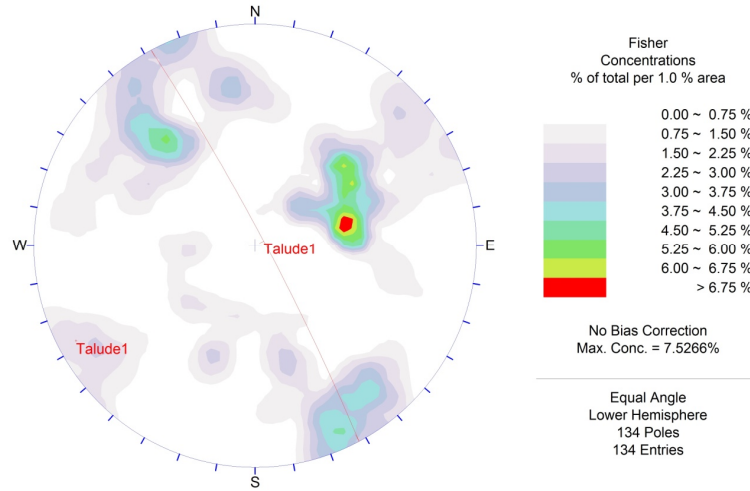
Fonte: Do autor

Figura 13 - Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 1A.



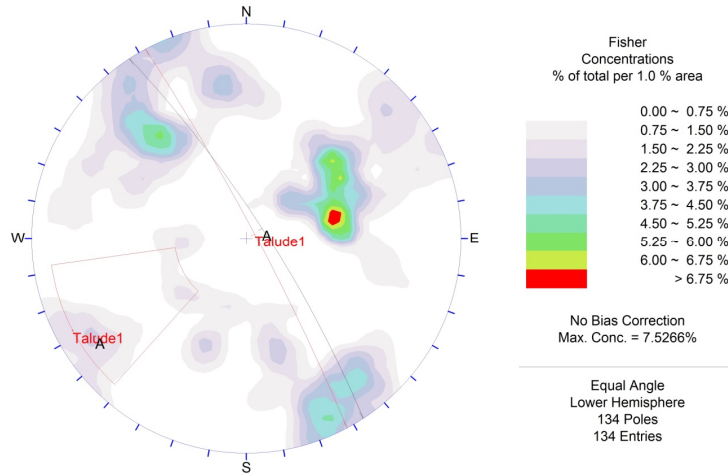
Fonte: Do autor

Figura 14 -Diagrama com o talude analisado– Atitude=N28W/85NE.



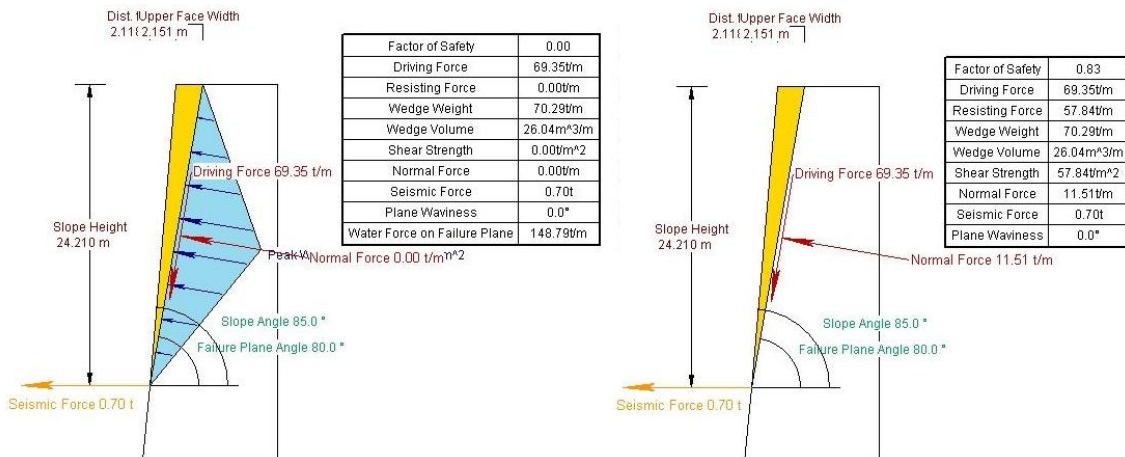
Fonte: Do autor.

Figura 15 - Escorregamento Planar– Plano A = N33W/80NE.
FS obtido: c/água = 0,00 ; drenado = 0,84.



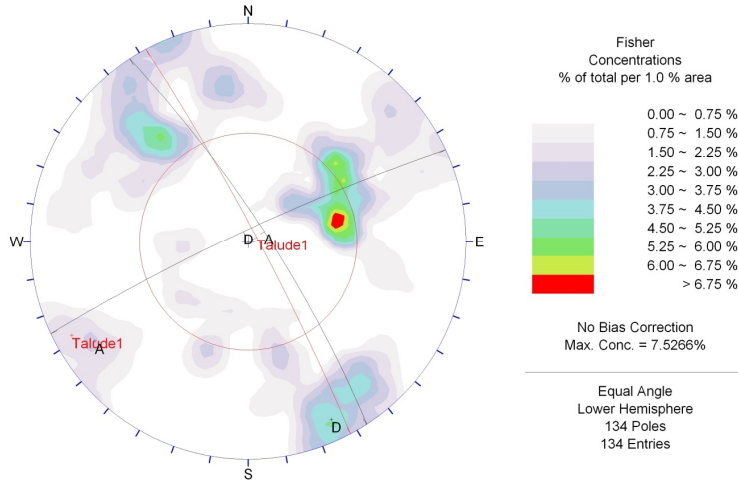
Fonte: Do autor.

Figura 16 - Análise de Escorregamento Planar do Plano A –Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água.



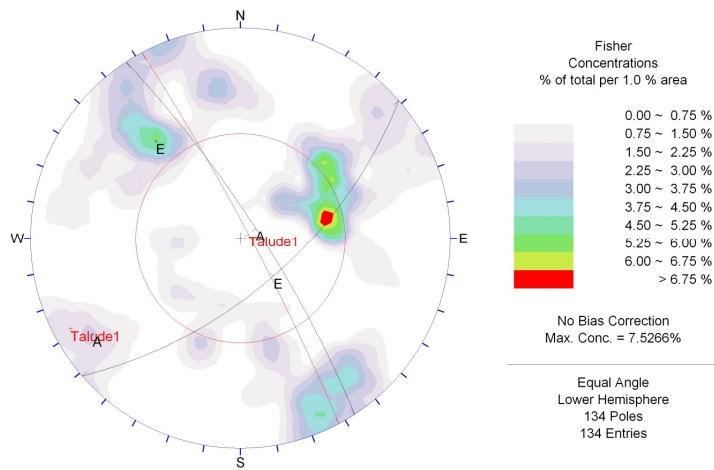
Fonte: Do autor.

Figura 17 Escorregamento em Cunha – Plano A = N33W/80NE; Plano D = N65E/84NW. **FS obtido: c/água = 0,00 ; drenado = 1,30.**



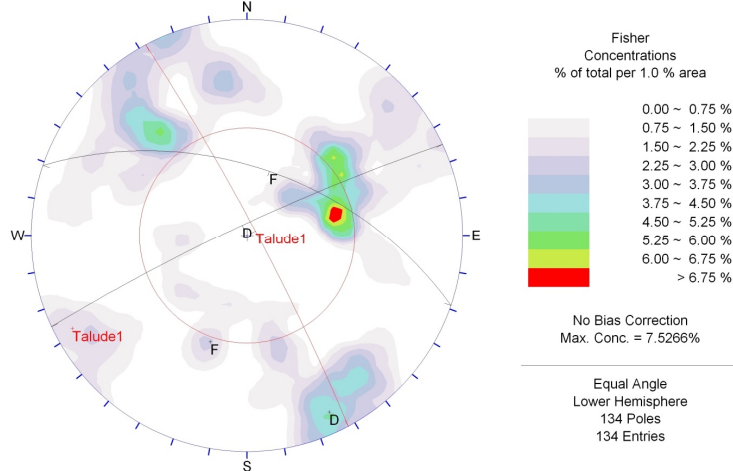
Fonte: Do autor.

Figura 18 Escorregamento em Cunha – Plano A = N33W/80NE; Plano E = N49E/63SE. **FS obtido: c/água = 0,06 ; drenado = 1,30.**



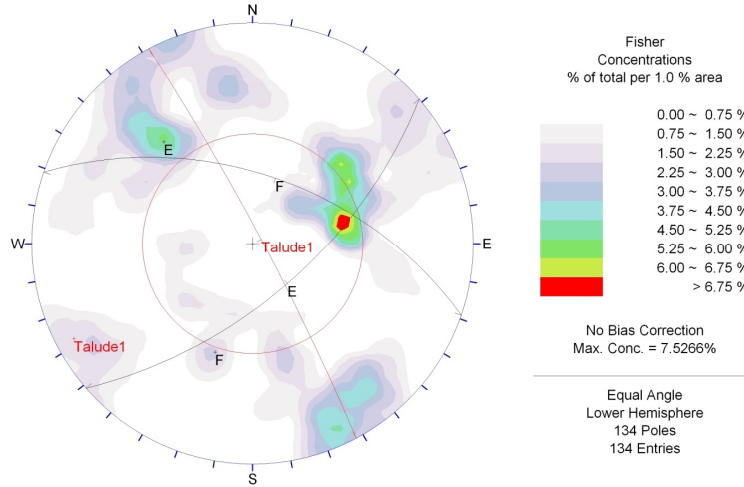
Fonte: Do autor.

Figura 19 Escorregamento em Cunha – Plano D = N65E/84NW; Plano F = N71W/55NE. **FS obtido: c/água = 1,12 ; drenado = 1,74.**



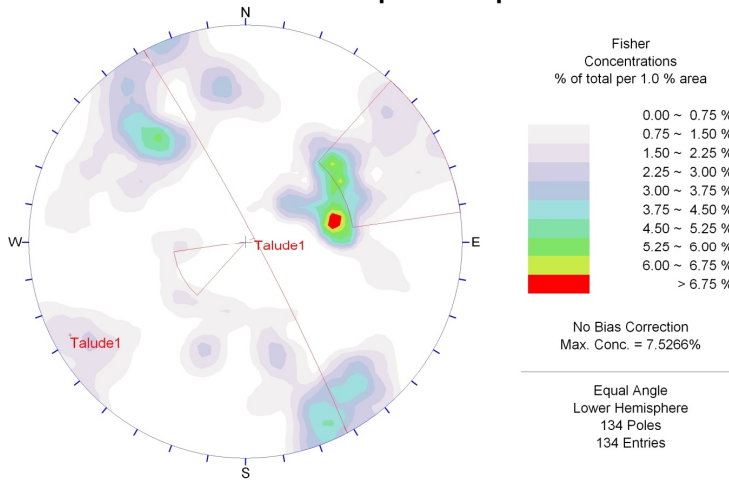
Fonte: Do autor.

Figura 20 Escorregamento em Cunha – Plano E = N49E/63SE; Plano F = N71W/55NE. **FS obtido: c/água = 1,19; drenado = 1,63.**



Fonte: Do autor.

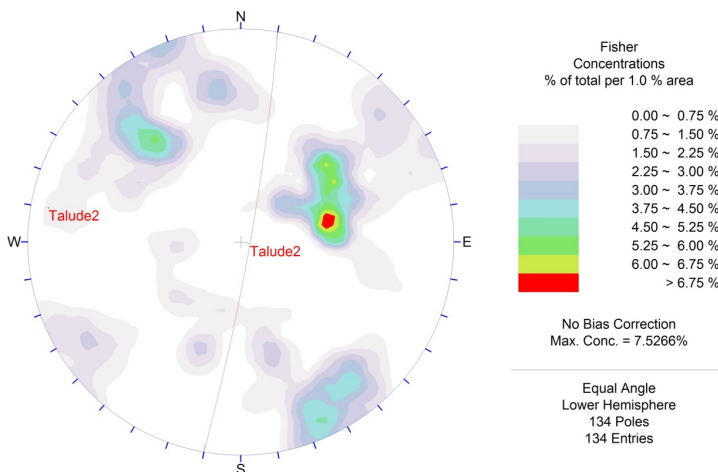
Figura 21 Análise de Tombamento. **Sem potencial para ocorrer o tombamento.**



Fonte: Do autor.

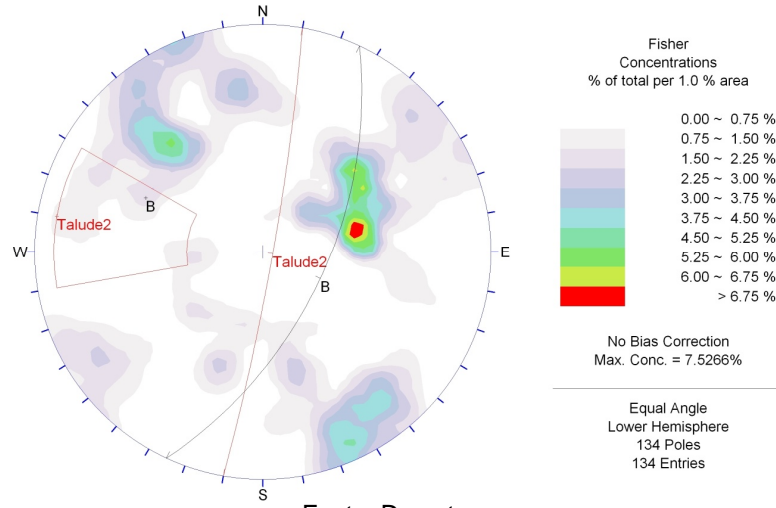
5.1.2. Bloco de análise 1A x Talude 2

Figura 22 -Diagrama com o talude analisado – Atitude = N10E/85SE.



Fonte: Do autor.

Figura 23 - Escorregamento Planar – Atitude do Plano B = N25E/59SE. **FS obtido: c/água = 0,24; drenado = 0,60.**



Fonte: Do autor.

Figura 24 - Análise de Escorregamento Planar do **Plano B** - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água.

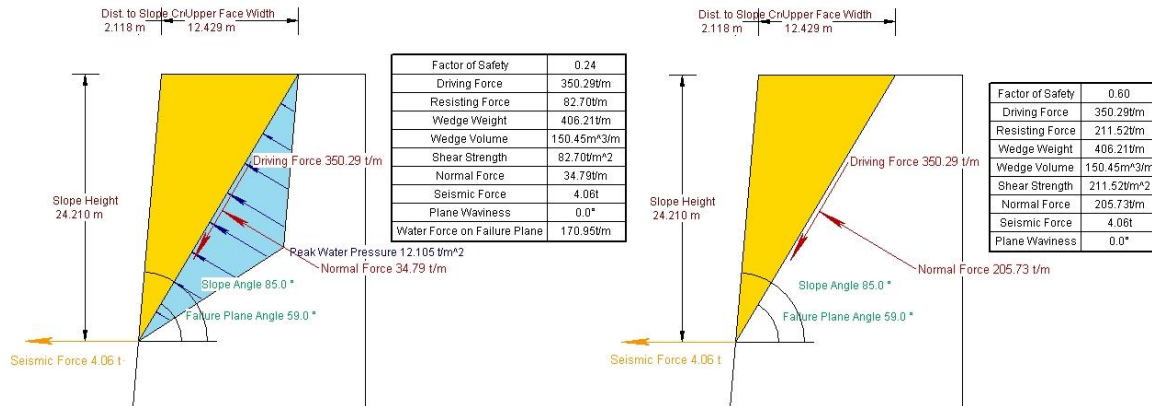
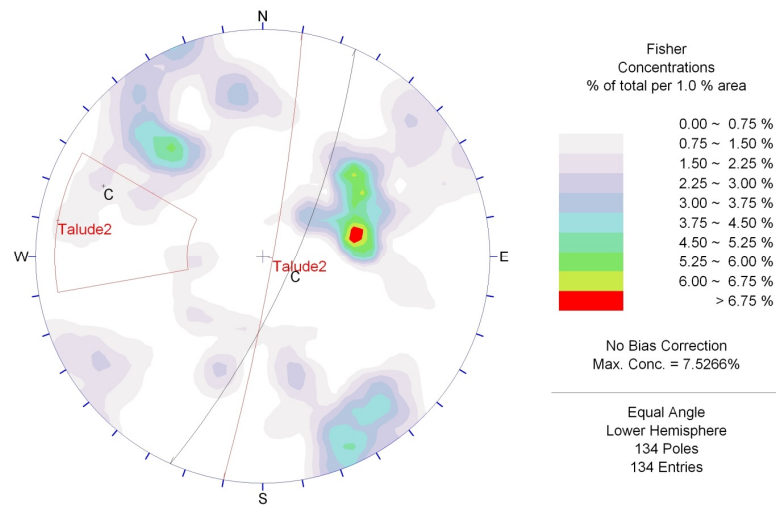
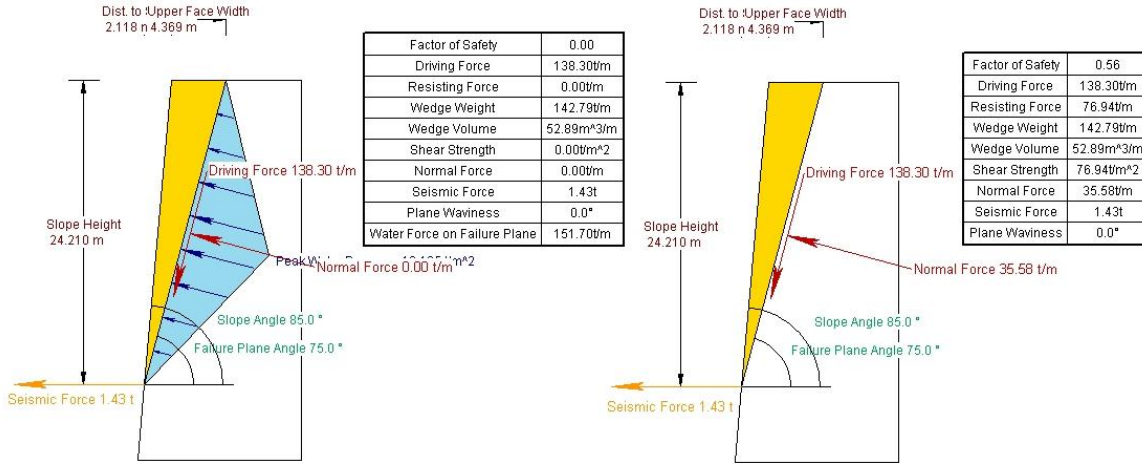


Figura 25 Escorregamento Planar – Atitude do Plano C = N24E/75SE **FS obtido: c/água = 0,00; drenado = 0,54.**



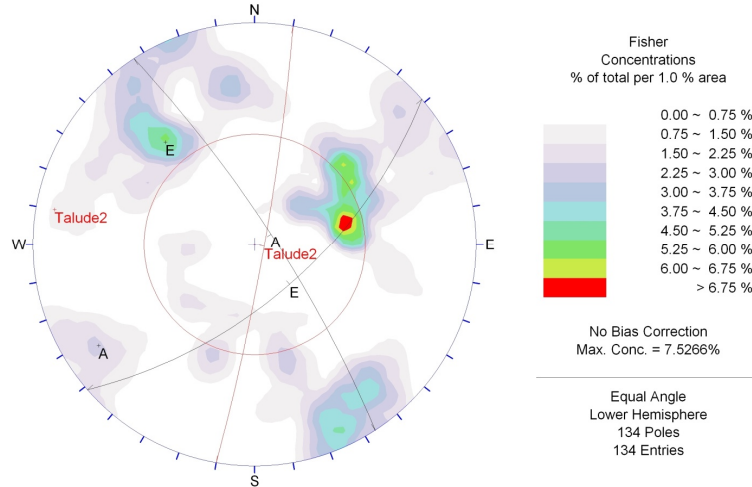
Fonte: Do autor.

Figura 26 - Análise de Escorregamento Planar do **Plano C** - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água.



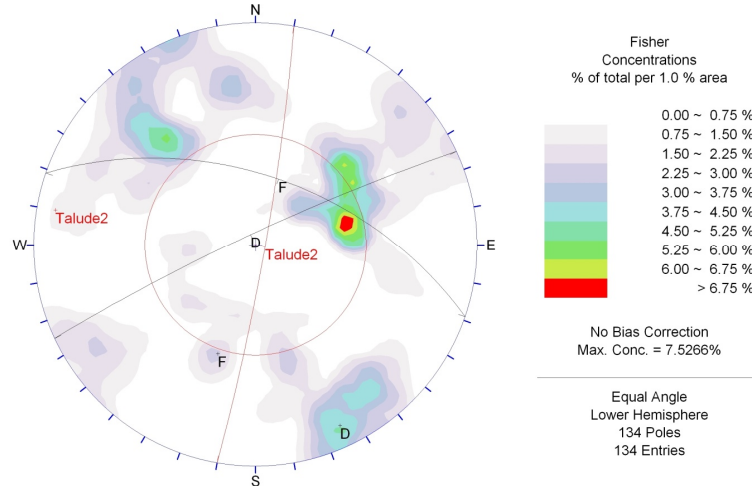
Fonte: Do autor.

Figura 27 - Escorregamento em Cunha – Plano A = N33W/80NE; Plano E = N49E/63SE. **FS obtido: c/água = 0,21; drenado = 0,83.**



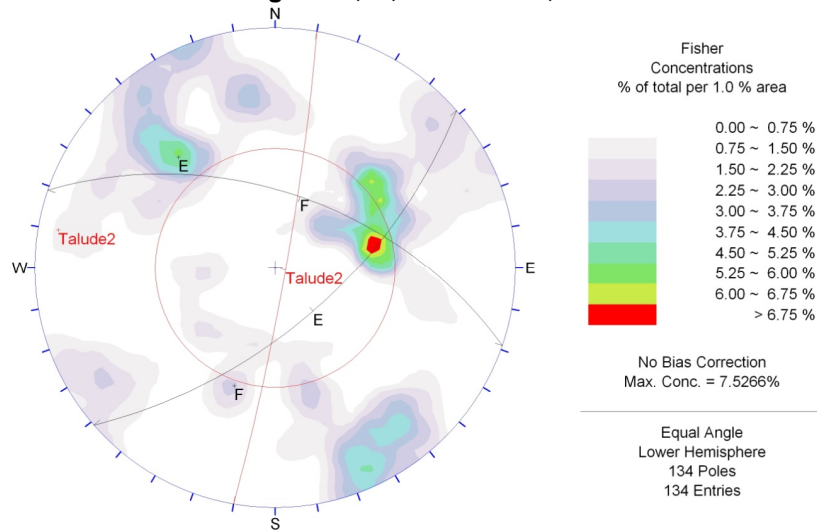
Fonte: Do autor.

Figura 28 - Escorregamento em Cunha: Plano D = N65E/84NW; Plano F = N71W/55NE. **FS obtido: c/água = 1,02; drenado = 1,92.**



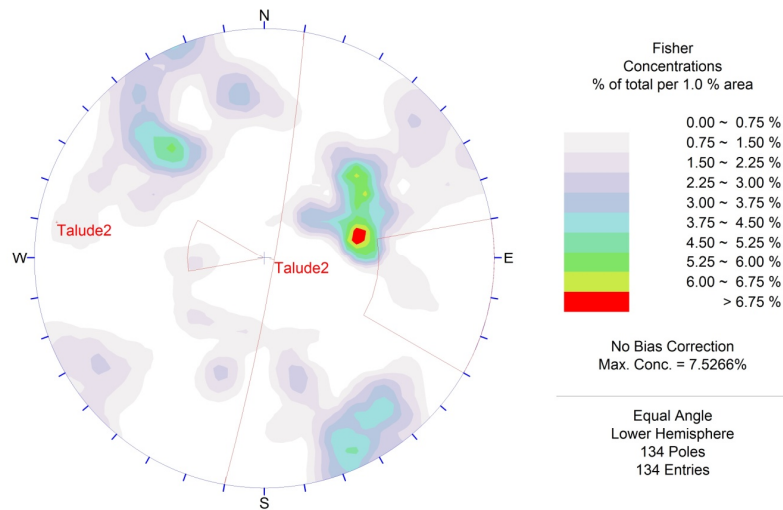
Fonte: Do autor.

Figura 29 - Escorregamento em Cunha – Plano E = N49E/63SE; Plano F = N71W/55NE. **FS obtido: c/água = 1,18; drenado = 1,65.**



Fonte: Do autor.

Figura 30 - Análise de Tombamento. **Sem potencial para ocorrer o tombamento.**



Fonte: Do autor.

5.1.2 Síntese dos resultados dos Blocos de Análise

As tabelas 7 a 30 mostram a síntese dos dados utilizados e os fatores de segurança obtidos para cada simulação realizada em cada Bloco de Análise. Para facilitar a observação os valores iguais a maiores que o fator de segurança mínimo estipulado pela NBR (FS=1,3) estão em azul e os menores estão em vermelho. No caso do tombamento de blocos, quando há potencialidade para queda foi marcado em vermelho e quando não ocorre a conjunção de duas descontinuidades que permite esse escorregamento foi deixado na cor azul

Tabela 7 - BA 1A - Síntese dos resultados do Talude 1.

| Bloco | Talude 1 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|------------|-----------|---------------------|-------------------------|-------------|------------|-----------|
| 1A | N28W/85NE | 24,21 | Escorregamento Planar | A | 0,84 | 0 |
| | | | | A/D | 1,3 | 0 |
| | | | Escorregamento em Cunha | A/E | 1,3 | 0,06 |
| | | | | D/F | 1,74 | 1,12 |
| | | | | E/F | 1,63 | 1,19 |
| Tombamento | | | | Inexistente | | |

Tabela 8 - BA 1A - Síntese dos resultados do Talude 2.

| Bloco | Talude 2 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|------------|-----------|---------------------|-------------------------|-------------|------------|-----------|
| 1A | N10E/85SE | 24,21 | Escorregamento Planar | B | 0,6 | 0,24 |
| | | | | C | 0,56 | 0 |
| | | | Escorregamento em Cunha | A/E | 0,83 | 0,21 |
| | | | | D/F | 1,92 | 1,02 |
| | | | | E/F | 1,65 | 1,18 |
| Tombamento | | | | Inexistente | | |

Tabela 9 - BA 1B - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-------|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| 1B | Talude | N41E/85SE | --- | 112 |
| | Planos | A N50E/80SE | 7,2-8,4 | |
| | | B N45E/54SE | 2,4-3,6 | |
| | | C N61W/85NE | 2,4-3,6 | |

Tabela 10 - BA 1B - Síntese dos resultados do Talude.

| Bloco | Talude 1 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|------------|-----------|
| 1B | N41E/85SE | 23,84 | Escorregamento Planar | A | 0,85 | 0 |
| | | | | B | 0,68 | 0,35 |
| | | | Escorregamento em Cunha | A/C | 1,35 | 0 |
| | | | | B/C | 1 | 0,65 |
| | | | Tombamento | | | |

Tabela 11 - BA 1C - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-------|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| 1C | Talude1 | N63W/85SW | --- | 172 |
| | Talude2 | N13E/85SE | --- | |
| | Planos | A N52W/82SW | 4,8-6,0 | |
| | | B N39W/21SW | 4,8-6,0 | |
| | | C N32E/83SE | 6,0-7,2 | |

Tabela 11 - BA 1C - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-------|-----------|---------|---------------|-----------------|
| 1C | Planos | D | N51E/88SE | >10,8 |
| | | E | N40E/89SE | >10,8 |
| | | F | N70W/89NE | 4,8-6,0 |

Tabela 12 - BA 1C - Síntese dos resultados do Talude 1.

| Bloco | Talude 1 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|-----------|
| 1C | N63W/85SW | 23,26 | Escorregamento Planar | A | 1,32 | 0 |
| | | | Escorregamento em Cunha | A/C | 1,73 | 0 |
| | | | | A/D | 2,24 | 0 |
| | | | Tombamento | B/F | Planos Potenciais | |

Tabela 13 - BA 1C - Síntese dos resultados do Talude 2.

| Bloco | Talude 2 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|-------------|------------|-----------|
| 1C | N13E/85SE | 23,26 | Escorregamento Planar | C | 1,91 | 0 |
| | | | Escorregamento em Cunha | C/D | 3,76 | 0 |
| | | | | C/E | 8,89 | 5,32 |
| | | | Tombamento | Inexistente | | |

Tabela 14 - BA 2 - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos | |
|-------|-----------|-----------|---------------|-----------------|----------|
| 2 | Talude | N50W/85NE | --- | 117 | |
| | Planos | A | N40W/57NE | | 2,25-3,0 |
| | | B | N58W/74NE | | 2,25-3,0 |
| | | C | N77W/43NE | | 3,75-4,5 |
| | | D | N79W/43NE | | 3,75-4,5 |
| | | E | N20E/69SE | | 4,5-5,25 |
| | | F | N29E/83NW | | >6,75 |
| | | G | N30W/56SW | | 3,75-4,5 |
| | | H | N69W/21NE | | 3,0-3,75 |

Tabela 15 - BA 2 - Síntese dos Resultados do Talude.

| Bloco | Talude 1 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|------------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|------------|-----------|
| 2 | N50W/85NE | 24,21 | Escorregamento Planar | A | 0,62 | 0,27 |
| | | | Escorregamento em Cunha | B | 0,67 | 0,34 |
| | | | | C/F | 1,44 | 1,02 |
| | | | | D/E | 1,32 | 0,95 |
| | | | | D/F | 1,22 | 0,79 |
| Tombamento | G/H | Planos Potenciais | | | | |

Tabela 16 - BA 3 - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-------|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| | Talude1 | N17W/85NE | --- | |
| | Talude2 | N64W/85NE | --- | |
| 3 | Planos | A N17W/76NE | 2,1-2,8 | 136 |
| | | B N75W/59NE | 2,8-3,5 | |
| | | C N89E/83NW | 5,6-6,3 | |
| | | D N68E/86NW | >6,3 | |
| | | E N67E/88SE | >6,3 | |
| | | F N18E/49SE | 4,2-4,9 | |
| | | G N88E/88SE | 4,9-5,6 | |
| | | H N01W/02NE | 5,6-6,3 | |
| | | I N25W/57SW | 2,8-3,5 | |
| | | J N88E/88SE | 3,5-4,2 | |

Tabela 17 - BA 3 - Síntese dos Resultados do Talude 1.

| Bloco | Talude 1 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|------------|-------------|--------------------------|
| 3 | N17W/85NE | 30,31 | Escorregamento Planar | A | 0,5 | 0 |
| | | | | C/D | 6,69 | 0 |
| | | | | C/E | 2,75 | 0 |
| | | | | C/F | 1,19 | 0,76 |
| | | | Escorregamento em Cunha | D/F | 1,75 | 1,26 |
| | | | | E/F | 1,7 | 1,2 |
| | | | | F/G | 1,12 | 0,65 |
| | | | | Tombamento | H/I | Planos Potenciais |

Tabela 18 - BA 3 - Síntese dos Resultados do Talude 2.

| Bloco | Talude 2 | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|------------|-------------|--------------------------|
| 3 | N64W/85NE | 30,31 | Escorregamento Planar | B | 0,57 | 0,2 |
| | | | | C/D | 3,74 | 0 |
| | | | | C/E | 2,76 | 0 |
| | | | | C/F | 1,34 | 0,61 |
| | | | Escorregamento em Cunha | D/F | 1,84 | 1,18 |
| | | | | E/F | 1,83 | 1,09 |
| | | | | F/G | 1,41 | 0,23 |
| | | | | Tombamento | H/J | Planos Potenciais |

Tabela 19 - BA 4 - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-------|-----------|-----------|---------------|-----------------|
| 4 | Talude1 | N37W/85SW | --- | 194 |
| | Talude2 | N06E/85NW | --- | |

Tabela 19 - BA 4 - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-------|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| 4 | Planos | A N39W/07SW | >13,5 | 194 |
| | | B N40W/80NE | 3,0-4,5 | |
| | | C N20W/82NE | 3,0-4,5 | |
| | | D N22E/87SE | 9,0-10-5 | |
| | | E N09E/06NW | >13,5 | |

Tabela 20 - BA 4 - Síntese dos Resultados do Talude 1.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|
| 4 | N37W/85SW | 12,66 | Escorregamento Planar | | Inexistente |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente |
| | | | Tombamento | A/B | Planos Potenciais |
| | | | | A/C | Planos Potenciais |

Tabela 21 - BA 4 - Síntese dos Resultados do Talude 2.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|
| 4 | N06E/85NW | 12,66 | Escorregamento Planar | | Inexistente |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente |
| | | | Tombamento | D/E | Planos Potenciais |

Tabela 22 - BA 5 - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos |
|-------------|-----------|-------------|---------------|-----------------|
| 5 | Talude1 | N60W/85SW | --- | 152 |
| | Talude2 | N69E/85SE | --- | |
| | Planos | A N50E/83SE | 9,1-10,4 | |
| | | B N64W/02SW | 10,4-11,7 | |
| | | C N67W/85NE | 3,9-5,2 | |
| D N49E/89NW | | 9,1-10,4 | | |
| E N89E/01SE | 10,4-11,7 | | | |

Tabela 23 - BA 5 - Síntese dos Resultados do Talude 1.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|
| 5 | N60W/85SW | 18,53 | Escorregamento Planar | | Inexistente |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente |
| | | | Tombamento | B/C | Planos Potenciais |

Tabela 24 - BA 5 - Síntese dos Resultados do Talude 2.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|-----------|
| 5 | N69E/85SE | 18,53 | Escorregamento Planar | A | 2,38 | 0 |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente | |
| | | | Tombamento | D/E | Planos Potenciais | |

Tabela 25 - BA 6 - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos | |
|-------|-----------|-----------|---------------|-----------------|----------|
| 6 | Talude1 | N85E/85SE | --- | 112 | |
| | Talude2 | N20W/85SW | --- | | |
| | Planos | A | N85E/82SE | | 4,0-6,0 |
| | | B | N76W/09SW | | 4,0-6,0 |
| | | C | N84E/87NW | | 8,0-10,0 |
| | | D | N40W/85NE | | 4,0-6,0 |
| E | | N19W/10SW | 4,0-6,0 | | |

Tabela 26 - BA 6 - Síntese dos Resultados do Talude 1.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS Drenado | FS c/água |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|-----------|
| 6 | N85E/85SE | 16,79 | Escorregamento Planar | A | 1,76 | 0 |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente | |
| | | | Tombamento | B/C | Planos Potenciais | |

Tabela 27 - BA 6 - Síntese dos Resultados do Talude 2.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|
| 6 | N20W/85SW | 16,79 | Escorregamento Planar | | Inexistente |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente |
| | | | Tombamento | D/E | Planos Potenciais |

Tabela 28 - BA 7 - Síntese dos dados utilizados.

| Bloco | Descrição | Atitude | Frequência(%) | Número de polos | |
|-------|-----------|-----------|---------------|-----------------|----------|
| 7 | Talude1 | N37W/85SW | --- | 194 | |
| | Talude2 | N06E/85NW | --- | | |
| | Planos | A | N39W/07SW | | >13,5 |
| | | B | N40W/80NE | | 3,0-4,5 |
| | | C | N20W/82NE | | 3,0-4,5 |
| | | D | N22E/87SE | | 9,0-10-5 |
| E | | N09E/06NW | >13,5 | | |

Tabela 29 - BA 7 - Síntese dos Resultados do Talude 1.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|------------|--|
| 7 | N37W/85SW | 30,27 | Escorregamento Planar | | Inexistente |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente |
| | | | Tombamento | A/B A/C | Planos Potenciais Planos Potenciais |

Tabela 30 - BA 7 - Síntese dos Resultados do Talude 2.

| Bloco | Talude | Altura do Talude(m) | Tipo de cinemática | Plano(s) | FS |
|-------|-----------|---------------------|-------------------------|----------|-------------------|
| 7 | N06E/85NW | 30,27 | Escorregamento Planar | | Inexistente |
| | | | Escorregamento em Cunha | | Inexistente |
| | | | Tombamento | D/E | Planos Potenciais |

5.2 Análise de estabilidade no solo

Como mencionado anteriormente, devido à constatação retirada do talude de solo para o avanço da cava, os taludes de solo foram definidos no perímetro limite da área da poligonal licenciada nos órgãos competentes. Por este motivo, os taludes em solo ao final da lavra foram definidos para três alturas, de acordo com as espessuras de solo obtidas por sondagens nos limites de expansão da cava. O talude com 8 m de altura referencia a frente ao norte da cava, onde a cobertura de solo atinge até 16,5 m de espessura.

Obviamente as geometrias aqui estudadas são referências, não sendo obrigatórias nas conformações quando atingidos os limites finais de expansão, onde ensaios geotécnicos e intenções de avanço podem modificá-las.

A tabela 31 traz os parâmetros utilizados nas simulações de definição das geometrias estáveis para as três alturas de talude consideradas. Vale ressaltar que a inclinação foi definida a partir de cálculos por meio de experimentação, ou seja, utilizando valores aleatórios e calculando seus respectivos FS.

Tabela 31 – Geometria e fator de segurança para taludes em solo.

| Talude | Altura (m) | Inclinação (°) | Coesão (kN/m ²) | Âng. Atrito (°) | Densidade (kN/m ³) | Ru | FS (Fellenius) | FS (Bishop) |
|--------|------------|----------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------------|------|----------------|-------------|
| 1 | 8 | 45 | 31 | 29 | 15 | 0,67 | 1,95 | 1,71 |
| 2 | 6 | 60 | | | | | 2,07 | 1,63 |
| 3 | 4 | 70 | | | | | 2,85 | 2,27 |

Segue abaixo as figuras 31 a 36, que mostram as análises realizadas no programa *Slide* com os dados da tabela 31, presença total de água no talude, utilizando o coeficiente r_u adquirido pela equação 4, do item 2 (Revisão Bibliográfica), seu fator de segurança e o círculo de escorregamento:

Figura 31 - Análise de escorregamento circular - talude de 4m - Método Fellenius.
FS obtido - **FS = 1,95.**

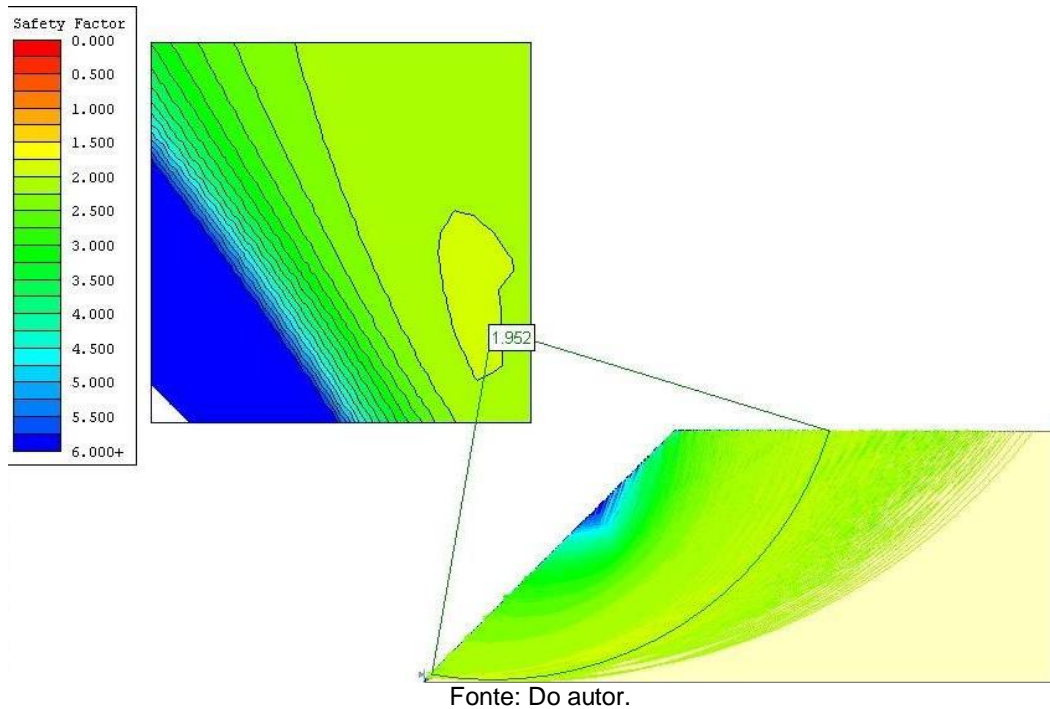


Figura 32 - Análise de escorregamento circular - talude de 4m - Método Bishop.
FS obtido - **FS = 1,71.**

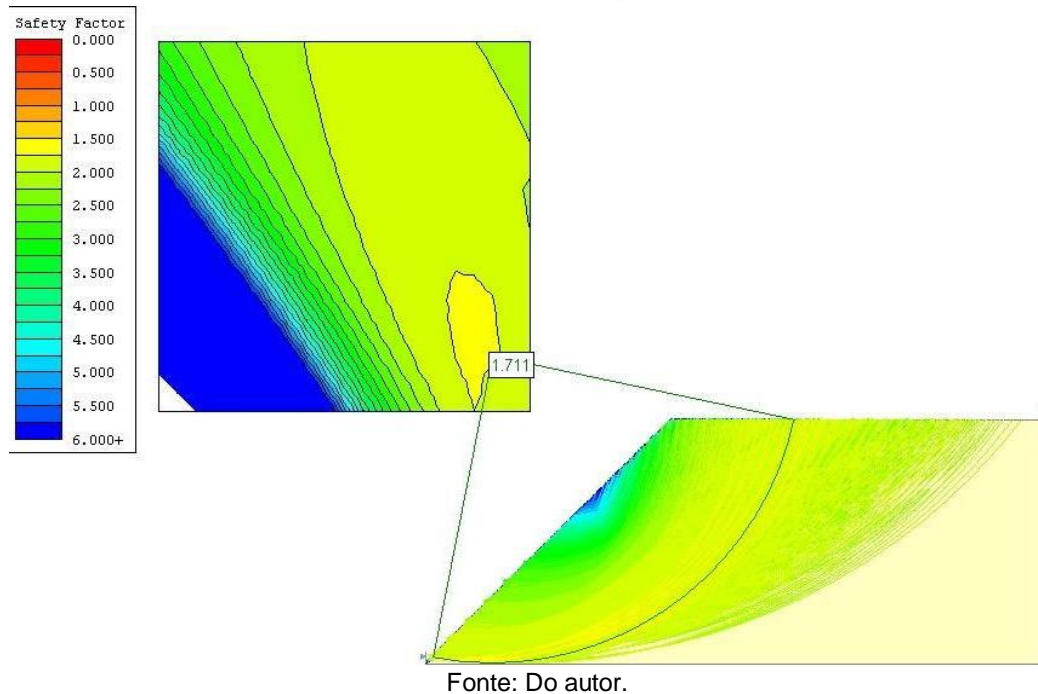
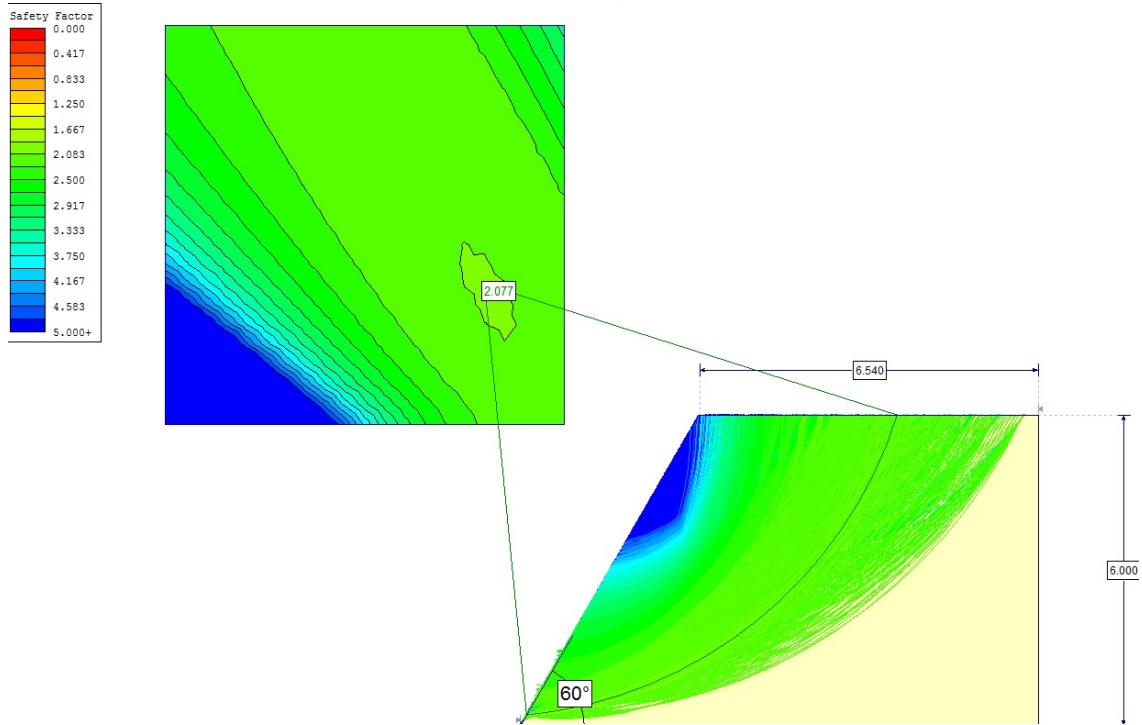
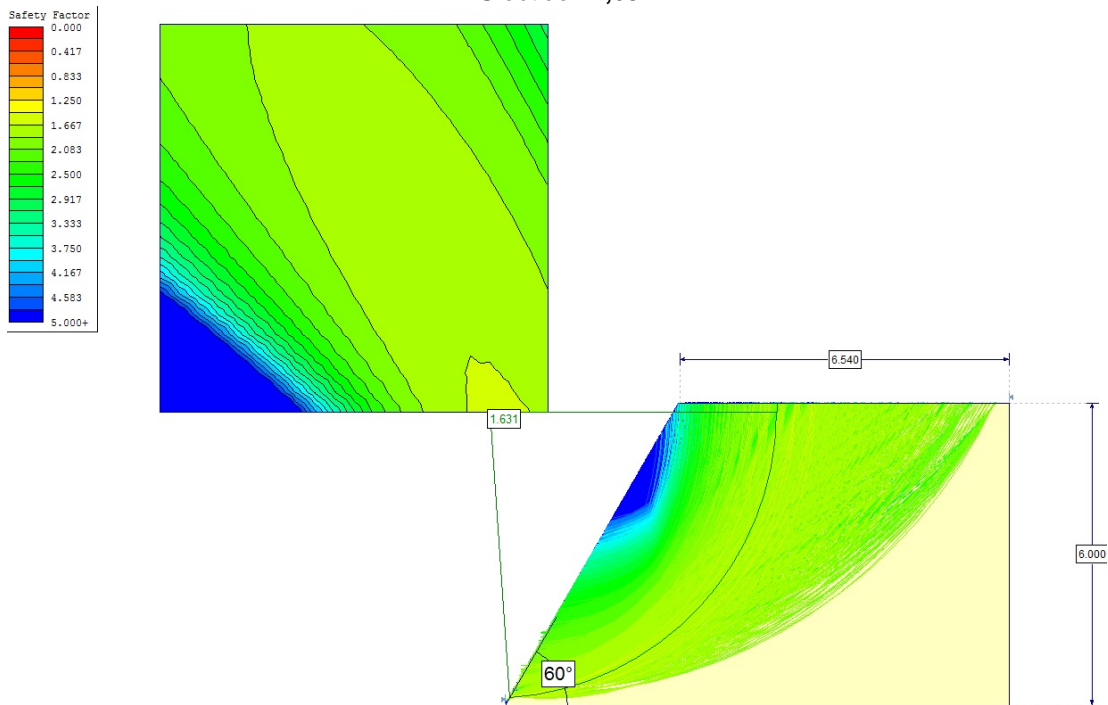


Figura 33 - Análise de escorregamento circular- talude de 6m - Método Fellenius.
FS obtido: **2,07**.



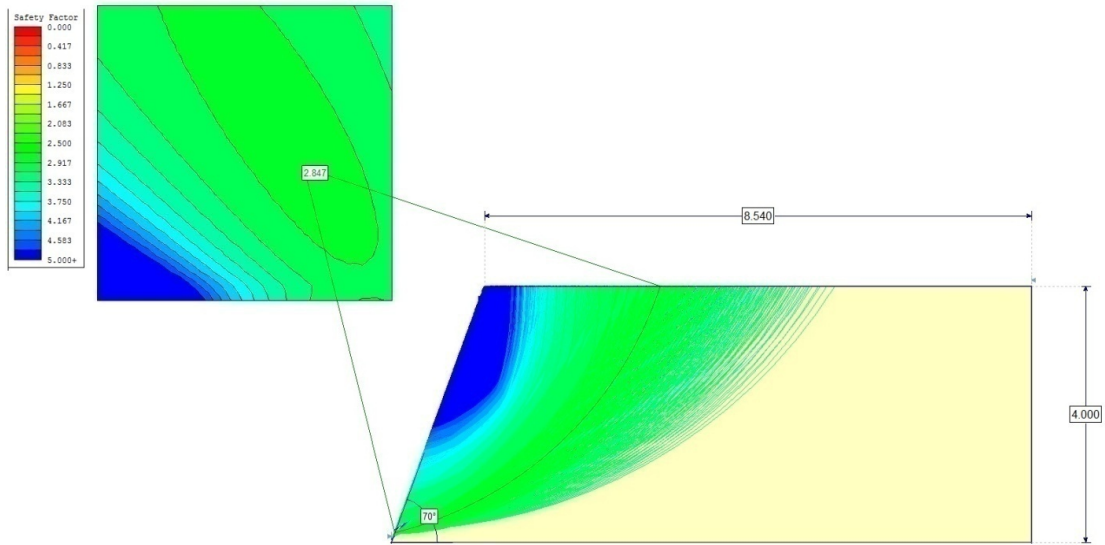
Fonte: Do autor.

Figura 34 - Análise de escorregamento circular - talude de 6m - Método Bishop.
FS obtido: **1,63**.



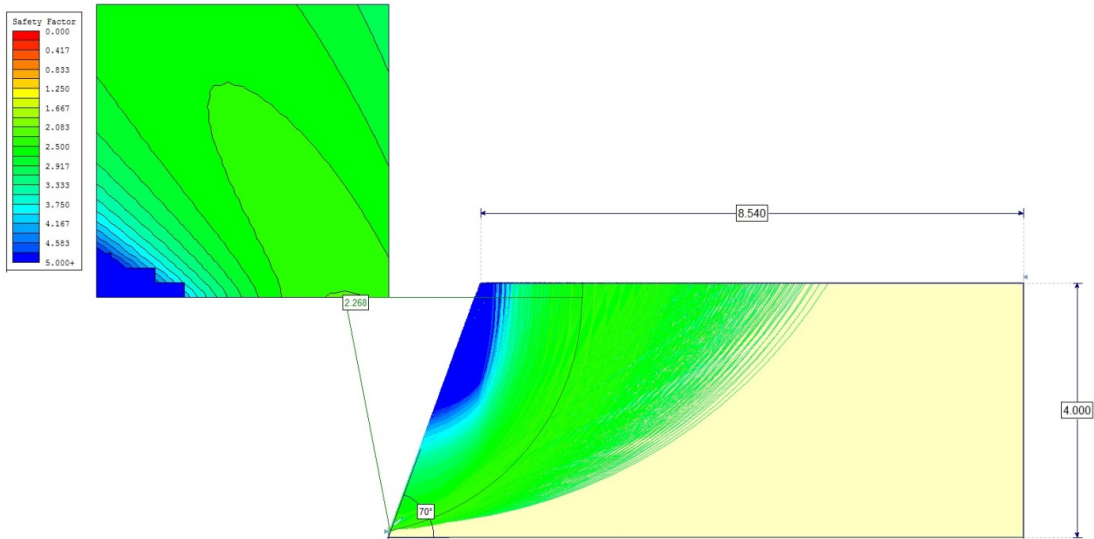
Fonte: Do autor.

Figura 35 - Análise de escorregamento circular - Método Fellenius - talude de 8m
FS obtido - **FS = 2,85**.



Fonte: Do autor.

Figura 36 - Análise de escorregamento circular - Método Bishop. FS obtido: **2,27**.



Fonte: Do autor.

6 DISCUSSÃO

Os resultados em termos de estabilidade dos taludes analisados, tanto de rocha como de solo, são apresentados conclusivamente nas tabelas do item 5.1.3 (de rocha) e 5.2 (de solo) e nos próprios estereogramas dos itens 5.1.1, 5.1.2, 5.2 e Apêndice 2. Enquanto que a posição dos BA's estão contidas na planta do Apêndice 1, onde traz a cava atual. A localização e a dimensão dos mesmos são aproximadas em planta, apresentadas apenas para a identificação espacial dos locais.

Os valores de FS obtidos, tanto no solo, como na rocha, são considerados conservadores, uma vez que são valores empíricos, calculados por feições observadas em campo e dados retirados de literatura relacionada ao tema. Com isso, os valores referenciam a situação mais propícia ao movimento, pois calculados com valores de coesão em seus limites mínimos.

Indicações que antecedem este movimento é mais perceptível em taludes de solo, onde formam-se sulcos e rachaduras paralelas à frente do talude e pequenos degraus, indicando o início da movimentação. Enquanto que nos taludes rochosos esses indicadores que antecedem a movimentação são menos perceptíveis. Por este motivo, adotou-se valores de coesão e ângulo de atrito mais baixos dentre os limites empíricos estipulados.

A dispersão das concentrações de polos no diagrama corresponde a variações de mergulho e de direção das descontinuidades medidas. Refletem ondulações do plano, ocasionadas por fatores atectônicos, como cristalização em forma de disjunções colunares e devido ao desmonte de rocha por explosivo, e fatores tectônicos, representados por falhas e fraturas localizadas.

Estas condições favorecem a estabilidade, uma vez que são similares a rugosidade da rocha, produzindo uma resistência adicional ao deslocamento dos blocos em qualquer uma das cinemáticas estudadas. Além disso, a imbricação dos blocos, deixando-os engaiolados, também exemplificam tais situações .

Pode-se perceber nas análises para estabilidade de rocha a grande interferência da presença de água, seja meteórica ou devido ao córrego a sudoeste da cava (acredita-se na interferência do córrego no preenchimento das fraturas do maciço rochoso pois encontra-se água vertendo nos taludes oeste e sul mesmo em períodos de seca), no fator de segurança calculado nos escorregamentos planares e em cunha para cada BA analisado, chegando, por vezes, a zerar o FS (ocorrendo

principalmente quando o bloco formado para escorregamento é de pequena dimensão).

Como não é possível manter as fraturas totalmente drenadas, principalmente as que tem contribuição de água da drenagem, considera-se necessário realizar um abatimento nos taludes, com o objetivo de diminuir a inclinação (que hoje se encontra subvertical), além do controle das águas pluviais, dimensionando canaletas e sistemas de drenagem artificial para que não haja infiltração próximo a cava.

Para o caso de tombamentos de rocha, observou-se que a probabilidade de ocorrer este evento é menor, uma vez que é necessário uma conjunção de dois planos, um de alta inclinação e mesmo sentido da vertente e outro de baixa inclinação e com sentido oposto ao talude, separando assim o maciço rochoso. No entanto, este movimento não pode deixar de ser analisado devido à cristalização em forma de disjunção colunar típico de diabásio.

Com relação aos taludes de solo, foram projetados de modo a extrapolar o fator de segurança devido à imprecisão dos dados utilizados na análise, uma vez que a composição pesquisada refere-se à observada nos taludes atuais.

Além disso, considerou-se que o talude está encharcado de água, utilizando o dado empírico de ru, que foi calculado conforme demonstrado no item revisão bibliográfica, e utilizou mais de um método computacional (método de bishop e fellenius), onde separa o talude de solo em várias lamelas e calculam as forças envolvidas, como força peso e resistência, para determinar as chances de ocorrer o escorregamento.

Deste modo, o resultado mais baixo do valor de segurança foi para o talude de 6m, com 1,63.

Este trabalho tentou, de forma aplicada, calcular os valores dos Fatores de Segurança em termos de predição de possibilidade de escorregamentos que podem ocorrer na mineração de brita (objeto deste estudo) enquanto estiver em atividade e depois de desativada. Apesar de utilizar valores empíricos e retirados de literaturas relacionadas ao assunto, acredita-se que os fatores de segurança calculados podem ser considerados satisfatórios para determinar se o talude está estável ($FS > 1,3$) ou está instável, necessitando assim de um novo estudo, direcionado a contenção do talude.

REFERÊNCIAS

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech*, v.6, n.4, p-183-236, 1974.

BISHOP, A. W.; MORGENSTERN, N. R. Stability coefficients for earth slopes. *Geotechnique*, n.10, p-129-150, 1960.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes*. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2011. 604p.

FRANKLIN, J.A.; DUSSEAULT, M.B. *Rock engineering*. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1989. 600p.

FRAZÃO, E. B.; FRASCA, M. H. B. de O. Características tecnológicas de agregados de pedreiras do estado de São Paulo e proposta de especificações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Ouro Preto, MG. *Anais...* Ouro Preto, MG: SBGEA, 2002..

GUIDICINI, G; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. 2. ed. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blücher, 1984. 194p.

HOEK, E. *Estimando a estabilidade de taludes escavados em minas a céu aberto*. Tradução de C.M. Nieble. São Paulo: APGA, 1972. 58p.

HOEK, E.; BRAY, J.W. *Rock slope engineering*. 3. ed. London: Institution of Mining and Metallurgy, 1981. 358p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual técnico de pedologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2015. 425p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Mapa geomorfológico do estado de São Paulo*. São Paulo, 1981a. (Publicação, 1.183; Monografias, 6).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). *Mapa geológico do estado de São Paulo*; escala 1:500.000. São Paulo, 1981b. v 2. (Publicação, 1.184, Monografias, 5).

IRRIGART - ENGENHARIA E CONSULTORIA RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE. *Estudo sobre o comprometimento da recarga de base do ribeirão e de seu afluente da margem esquerda, devido a expansão da cava de mineração de diabásio, no município de Capivari – SP* (relatório nº 662/13).Capivari-SP, 2013.

LOCZY, L.; LADEIRA, E. *Geologia estrutural e introdução à geotecnia*. 1. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blucher; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1980. 528p.

MAIA, J.A.C. *Métodos probabilísticos aplicados à estabilidade de taludes e cavidades em rocha*. 2003. 53f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília,DF, 2003.

MARCHESI, V.R. *Modelagem geomecânica tridimensional de maciços rochosos para análise bidimensional da estabilidade dos taludes de escavação da casa de força do AHE-Simplício*. 2008. 129f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Pós Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2008.

MARKLAND, J.T. A useful technique for estimation the stability of rock slopes when the ridge wedge sliding type of failure is expected. *Imperial College Rock Mechanics Research Report*, n. 19, 10 p, 1972. apud FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes*. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2011. p. 475-505.

MASSAD, F. *Obras de terra – curso básico de geotecnia*. 1. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos., 2003. 170p.

PIRES, B. S. *Resistência e compressibilidade de um latossolo sob diferentes usos e manejos*. 2007. 86p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SOIL taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, DC: United States Department of Agriculture – USDA; Soil Survey Division, 1975. 754 p. (USDA agriculture handbook, n. 436).

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. *Decifrando a terra*. 1. ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2000. 559p.

Washington, DC: United States Department of Agriculture - USDA, Soil Survey Division. *SOIL taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*, 1975. 754 p. (USDA agriculture handbook, n. 436).

APÊNDICES

APÊNDICE A - Planta PLANIALTIMÉTRICA COM OS BLOCOS DE ANÁLISE

APÊNDICE B - DIAGRAMAS DOS DEMAIS BLOCOS DE ANÁLISE EM TALUDE DE ROCHA

Tratamento de Dados do Bloco de Análise 1B - **Ângulo de Atrito de 37° e Coesão de 2t/m²**

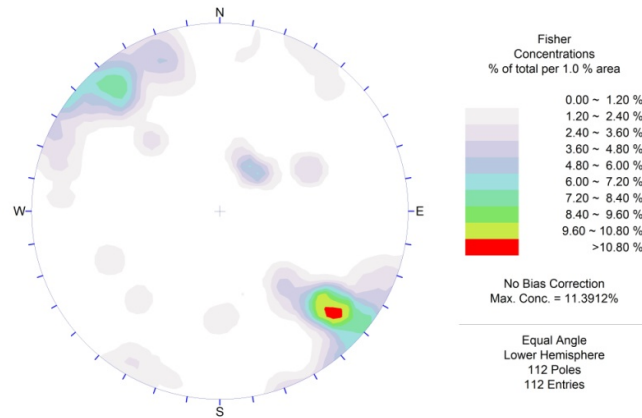


Diagrama de polos

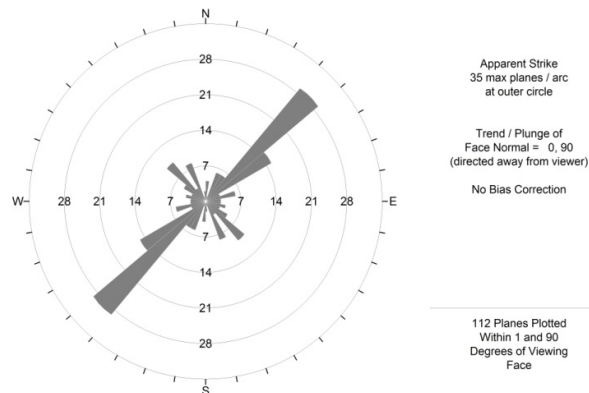
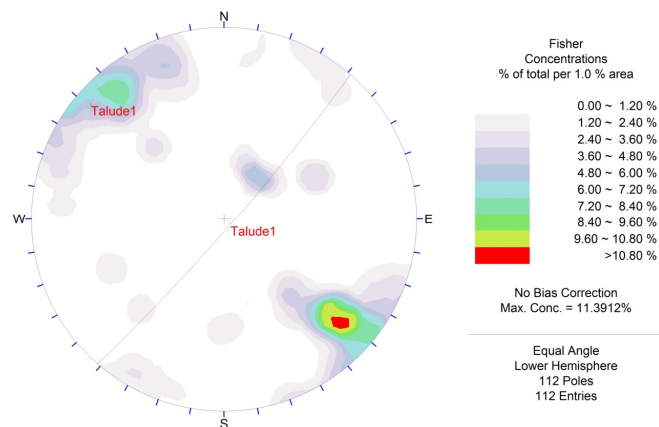
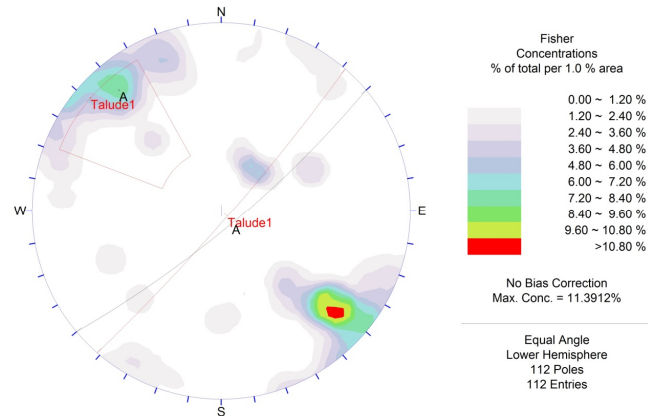


Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 1B

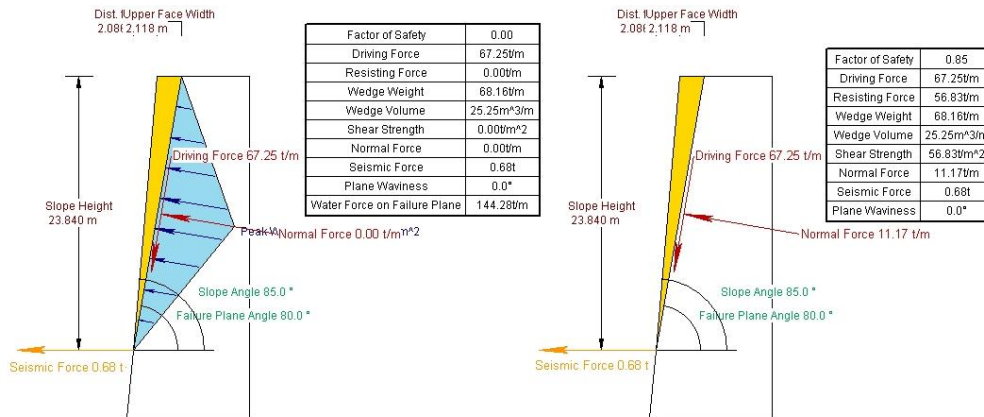
Análise do Bloco de Análise 1B



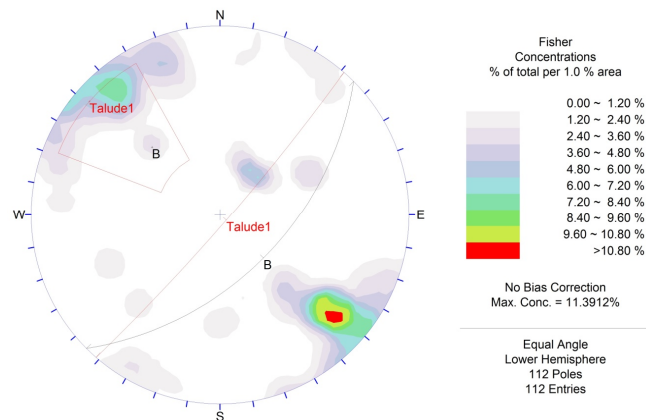
1B -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N41E/85SE



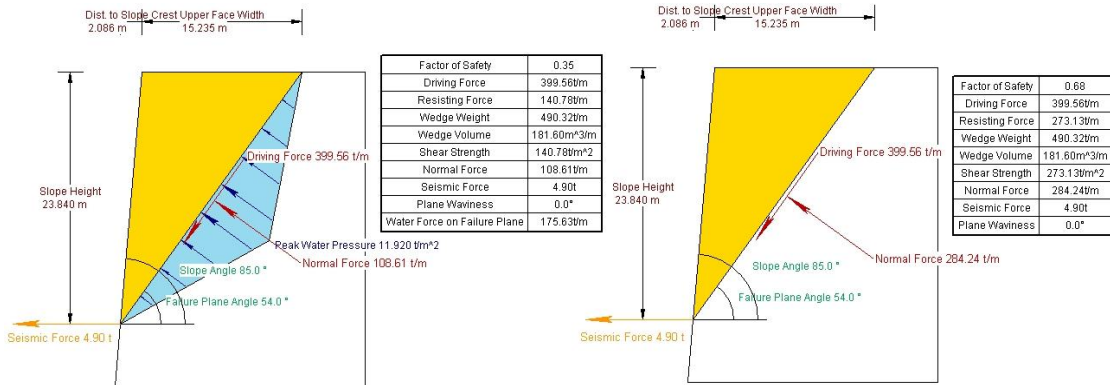
1B - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano A = N50E/80SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 0,85



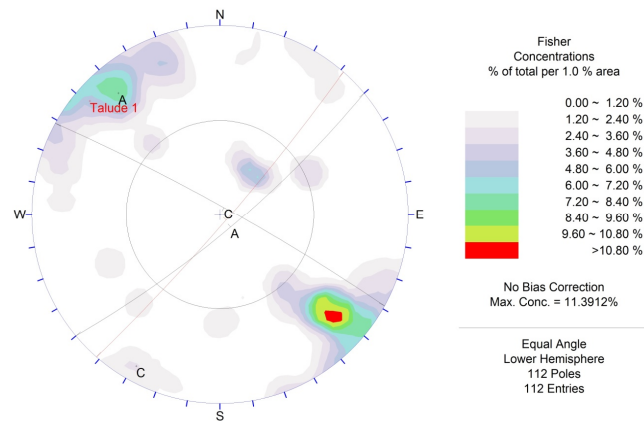
1B- Análise de Escorregamento Planar do Plano A - Desenho a esquerda: Plano com presença de água;
Desenho a direita: Plano sem presença de água



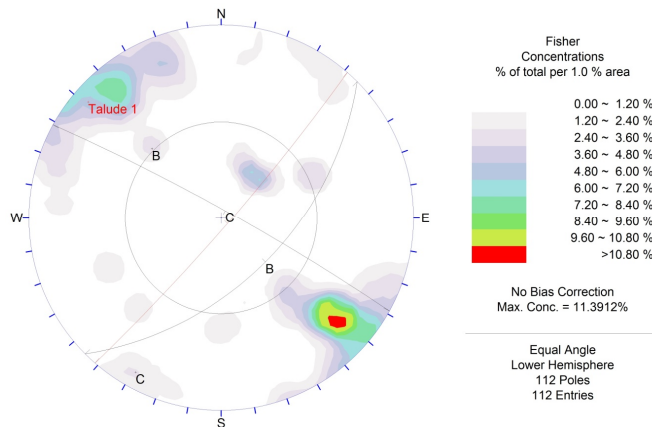
1B - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano B = N45E/54SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,35 / FS drenado = 0,68



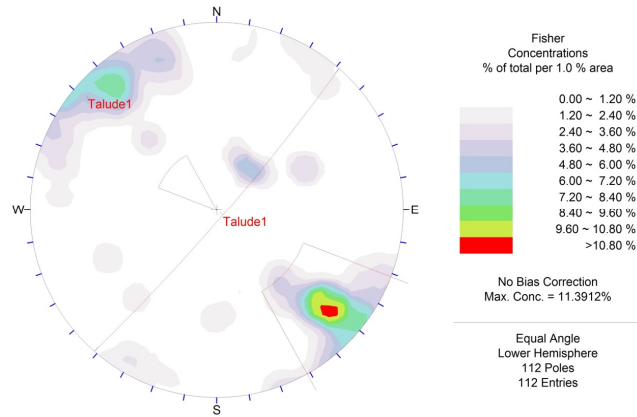
1B- Análise de Escorregamento Planar do Plano B - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



**1B - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano A = N50E/80SE; Plano C = N61W/85NE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 1,35**



**1B - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano B = N45E/54SE; Plano C = N61W/85NE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,65 / FS drenado = 1,35**



1B - Análise de Tombamento - Não há possibilidade de ocorrer

Tratamento de dados do Bloco de Análise 1C - Ângulo de Atrito de 37° e Coesão de 2t/m²

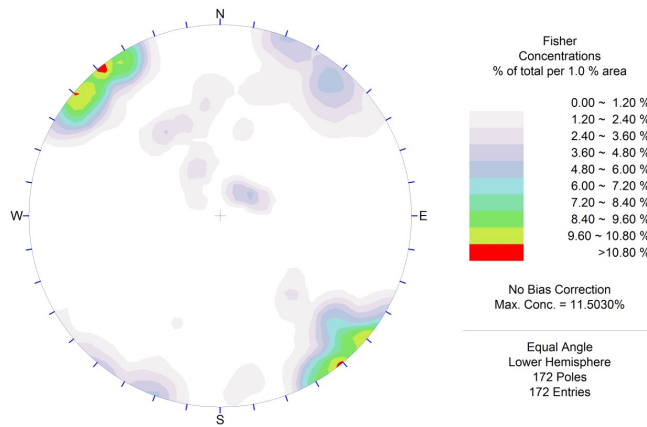


Diagrama de polos

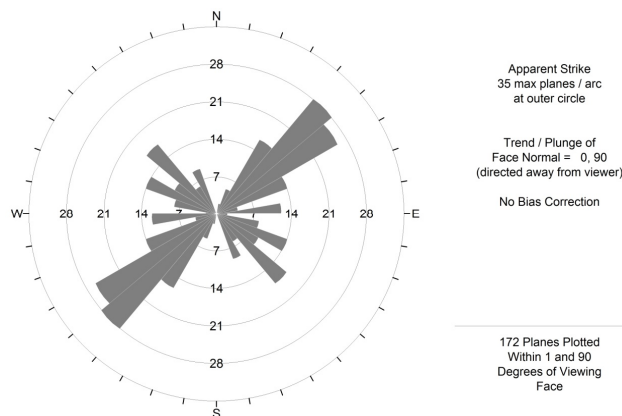
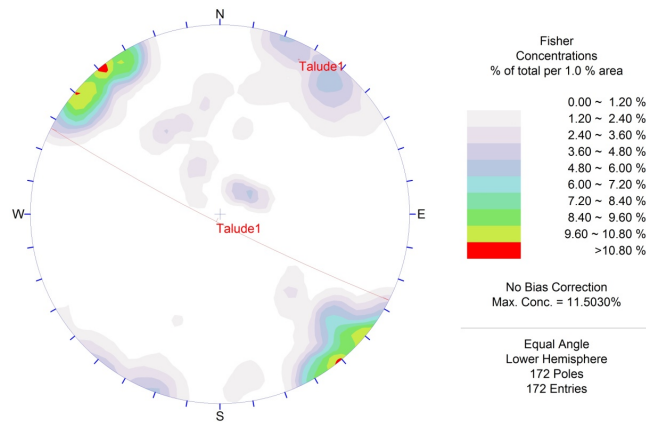
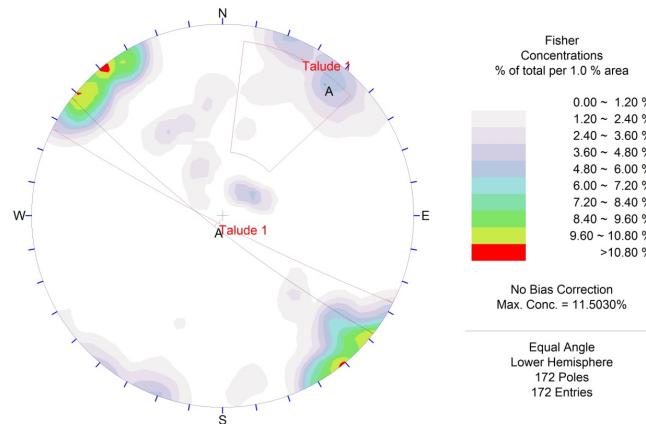


Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 1C

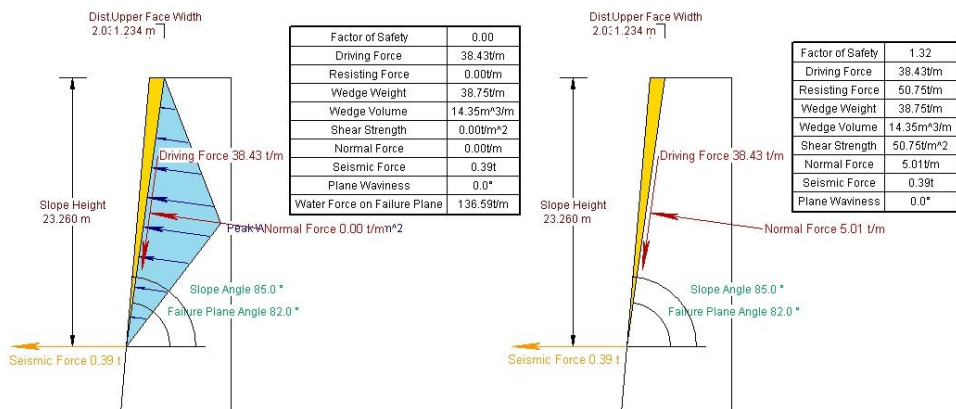
Análise do Bloco de Análise 1C x Talude 1



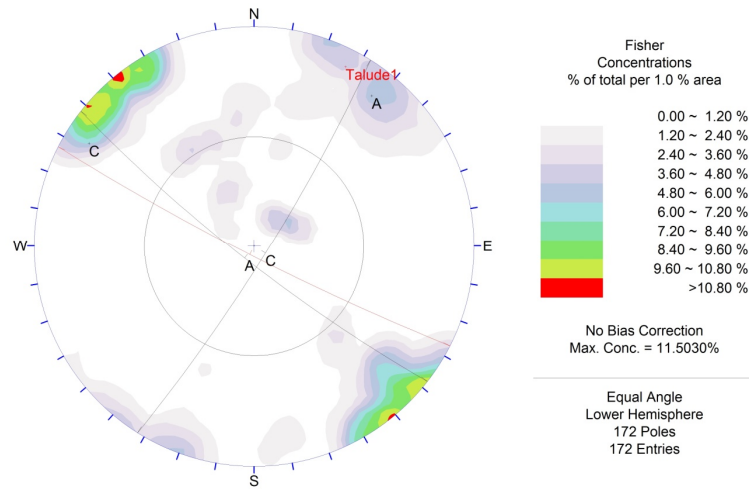
1C x T1 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N63W/85SW



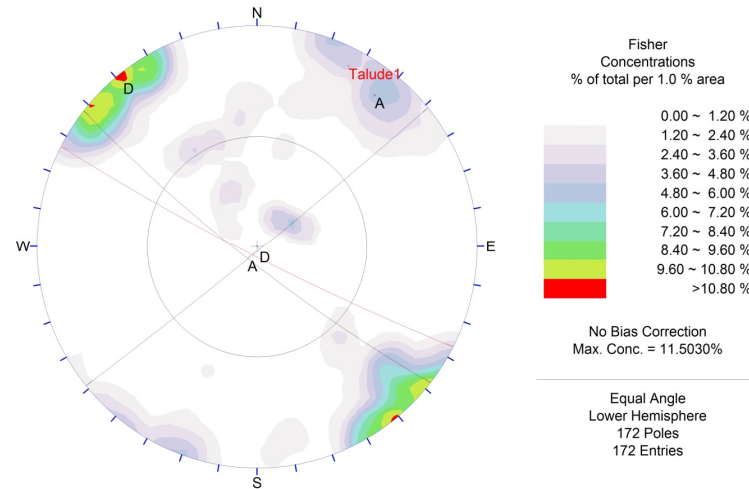
**1C x T1 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano A = N52W/82SW
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 1,32**



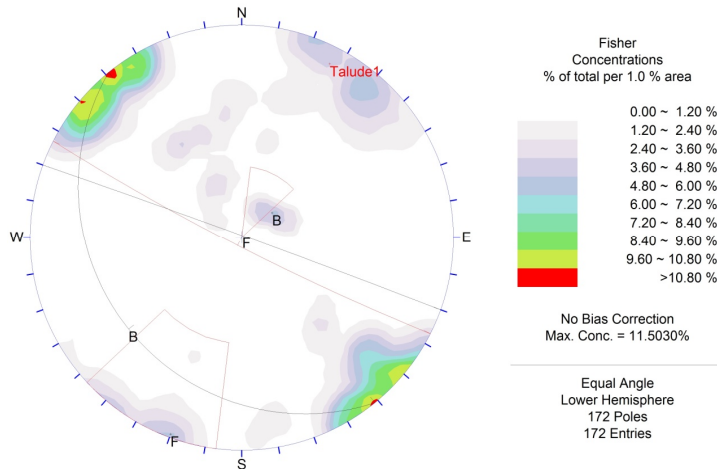
1C x T1 - Análise de Escorregamento Planar do Plano A - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



1C x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano A = N52W/82SW; Plano C = N32E/83SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 1,73

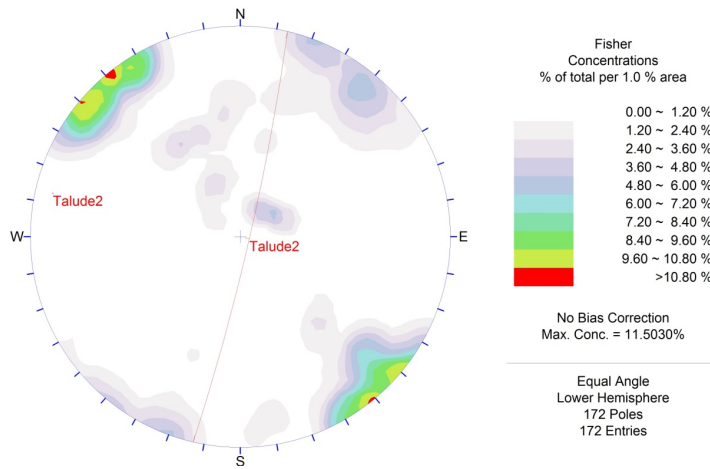


1C x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano A = N52W/82SW; Plano D = N51E/88SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 2,24

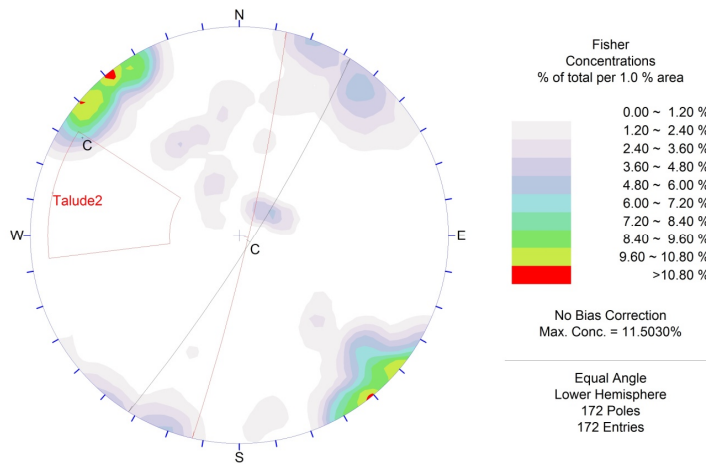


1C x T1 - Análise de Tombamento
Potencial para o tombamento - Atitude do Plano B= N39W/21SW; Plano F = N70W/89NE

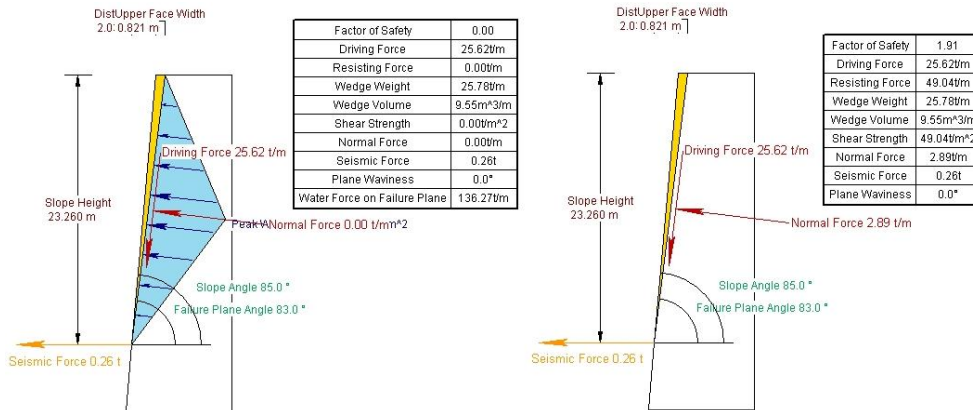
5.3.2. Análise do Bloco de Análise 1C x Talude 2



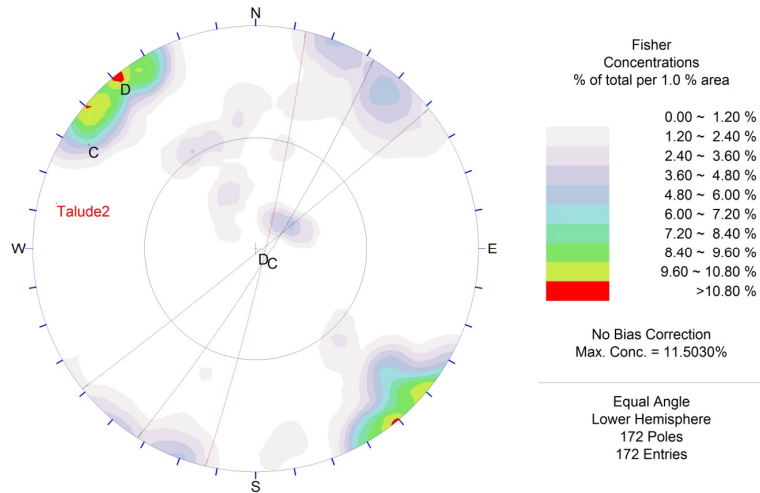
1C x T2 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N13E/85SE



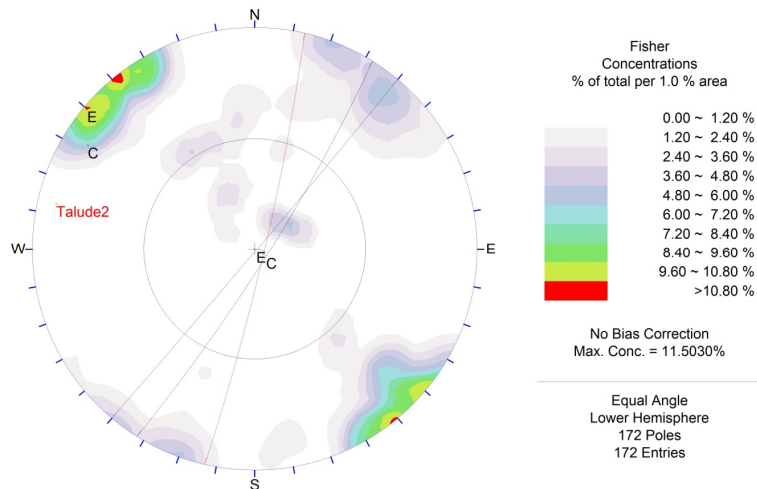
1C x T2 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano C = N32E/83SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 1,91



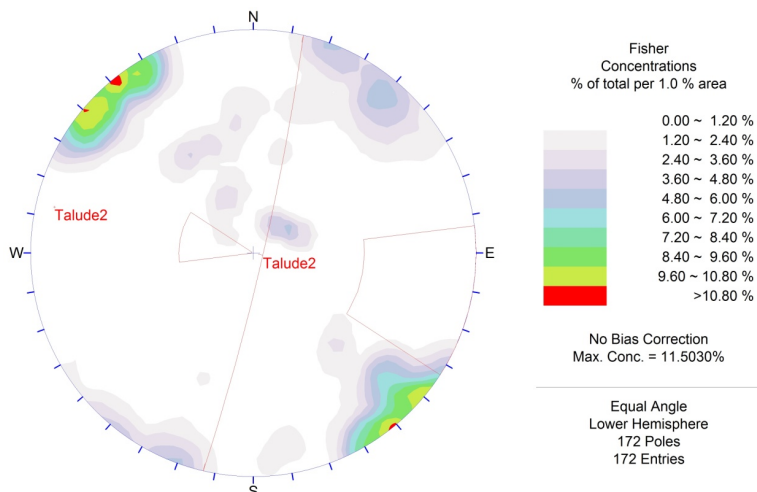
1C x T2- Análise de Escorregamento Planar do Plano C - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



1C x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N32E/83SE; Plano D = N51E/88SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 3,76

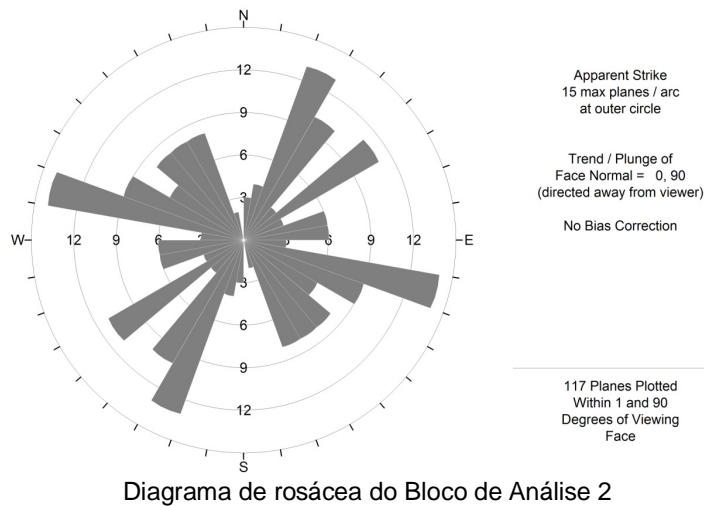
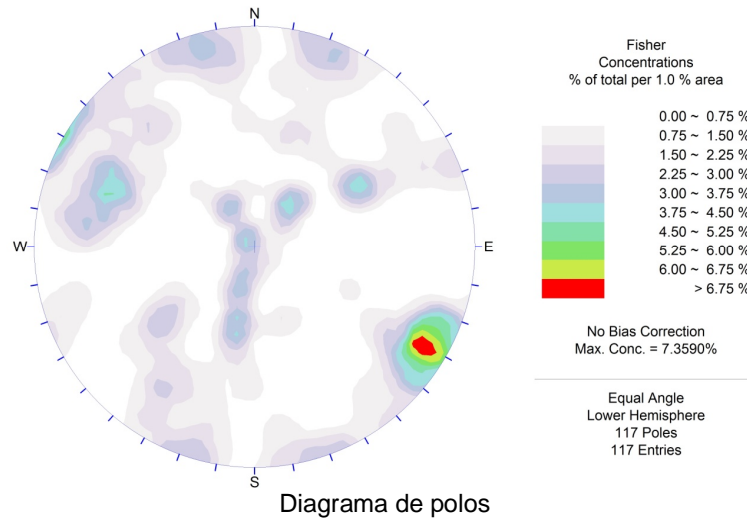


1C x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N32E/83SE; Plano E = N40E/89SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 8,89 / FS drenado = 5,32

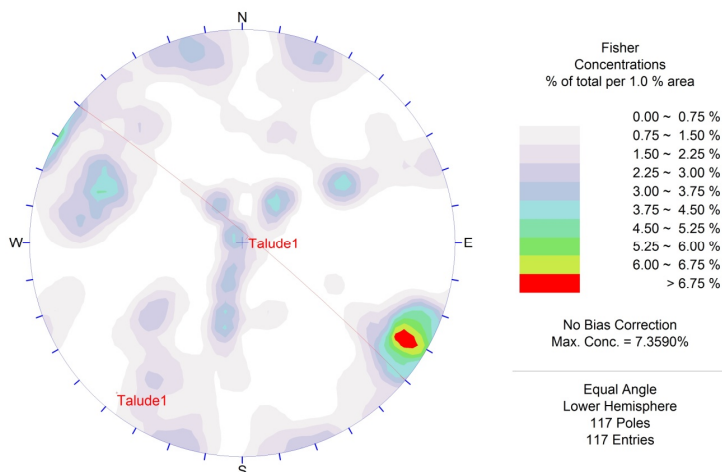


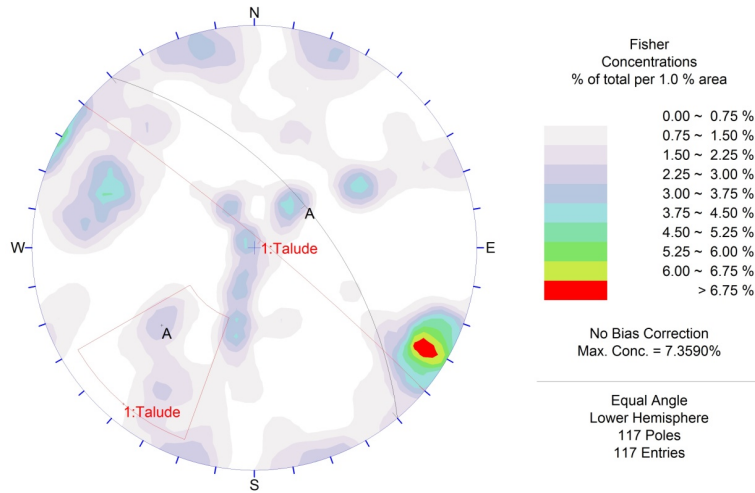
1C x T2 - Análise de Tombamento - Não há possibilidade de ocorrer

Tratamento de Dados do Bloco de Análise 2 - Ângulo de Atrito de 37° e Coesão de 2t/m²

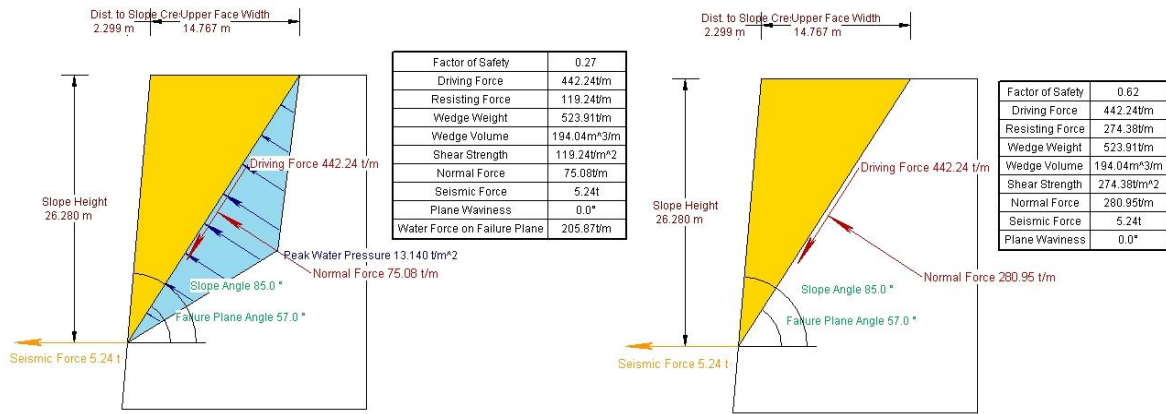


Análise do Bloco de Análise 2

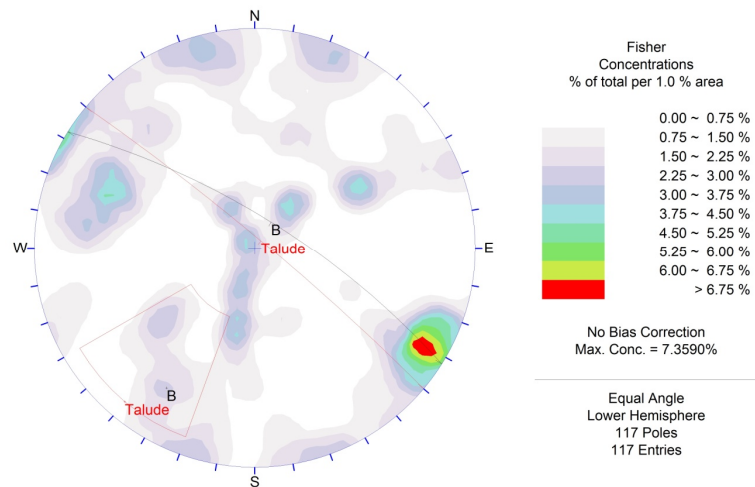




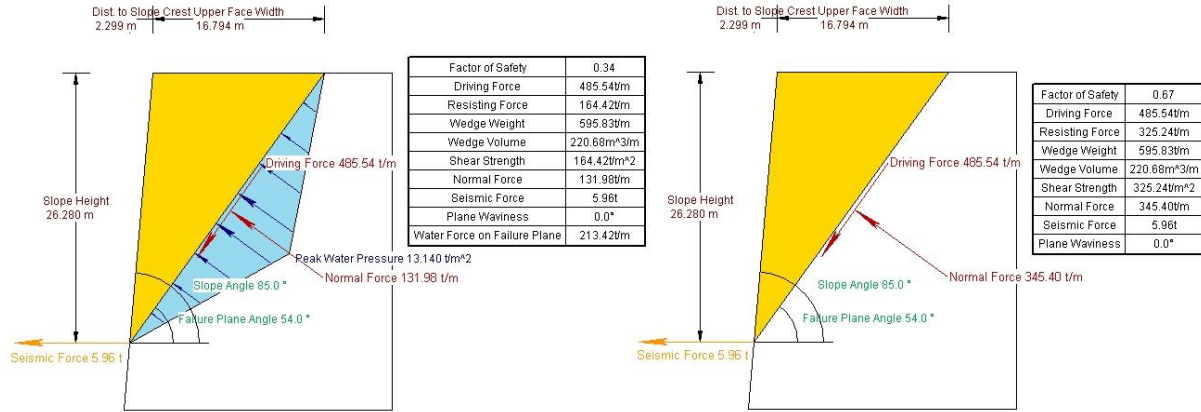
2 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano A = N40W/57NE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,27 / FS drenado = 0,62



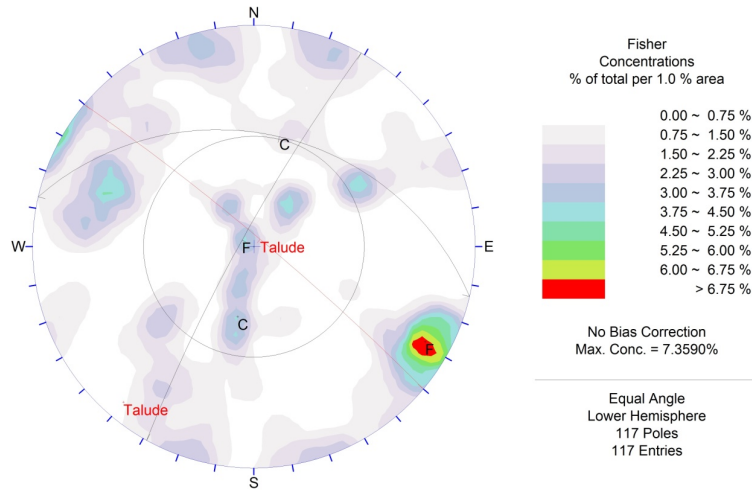
2- Análise de Escorregamento Planar do Plano A - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



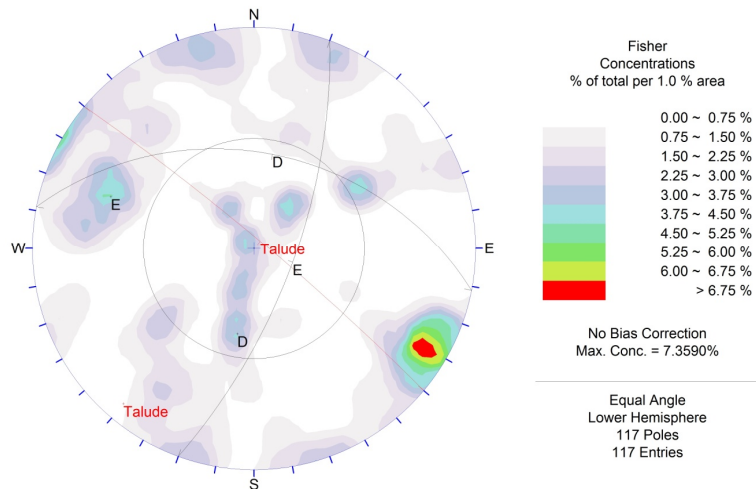
2 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano B = N58W/74NE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,34 / FS drenado = 0,67



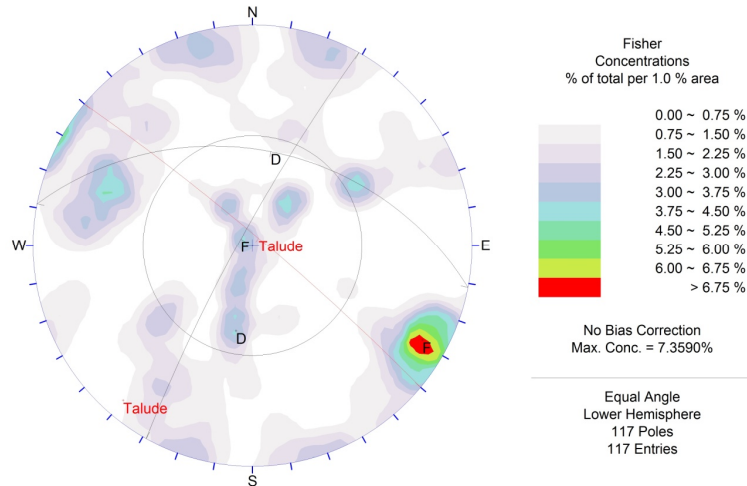
2- Análise de Escorregamento Planar do Plano B - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



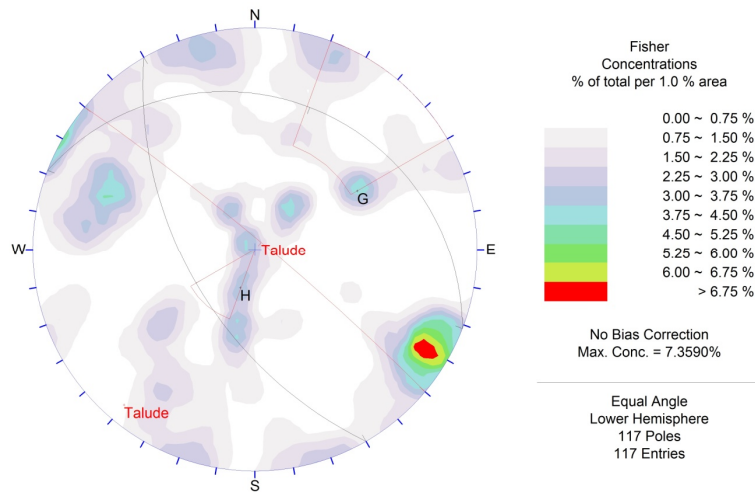
2 -Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N77W/43NE; Plano F = N29E/83NW
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 1,02 / FS drenado = 1,44



2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano D = N79W/43NE; Plano E = N20E/69SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,95 / FS drenado = 1,32



2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano D = N79W/43NE; Plano F = N29E/83NW
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,79 / FS drenado = 1,22



2 - Análise de Tombamento
Potencial de tombamento - Plano G = N30W/56SW; Plano H= N69W/21NE
Tratamento de Dados do Bloco de Análise 3 - Ângulo de Atrito de 37º e Coesão de 2t/m²

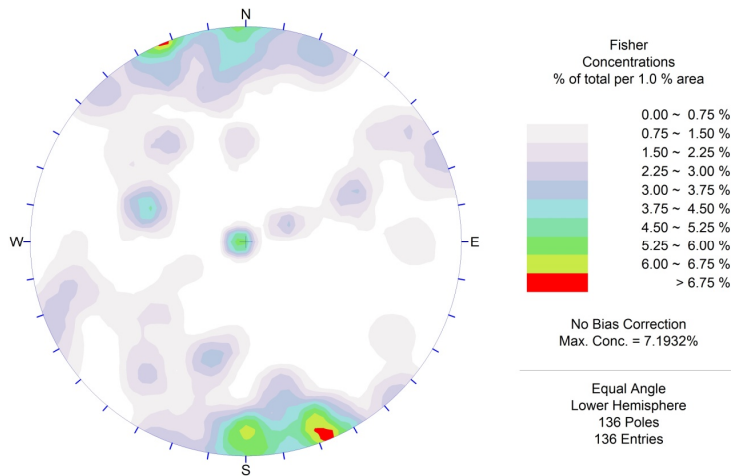


Diagrama de polos

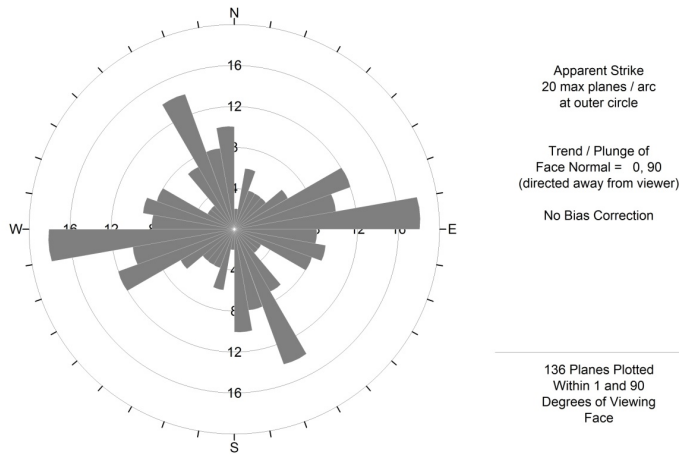
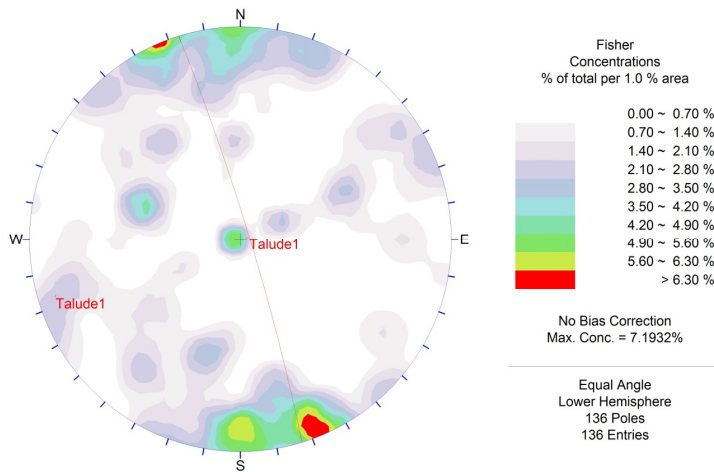
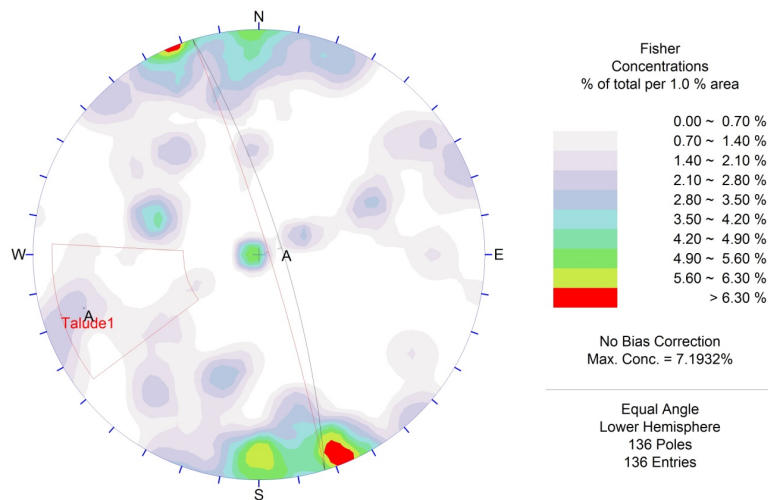


Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 3

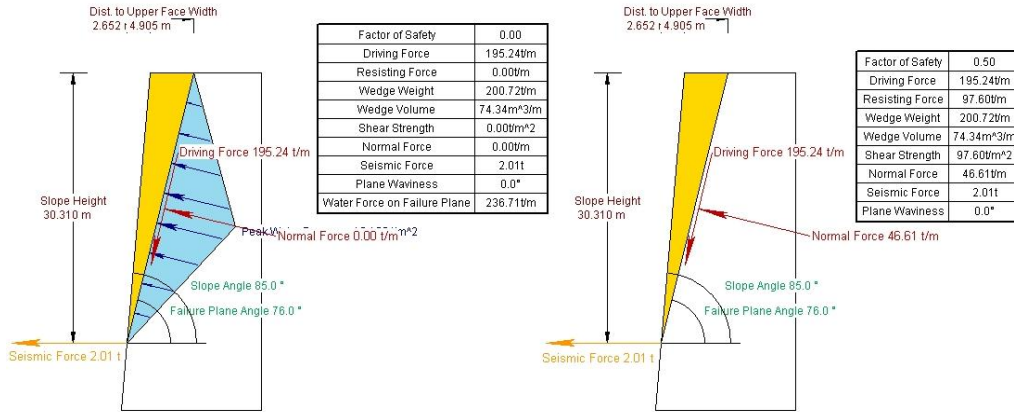
Análise do Bloco de Análise 3 x Talude 1



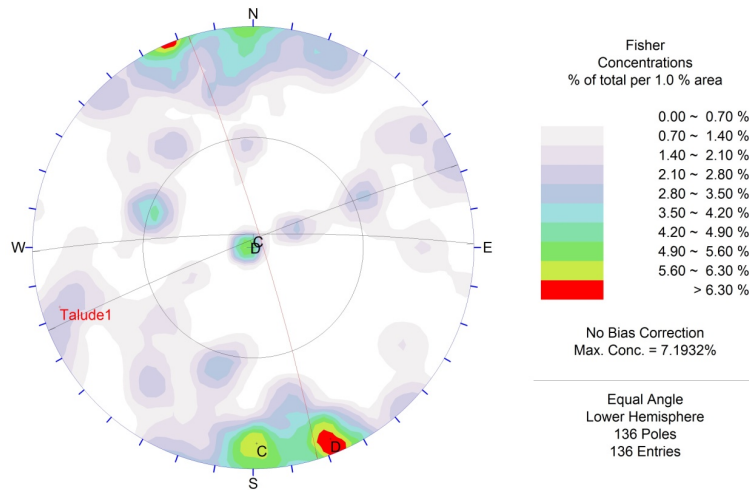
3 x T1 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N17W/85NE



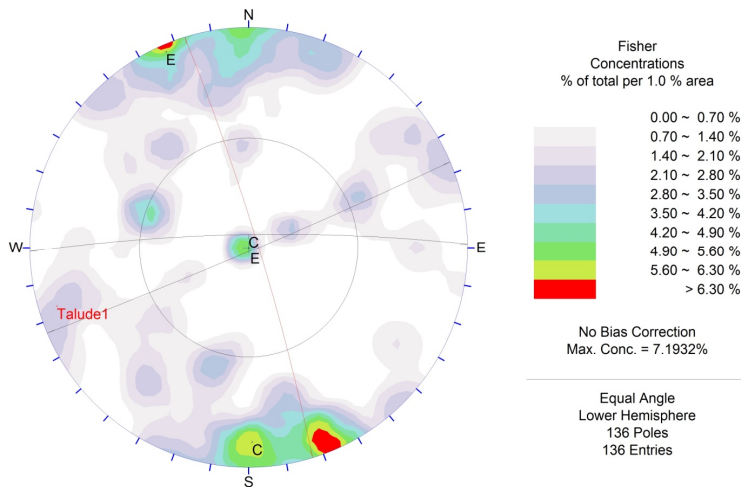
**3 x T1 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano A = N17W/76NE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 0,50**



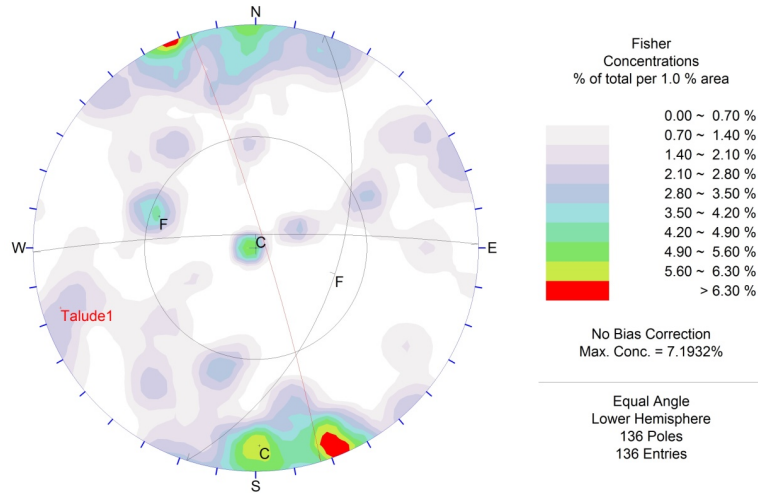
3 x T1 - Análise de Escorregamento Planar do Plano A - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



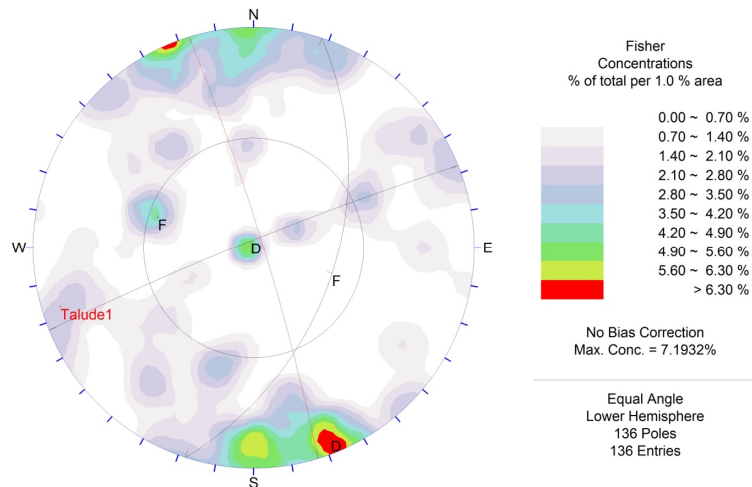
**3 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N89E/83NW; Plano D = N68E/86NW
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 6,69**



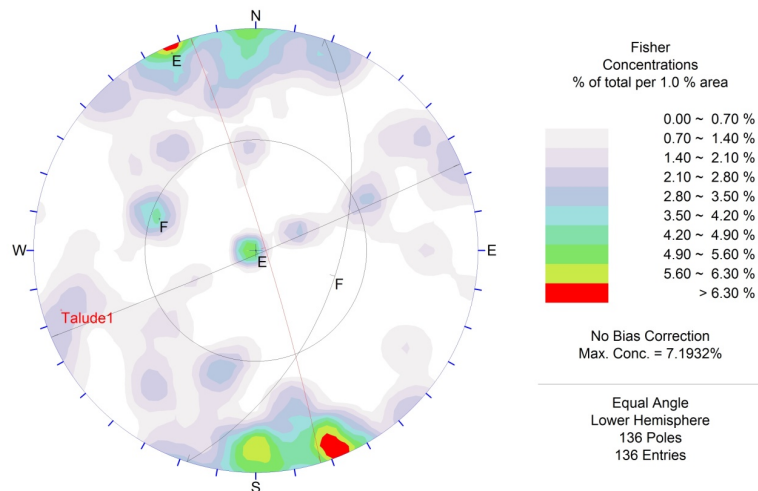
**3 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N89E/83NW; Plano E = N67E/88SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 2,75**



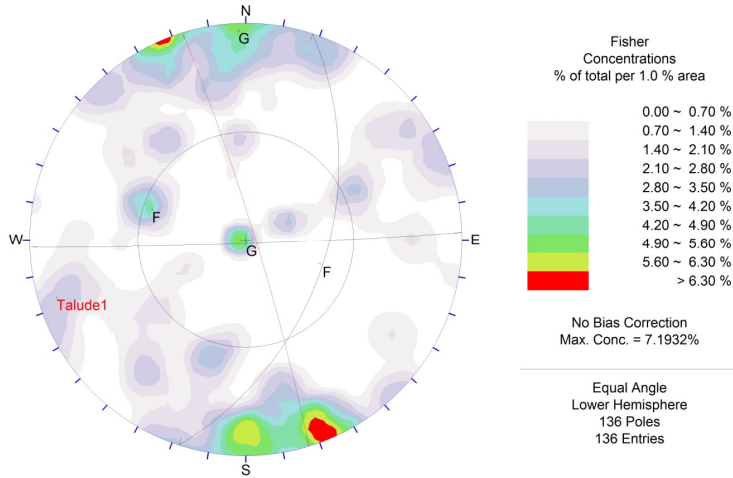
3 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N89E/83NW; Plano F = N18E/49SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,76 / FS drenado = 1,19



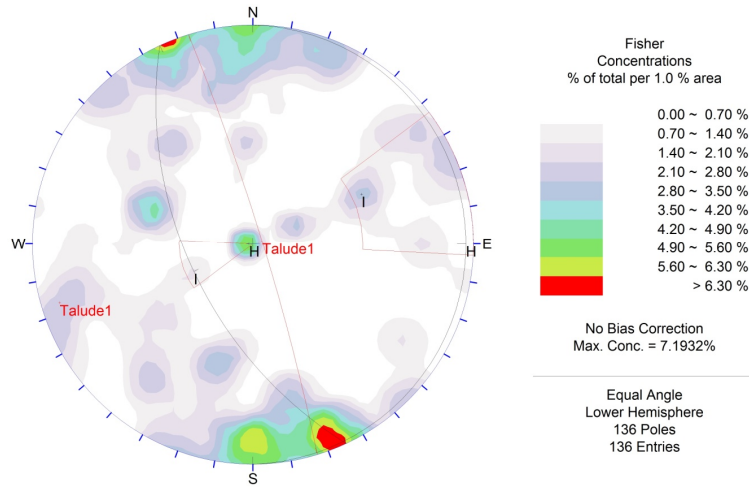
3 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano D = N68E/86NW; Plano F = N18E/49SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 1,26 / FS drenado = 1,75



3 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano E = N67E/88SE; Plano F = N18E/49SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 1,20 / FS drenado = 1,70

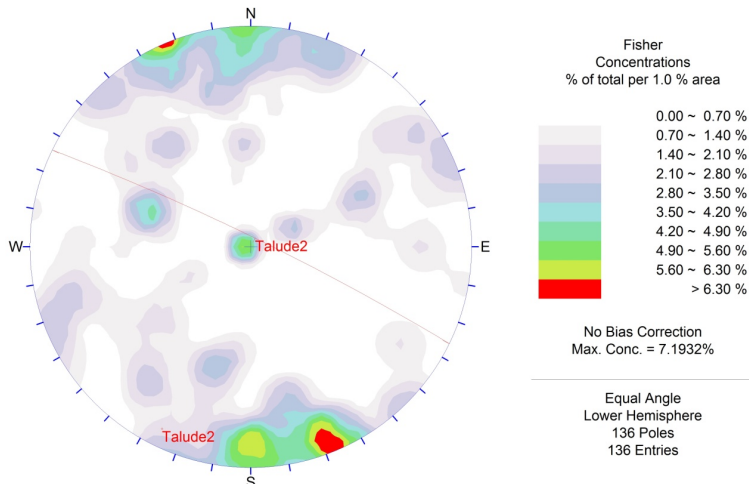


3 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano F = N18E/49SE; Plano G = N88E/88SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,65 / FS drenado = 1,12

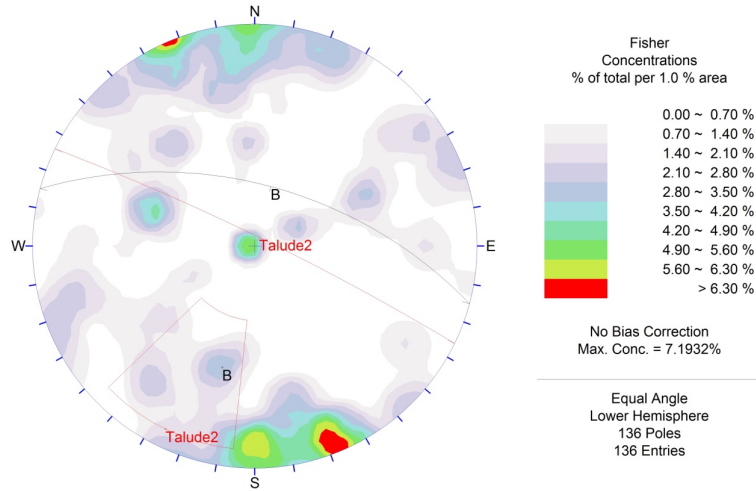


3 x T1 - Análise de Tombamento
Potencial para tombamento - Atitude do Plano H= N01W/02NE; Plano I = N25W/57SW

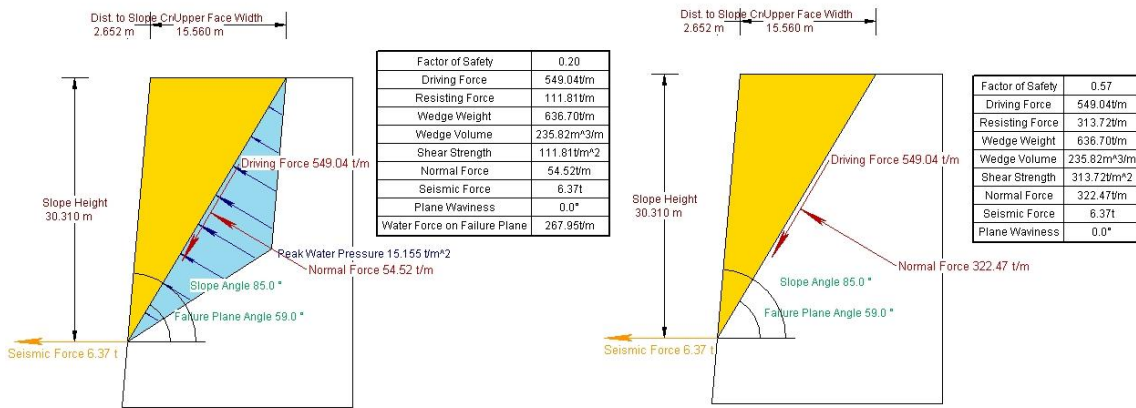
Análise do Bloco de Análise 3 x Talude 2



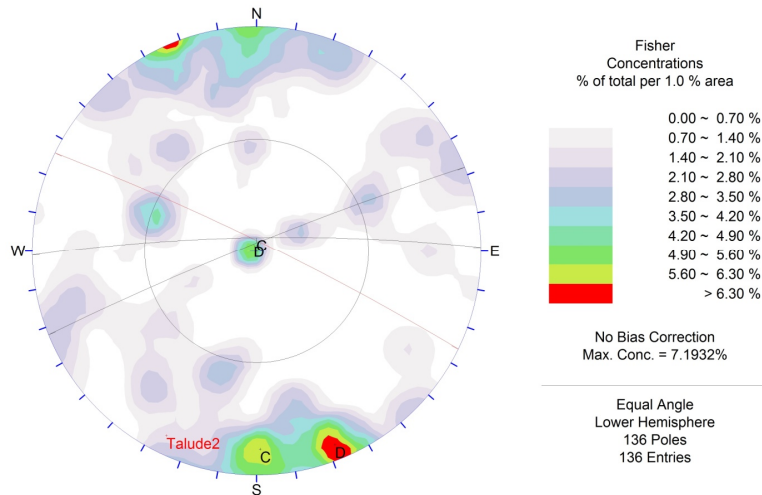
3 x T2 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N64W/85NE



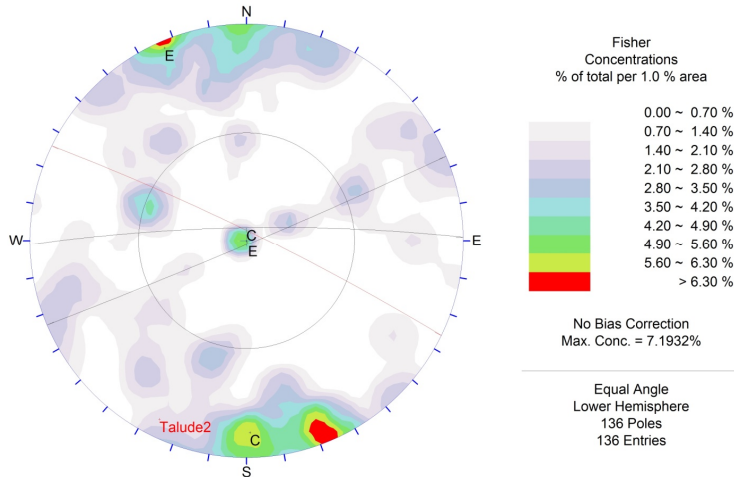
3 x T2 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano B = N75W/59NE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,20 / FS drenado = 0,57



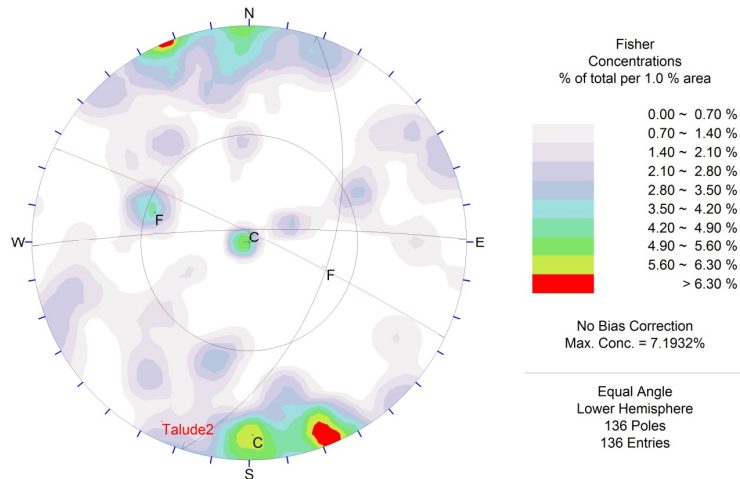
3 x T2 - Análise de Escorregamento Planar do Plano B - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



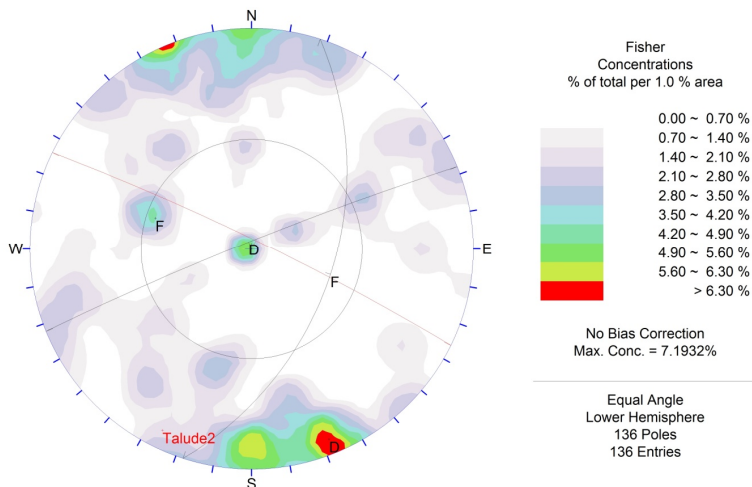
3 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N89E/83NW; Plano D = N68E/86NW
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 3,74



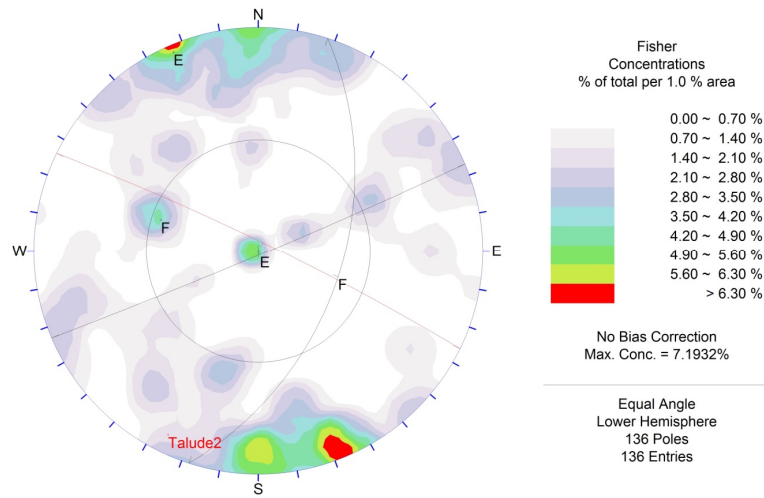
3 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N89E/83NW; Plano E = N67E/88SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 2,76



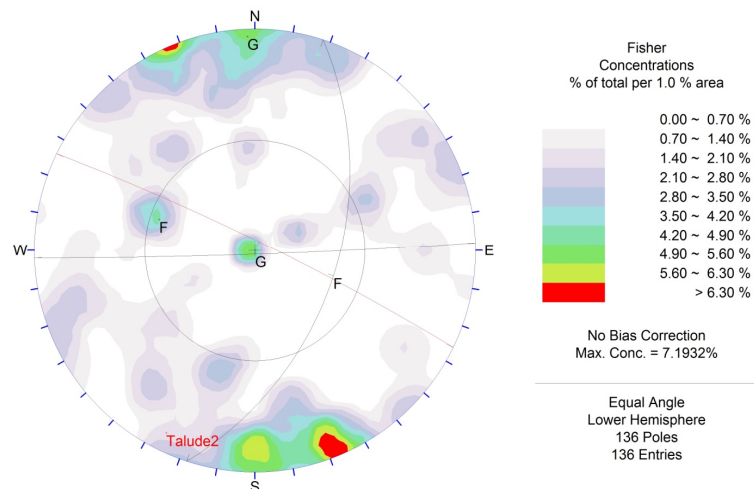
3 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano C = N89E/83NW; Plano F = N18E/49SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,61 / FS drenado = 1,34



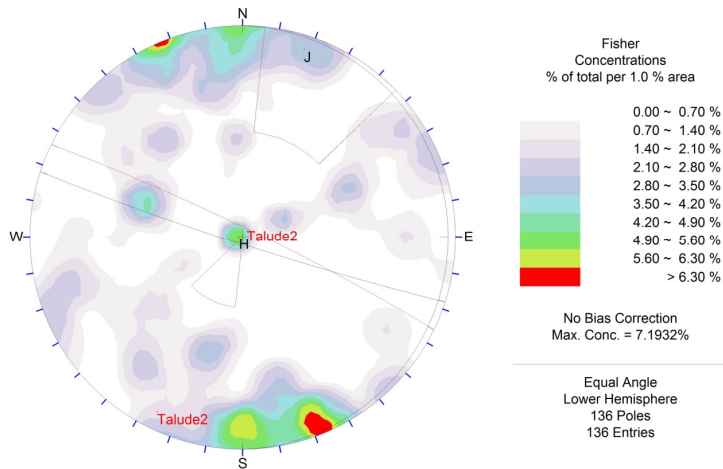
3 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano D = N68E/86NW; Plano F = N18E/49SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 1,18 / FS drenado = 1,84



3 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano E = N67E/88SE; Plano F = N18E/49SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 1,09 / FS drenado = 1,83



3 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha – Plano F = N18E/49SE; Plano G = N88E/88SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,23 / FS drenado = 1,41



3 x T2 - Análise de Tombamento
Potencial para tombamento - Atitude do Plano H= N01W/02NE; Plano J = N88E/88SE

Tratamento de Dados do Bloco de Análise 4 - Ângulo de Atrito de 37° e Coesão de 2 t/m²

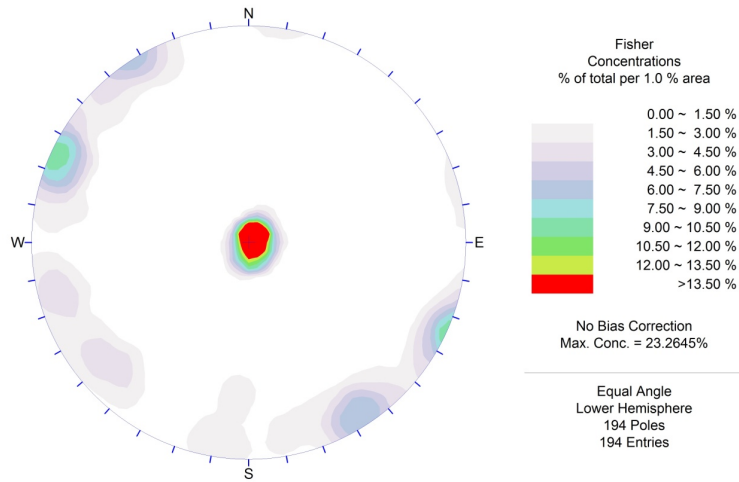


Diagrama de polos

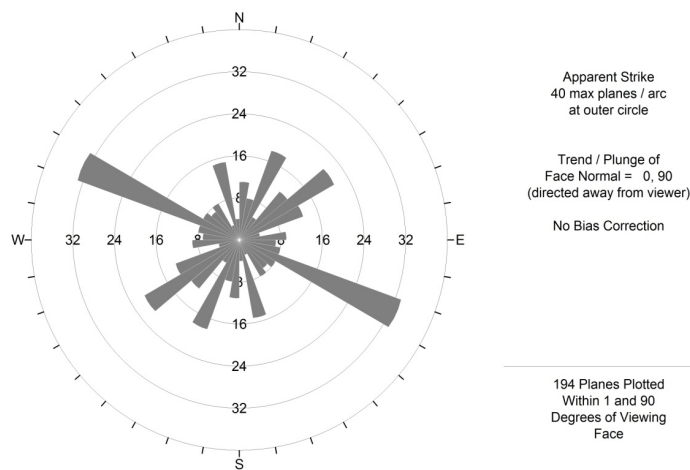
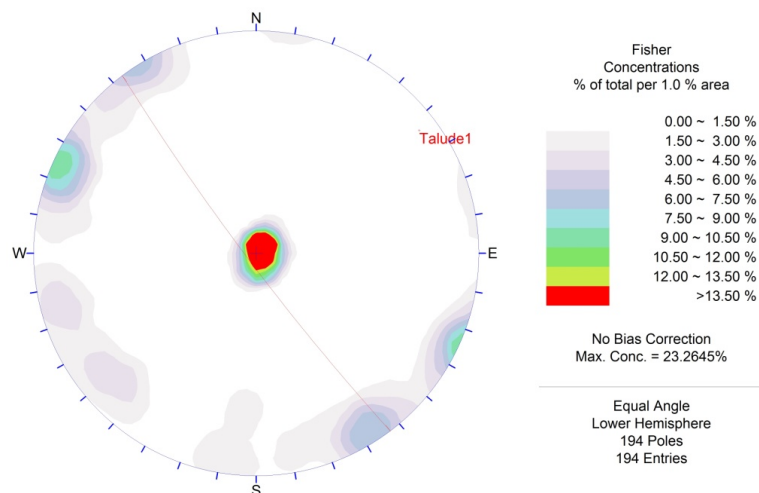
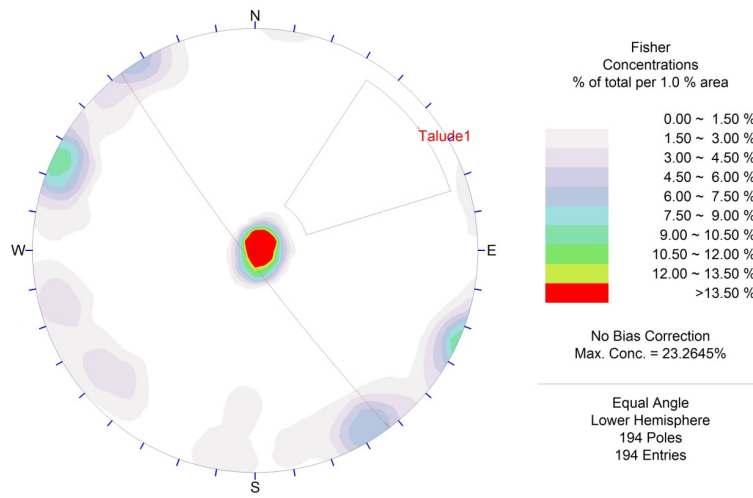


Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 4

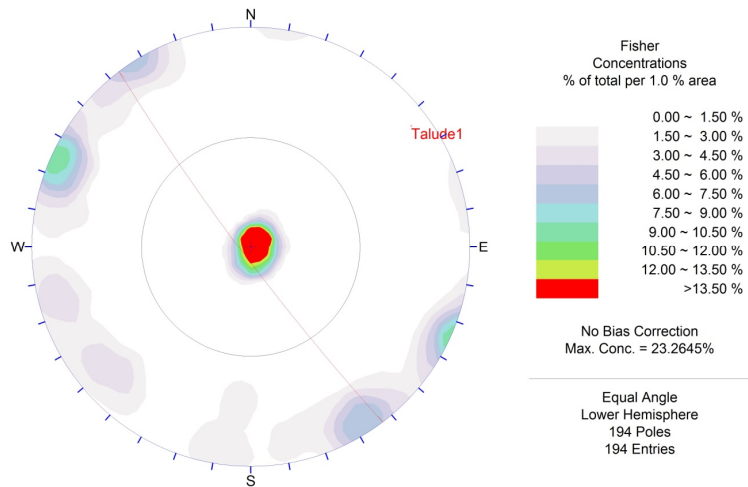
Análise do Bloco de Análise 4 x Talude 1



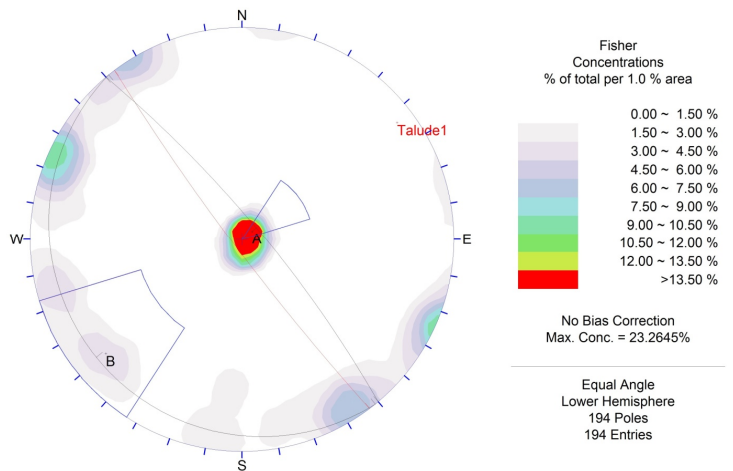
4 x T1 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N37W/85SW



4 x T1 - Análise de Escorregamento Planar

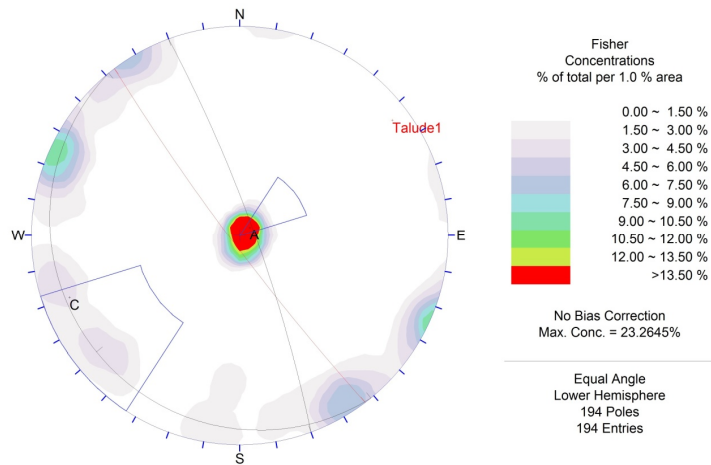


4 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha



4 x T1 - Análise de Tombamento

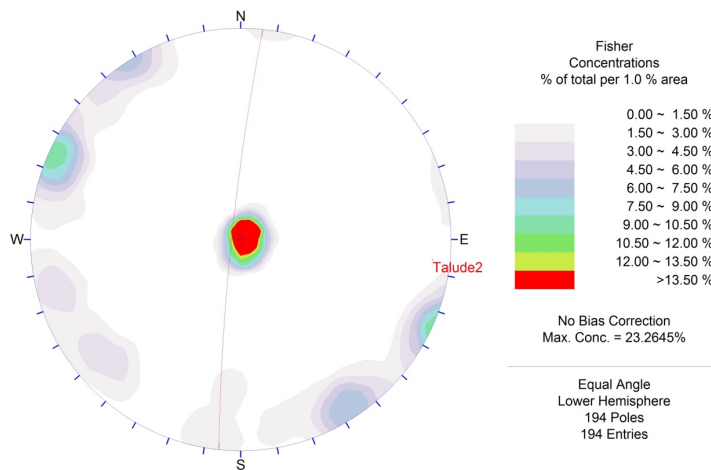
Potencial para tombamento - Atitude do Plano A= N39W/07SW; Plano B = N40W/80NE



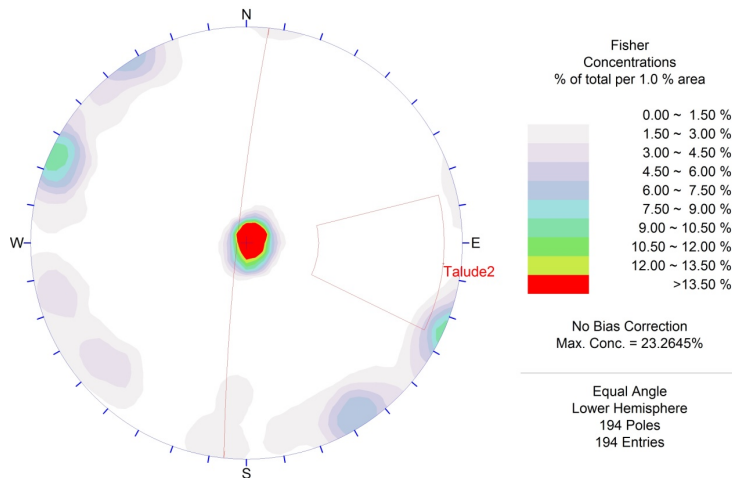
4 x T1 - Análise de Tombamento

Potencial para tombamento - Atitude do Plano A= N39W/07SW; Plano C = N20W/82NE

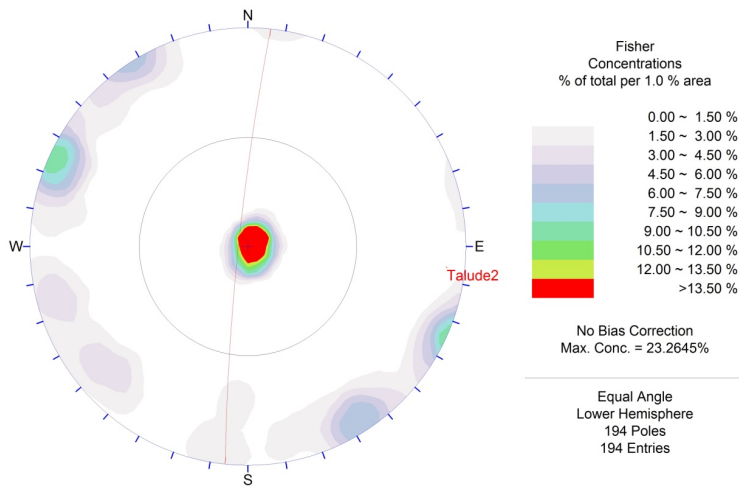
Análise do Bloco de Análise 4 x Talude 2



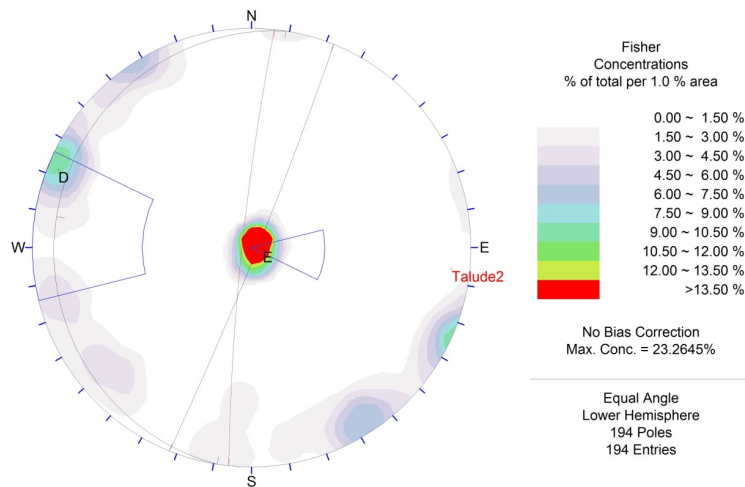
4 x T2 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N06E/85NW



4 x T2 - Análise de Escorregamento Planar



4 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha



4 x T2 - Análise de Tombamento

Potencial para tombamento - Atitude do Plano D= N22E/87SE; Plano E = N09E/06NW
 Tratamento de Dados do Bloco de Análise 5 - **Ângulo de Atrito de 37° e Coesão de 2 t/m²**

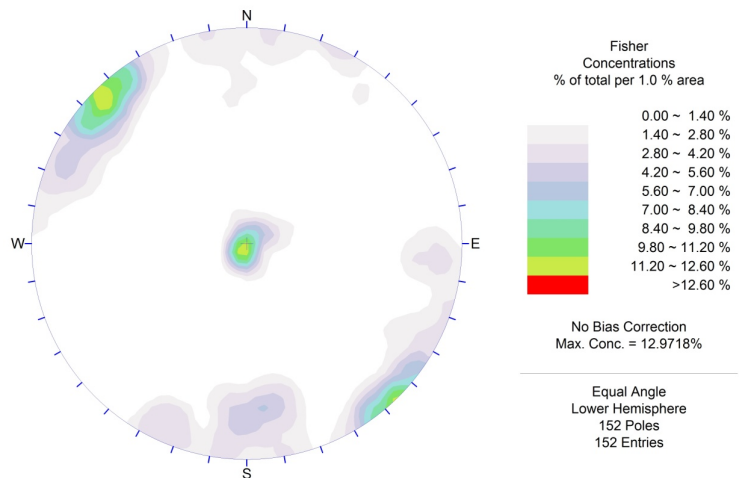


Diagrama de polos

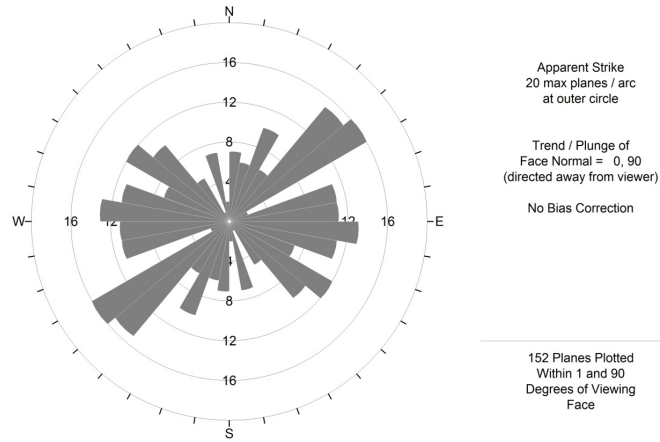
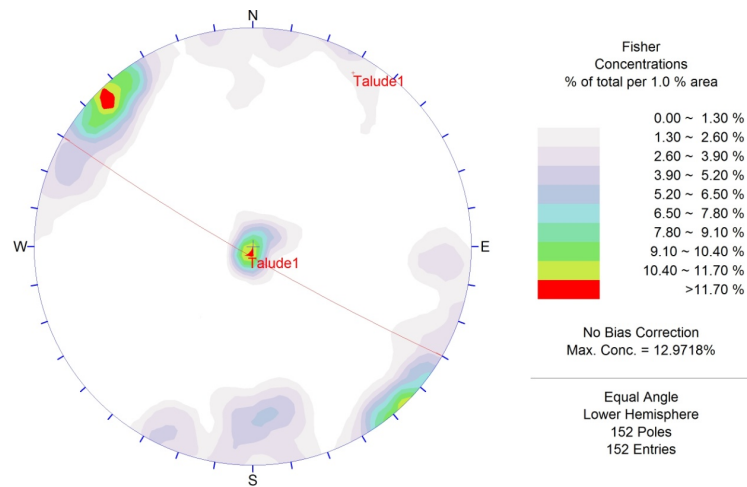
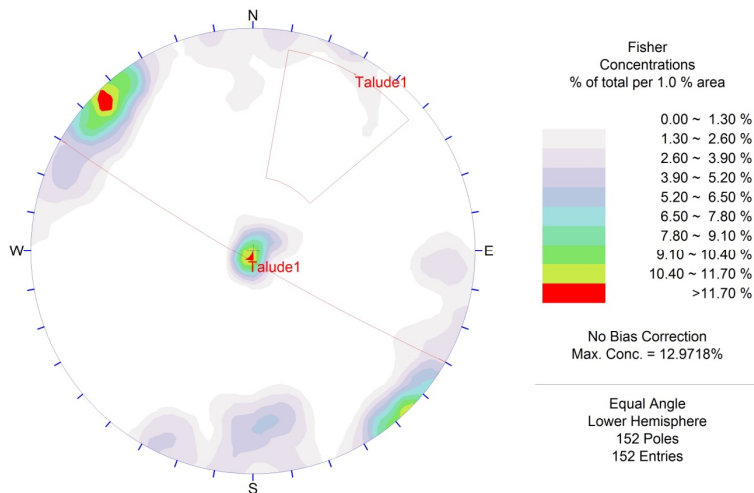


Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 5

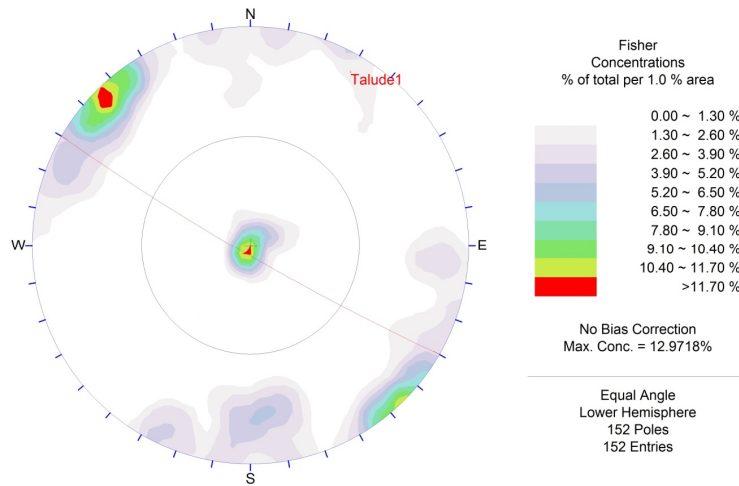
Análise do Bloco de Análise 5 x Talude 1



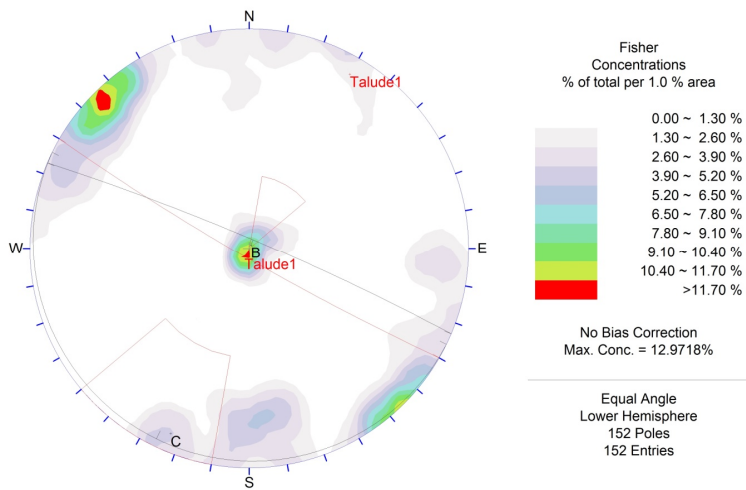
5 x T1 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N60W/85SW



5 x T1 - Análise de Escorregamento Planar



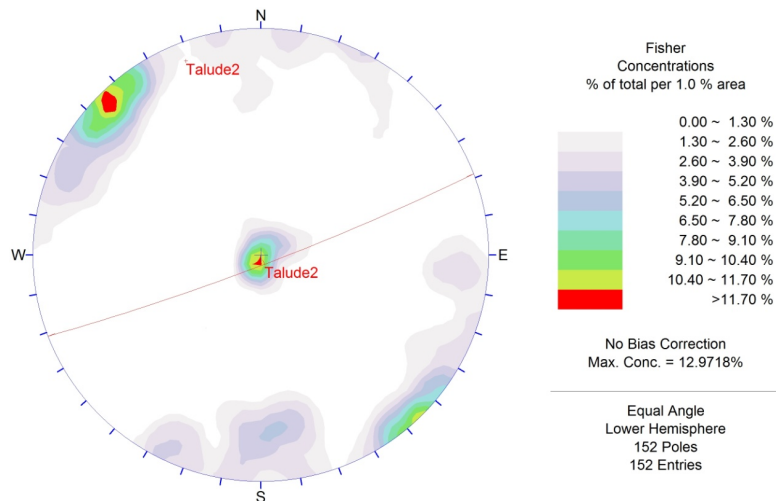
5 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha



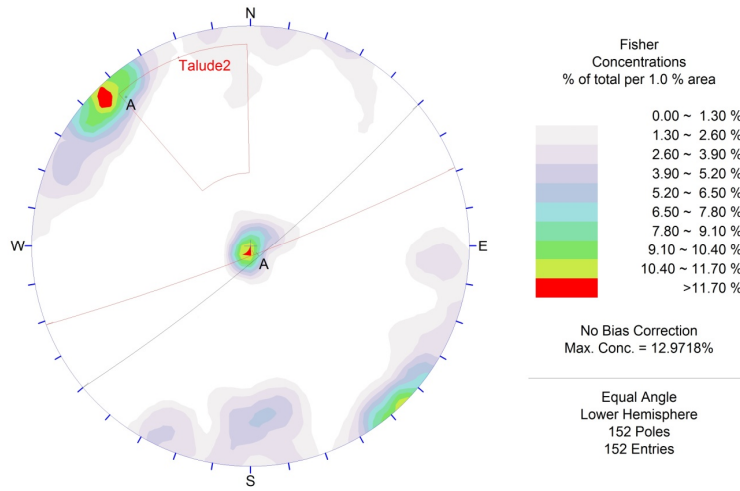
5 x T1 - Análise de Tombamento

Potencial para tombamento - Atitude do Plano B= N64W/02SW; Plano C = N67W/85NE

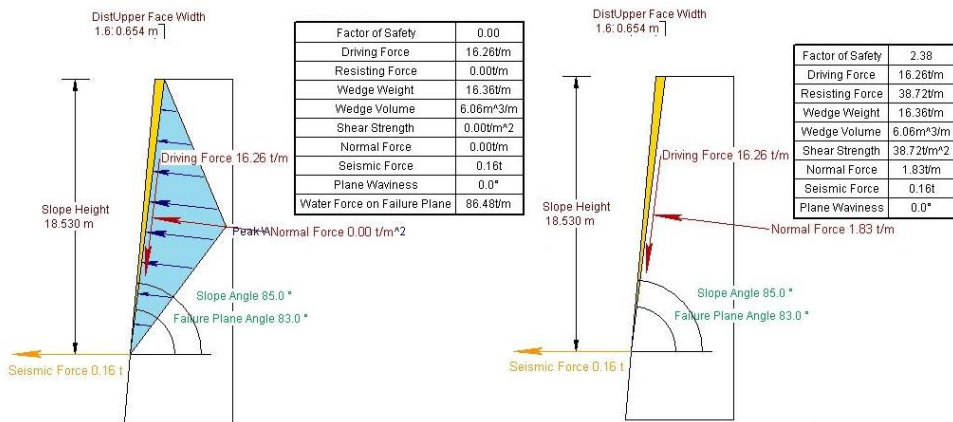
Análise do Bloco de Análise 5 x Talude 2



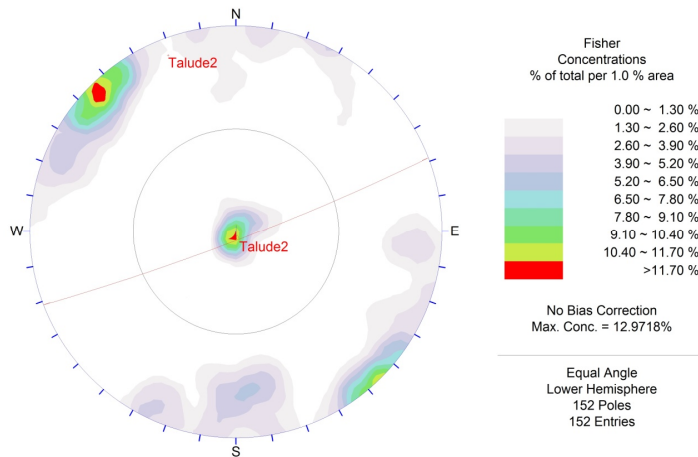
5 x T2 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N69E/85SE



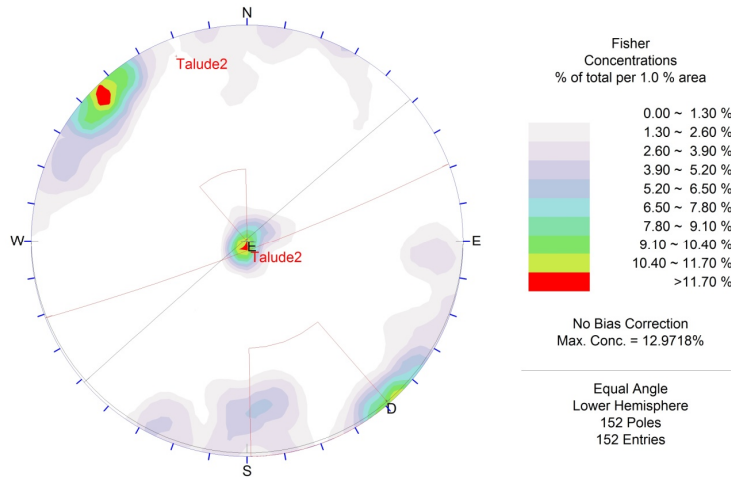
5 x T2 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano A = N50E/83SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 2,38



5 x T2- Análise de Escorregamento Planar do Plano A - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



5 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha



5 x T2 - Análise de Tombamento
Potencial para tombamento - Atitude do Plano D= N49E/89NW; Plano E = N89E/01SE

Tratamento de Dados do Bloco de Análise 6 - Ângulo de Atrito de 27° e Coesão de 1t/m²

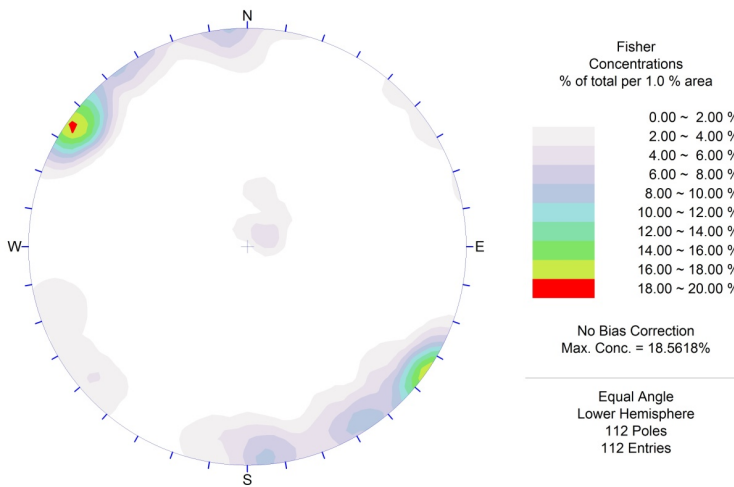


Diagrama de polos

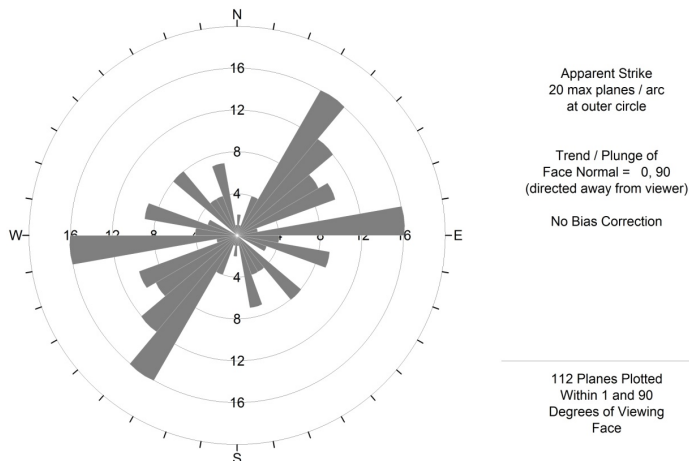
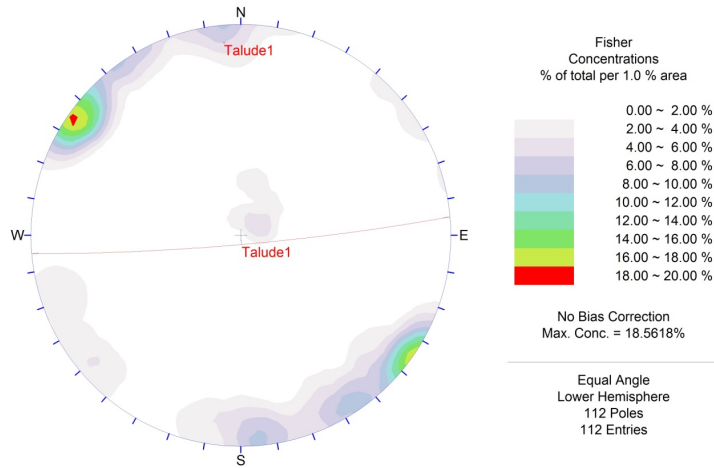
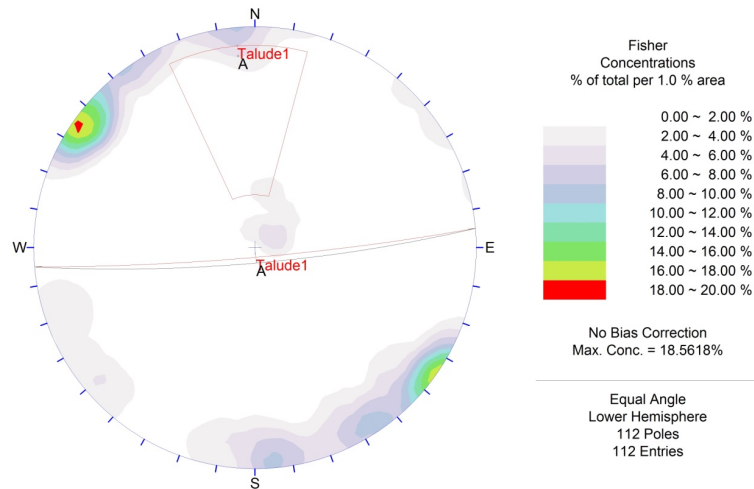


Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 6

Análise do Bloco de Análise 6 x Talude 1



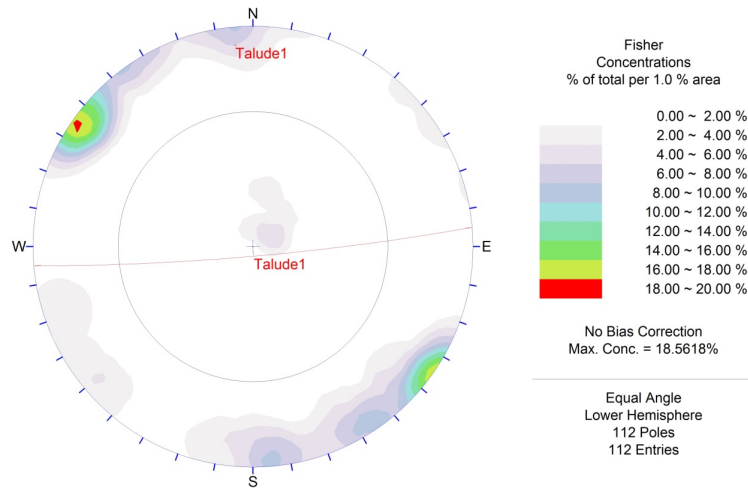
6 x T1 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N85E/85SE



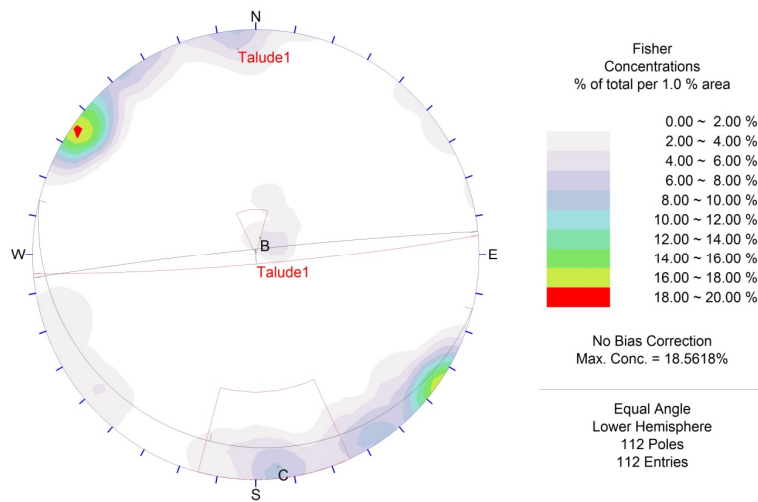
**6 x T1 - Análise de Escorregamento Planar – Atitude do Plano A = N85E/82SE
Fator de Segurança obtido – FS c/água = 0,00 / FS drenado = 1,76**



6 x T1 - Análise de Escorregamento Planar do Plano A - Desenho a esquerda: Plano com presença de água; Desenho a direita: Plano sem presença de água



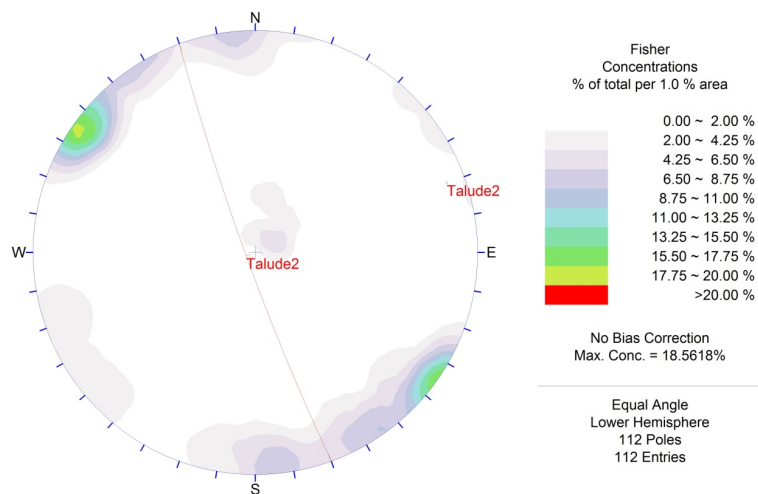
6 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha



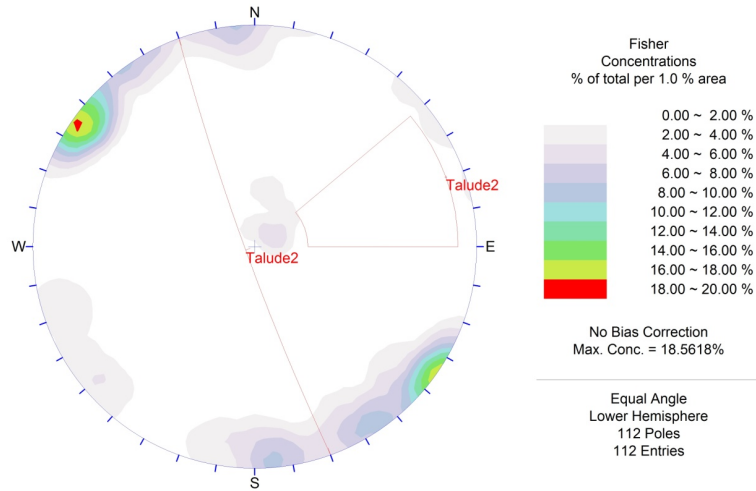
6 x T1 - Análise de Tombamento

Potencial para tombamento - Atitude do Plano B= N76W/09SW; Plano C = N84E/87NW

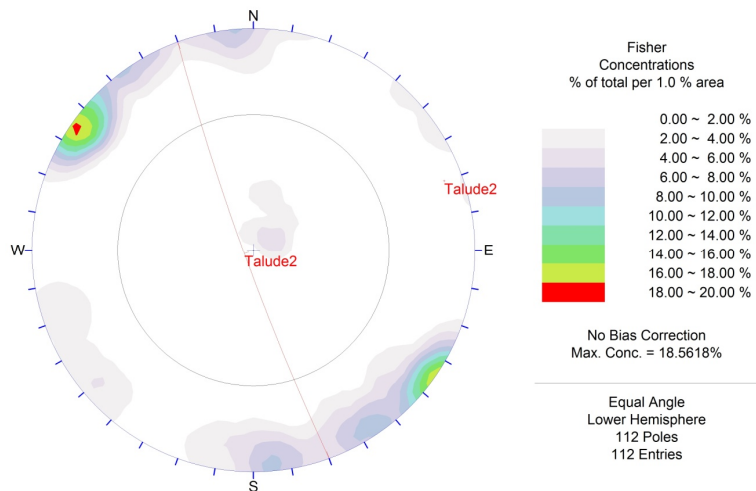
Análise do Bloco de Análise 6 x Talude 2



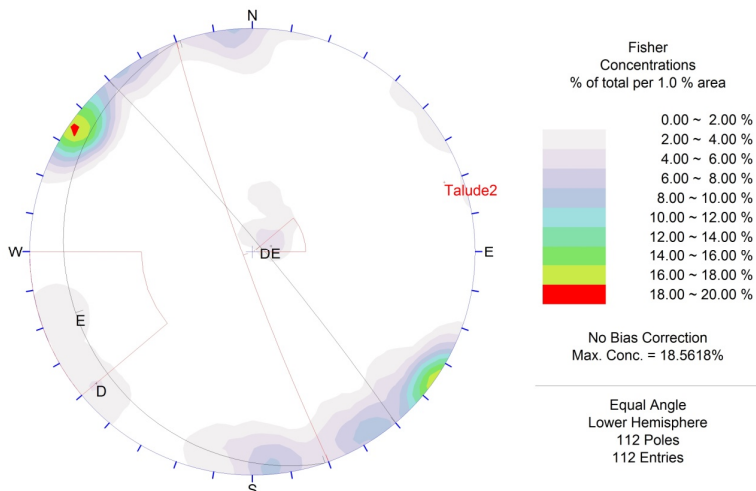
6 x T2 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N20W/85SW



6 x T2 - Análise de Escorregamento Planar



6 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha



6 x T2 - Análise de Tombamento

Potencial para tombamento - Atitude do Plano D= N40W/85NE; Plano E = N19W/10SW

Tratamento de Dados do Bloco de Análise 7 - Ângulo de Atrito de 27° e Coesão de 1 t/m²

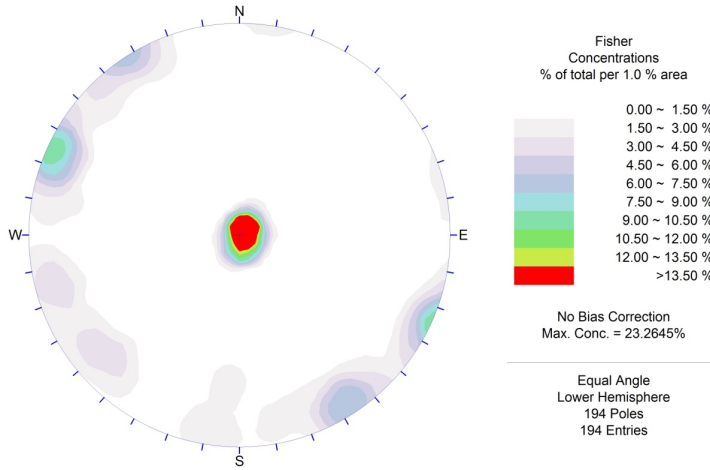


Diagrama de polos

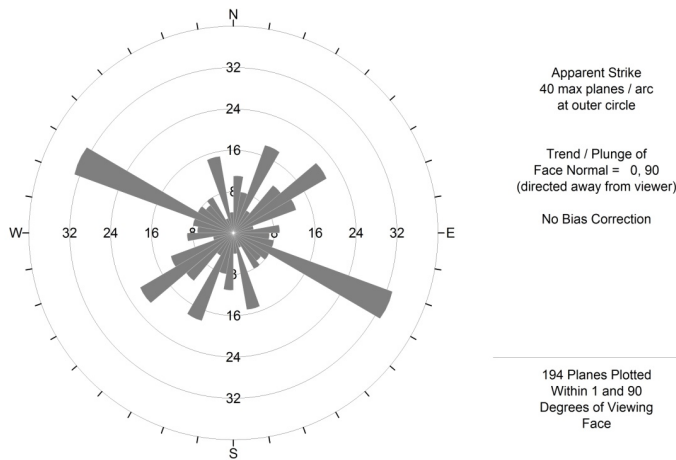
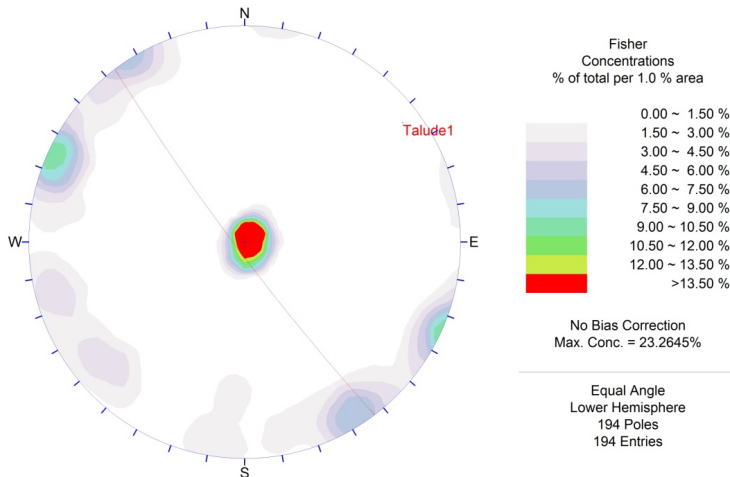
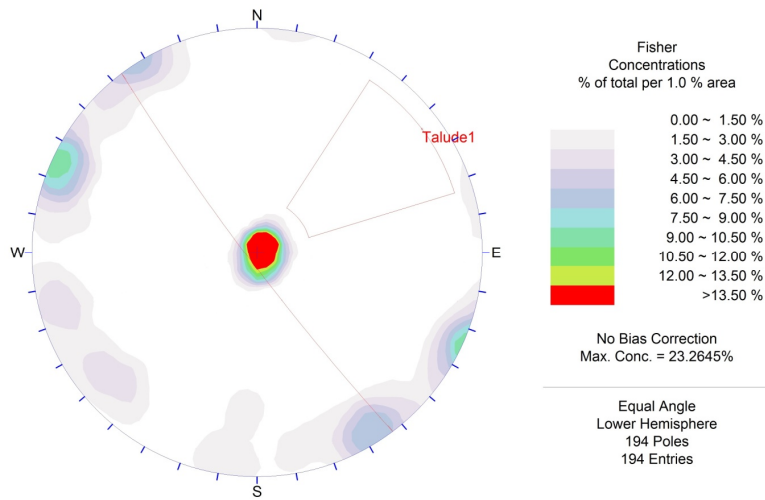


Diagrama de rosácea do Bloco de Análise 7

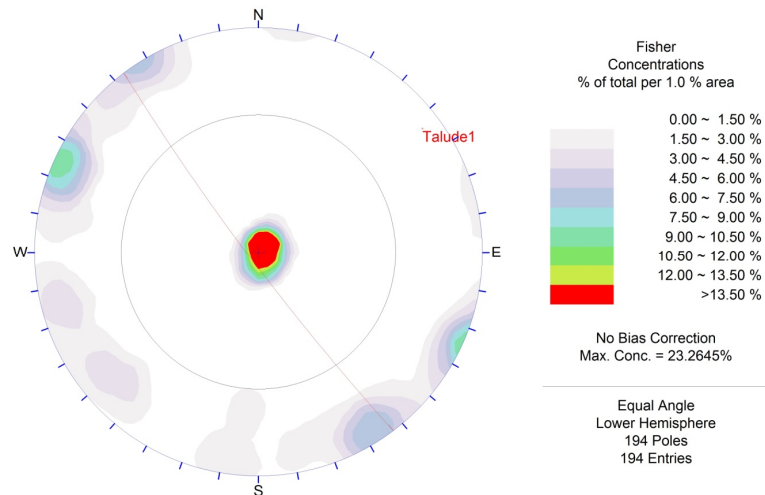
Análise do Bloco de Análise 7 x Talude 1



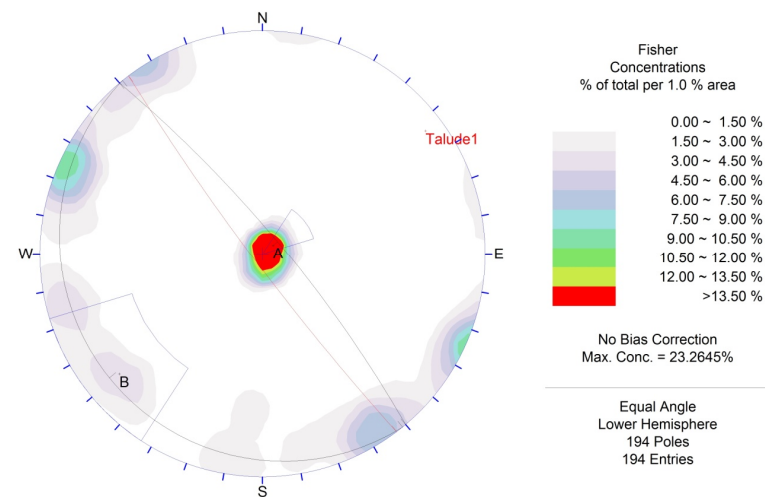
7 x T1 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N37W/85SW



7 x T1 - Análise de Escorregamento Planar

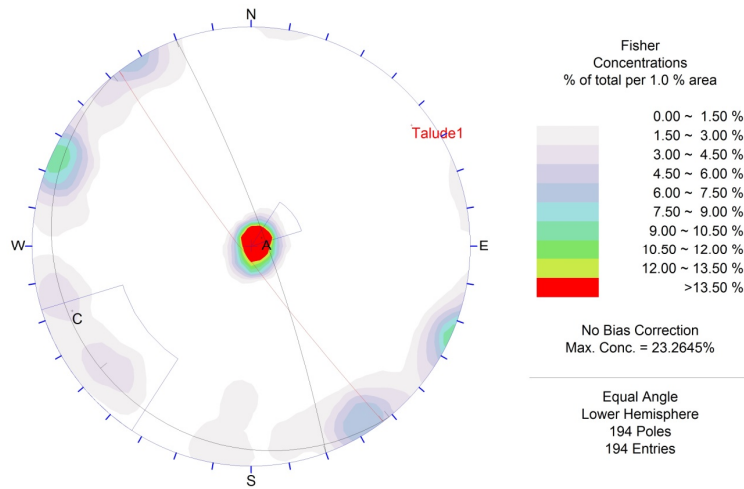


7 x T1 - Análise de Escorregamento em Cunha



7 x T1 - Análise de Tombamento

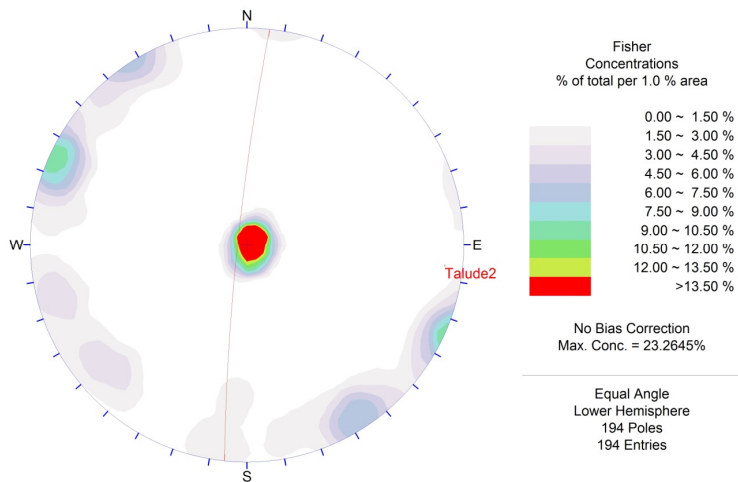
Potencial para tombamento - Atitude do Plano A= N39W/07SW; Plano B = N40W/80NE



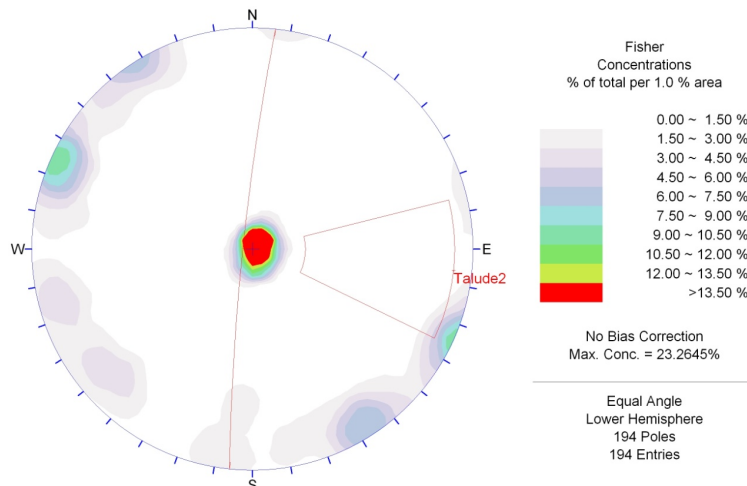
7 x T1 - Análise de Tombamento

Potencial para tombamento - Atitude do Plano A= N39W/07SW; Plano C = N20W/82NE

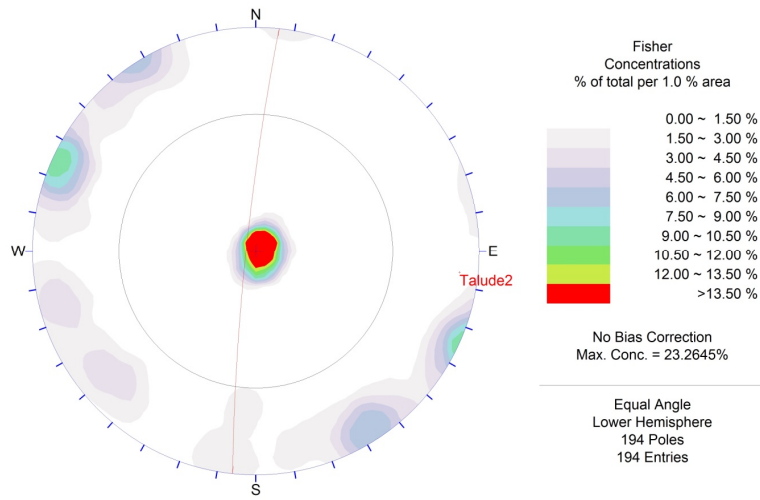
Análise do Bloco de Análise 7 x Talude 2



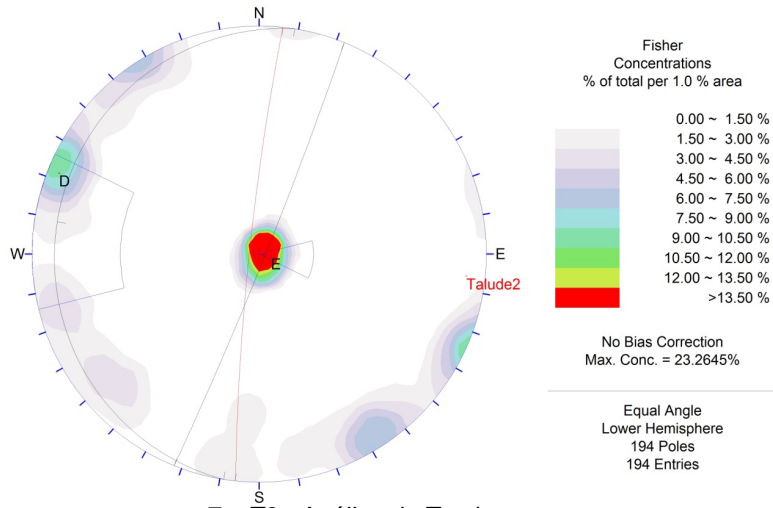
7 x T2 -Diagrama de polos com o talude analisado – Atitude do Talude = N06/85NW



7 x T2 - Análise de Escorregamento Planar



7 x T2 - Análise de Escorregamento em Cunha



7 x T2 - Análise de Tombamento

Potencial para tombamento - Atitude do Plano D= N22E/87SE; Plano E = N09E/06NW