



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIA EXATAS, NATURAIS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



Aplicação da classificação geomecânica *Slope Mass Rating* (SMR) em uma pedreira de mármore no distrito de Itaoca, Espírito Santo

Garion Guidotti de Souza dos Santos

Orientador.: Prof. Dr. Marcos E. Hartwig

Co-Orientador.: Prof. Dr. Alexandre R. do Santos

ALEGRE, ES
DEZEMBRO/2019

Sumário

1.	Introdução.....	1
2.	Materiais e Métodos.....	6
3.	Aspectos Geológicos.....	11
4.	Resultados e Discussões.....	13
5.	Conclusões e Recomendações.....	29
6.	Referências.....	31

Introdução



Introdução

Sistema de classificação geomecânica

- **Para que servem?**

- Atribuição de classes para condições parâmetros de maciço a partir de amostragens.



Introdução

Sistema de classificação geomecânica – *Slope Mass Rating* (SMR)

- Método de classificação **específico** utilizado para a avaliação das condições de estabilidade de taludes **rochosos**;
- Um dos **mais utilizados no mundo**;
- Pioneiramente **proposto por Romana (1985)**
 - Variáveis
 - Adaptação da classificação *Rock Mass Rating* (BIENIAWSKI, 1989);
 - Modos de ruptura (relação geométrica das atitudes)



Introdução

Objetivo

- Aplicar a classificação geomecânica *Slope Mass Rating* (SMR) de Romana (1985) nos taludes de uma pedreira de mármore localizada no distrito de Itaoca, município de Cachoeiro de Itapemirim.



Introdução

Área de estudo

- Pedreira de mármore
 - Exploração de agregado para a construção civil;
 - Taludes apresentando problemas de estabilidade.

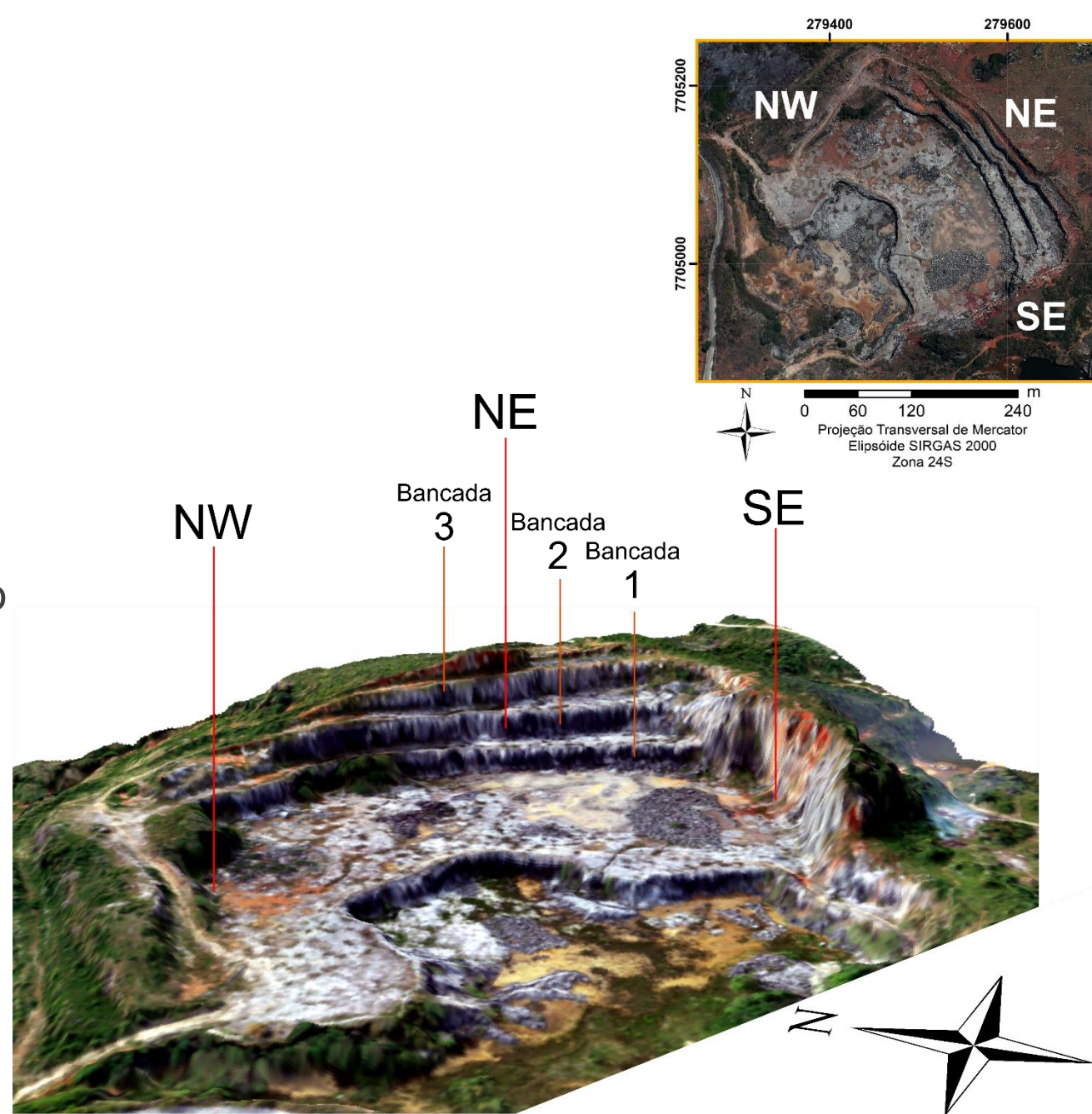


Figura 1. Identificação dos setores da pedreira (NW, NE e SE) e a divisão das bancadas para o talude NE. .

Materiais e Métodos



Materiais e Métodos

- Foram utilizados os seguintes materiais
 - Dados de classificação RMR (BOULHOSA, 2018);
 - Dados estruturais (SANTOS, 2018);
 - *Software EXCEL*® (Microsoft);
 - *Software Dips*® (Rocscience)



Materiais e Métodos

Classificação SMR – Slope Mass Rating (Romana, 1985)

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Análise estrutural e cinemática
Fatores de ajuste

Classificação Rock Mass Rating

- I) Resistência da rocha intacta
- II) *Rock quality designation* (RQD)
- III) Espaçamento das descontinuidades
- IV) Condição das descontinuidades
- ~~V) Condição hidrogeológica~~
- ~~VI) Orientação das descontinuidades para aplicações em túneis~~

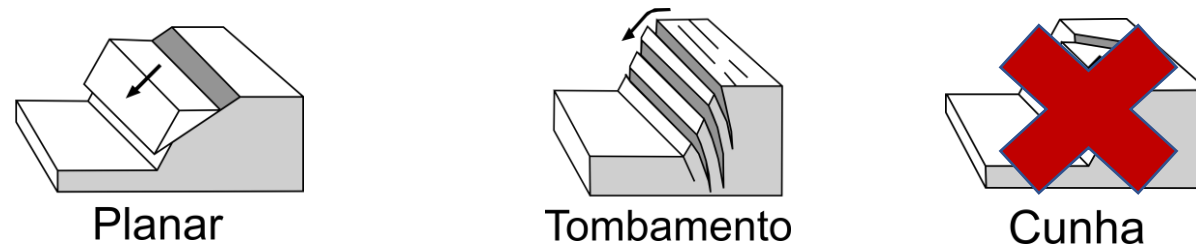


Figura 2. Mecanismos de ruptura comumente observados em maciços rochosos estruturados. Fonte.: Modificado de Wyllie e Mah, 2004.

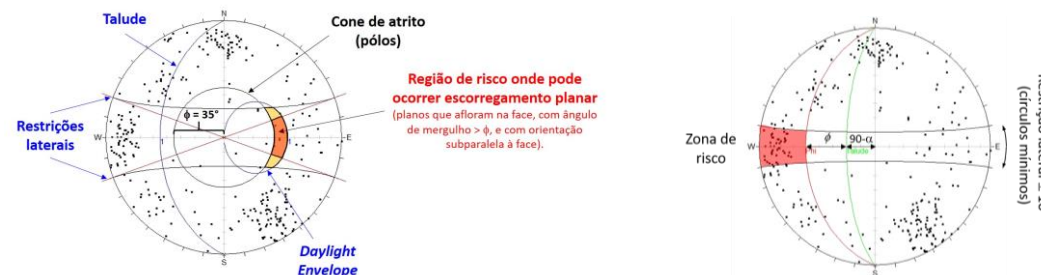


Figura 3. Overlay para a identificação das famílias de descontinuidades que podem provocar ruptura planar. Fonte.: Hartwig (notas de aula).

Figura 4. Overlay para análise cinemática por tombamento flexural. Fonte: Hartwig (notas de aula).



Materiais e Métodos

Classificação SMR – *Slope Mass Rating* (Romana, 1985)

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

- Dados de classificação RMR (BOULHOSA, 2018)
 - Versão de Bieniawski (1989) a cada 5 metros
 - Média dos valores RMR por bancada
- Dados estruturais (SANTOS, 2018)
 - *Scanlines* com extensão de 55 metros
 - Dados agrupados por talude
 - Ângulo de atrito de 63°

Tabela 1. Geometria dos taludes estudados.

Fonte: Santos (2018).

Taludes	Rumo mergulho	Mergulho
NE	233	80
SE	330	80
NW	144	80



Materiais e Métodos

Classificação SMR – Slope Mass Rating (Romana, 1985)

Tabela 2. Fatores de ajuste da classificação geomecânica SMR (ROMANA, 1985).

Tabela 2. Fatores de ajuste da classificação geomecânica SMR (ROMANA, 1985).		Tabela 3. Significado das classes geomecânicas SMR (ROMANA, 1985).				
Fonte: Adaptado de Romana (1985).		Muito favorável	Favorável	Normal	Infavorável	Muito Infavorável
Classes	Rescavação	V	IV	III	II	I
	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30 - 20^\circ$	$20 - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$<5^\circ$
Drenagem SMR	Drenagem Superficial	0-20	0.40	41-60	61-80	81-100
	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	0.45	0.40	0.70	0.85	1.00
Concreto	Descrição	Muito ruim	Ruim	Normal	Bom	Muito bom
	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20 - 30^\circ$	$30 - 35^\circ$	$34^\circ - 45^\circ$	$>45^\circ$
Referência	Estabilidade	Completamente instável	Instável	Parcialmente estável	Estável	Completamente estável
	$\beta_j - \beta_s =$ $\beta_j + \beta_s =$	$>10^\circ$ $<110^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$ $110^\circ - 120^\circ$	$0^\circ - (-10^\circ)$ $>120^\circ$	$<(-10^\circ)$	
Fator de Segurança	Tipos de Falhas	0	-6	-50	-60	
	Tipos de Falhas	Circular	Planar ou em cunha	Algumas planares ou muitas cunhas	Redes de planos	Nenhuma
Método de Escavação (F4)	Tipos de Falhas					
	Probabilidade das Falhas	+15.9	0.6	0.4	0.2	0
Sem suporte	Tipos de Falhas					
	Probabilidade das Falhas					Limpeza Nenhum

Figura 5. Recomendações de tratamento do maciço segundo a classificação geomecânica SMR (ROMANA, 1985)

Fonte: Adaptado de Romana (1985).

Explosão Controlada	
Explosão Mecânica	0

Aspectos Geológicos



Aspectos Geológicos



Figura 6. Província Mantiqueira.
Fonte.: Modificado de Heilbron et al (2004).

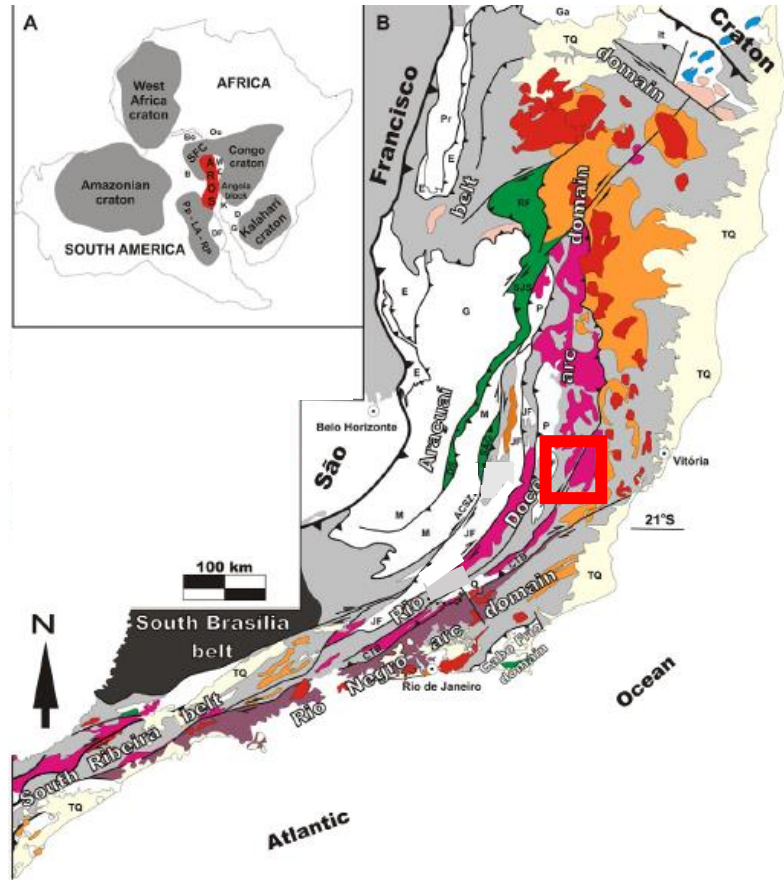


Figura 7. Localização do Sistema Orogênico Araçuai-Ribeira Mantiqueira.
Fonte.: Modificado de Degler et al (2017).

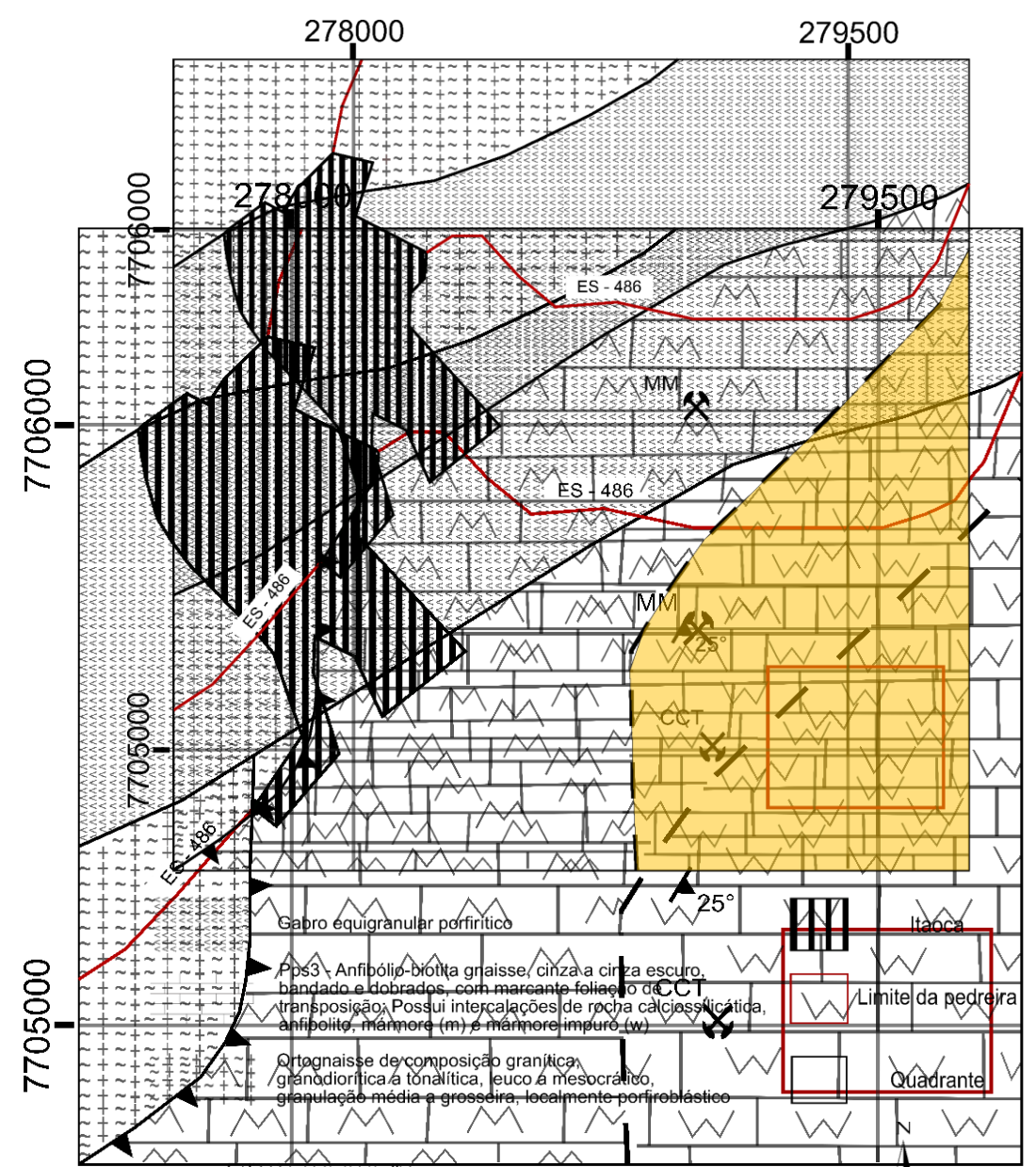
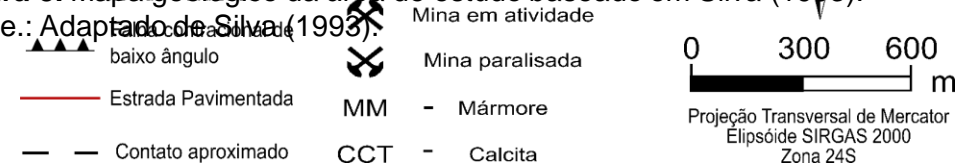


Figura 8. Mapa geológico da área de estudo baseado em Silva (1993).
Fonte.: Adaptado de Silva (1993).



Resultados e Discussões



Estruturação

1. Classificação *Rock Mass Rating* (RMR)
2. Análise Estrutural
3. Análise Cinemática
4. Classificação *Slope Mass Rating* (SMR)

Resultados e discussões

- Classificação *Rock Mass Rating* (RMR)
Boulhosa (2018)
 - Maciços de **qualidade** geomecânica **boa e muito boa**
 - Classes I e II
 - **Coeficiente de variação baixo**
 - Homogeneidade dos dados

Tabela 4. Classificação geomecânica média para os taludes da área de estudo.

Fonte: Boulhosa (2018).

Taludes	Bancada	RMR Médio	CV (%)*
NE	NE 1	83,74	8,69
	NE 2	78,3	11,85
	NE 3	73,2	22,03
SE	-	75,6	12,9
NW	-	67,7	28,3

Resultados e discussões

- Análise estrutural
 - Talude NE1
 - Concentração 182 polos
 - Três famílias de descontinuidades

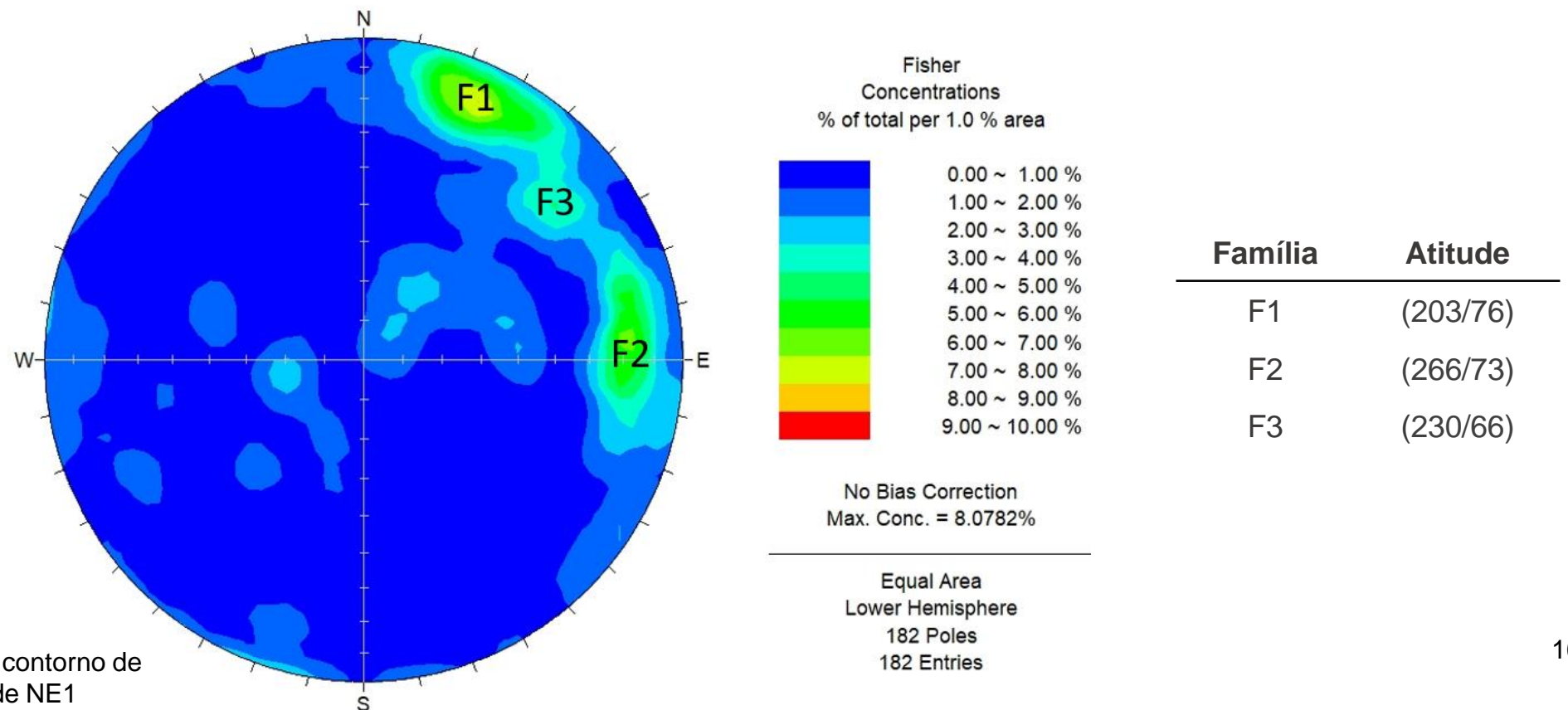


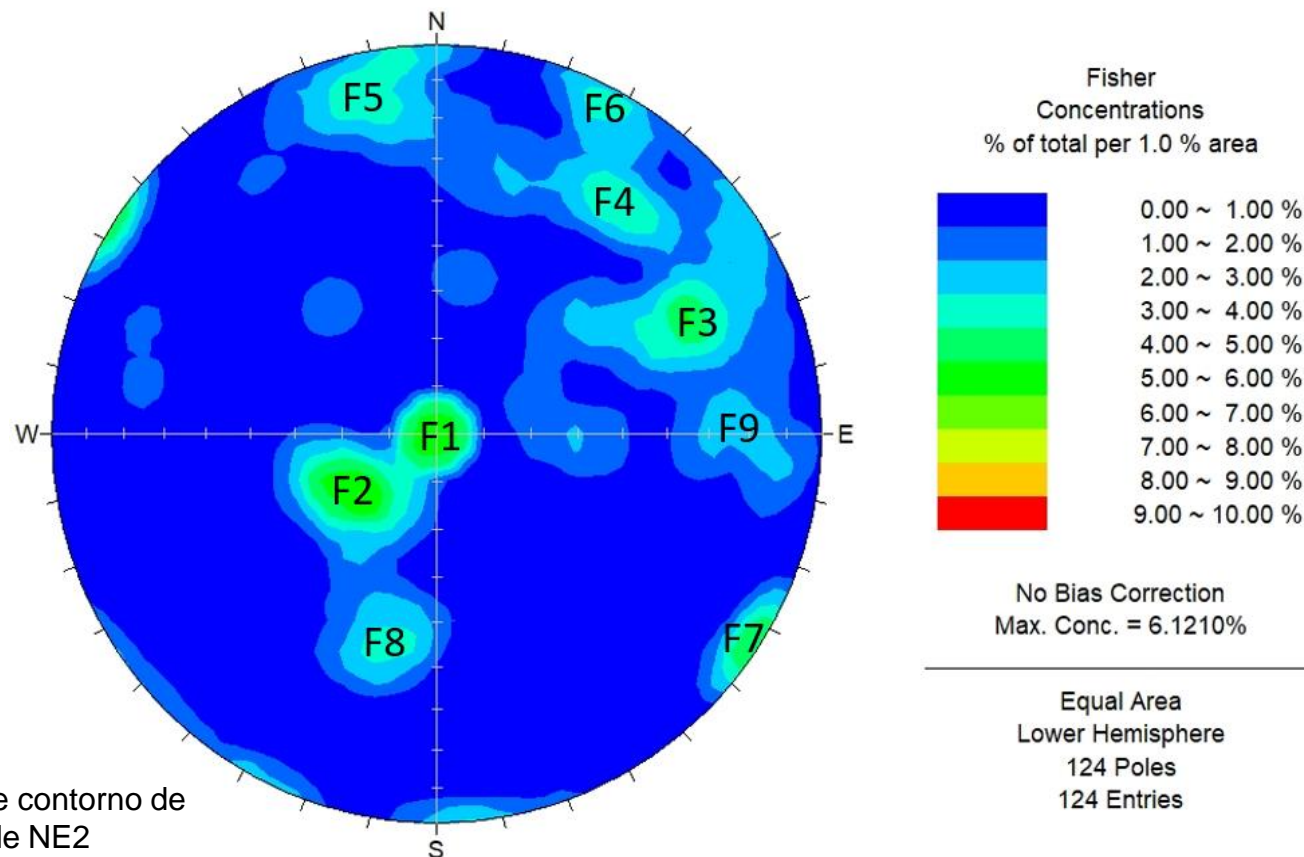
Figura 9. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE1

Resultados e discussões

- Análise estrutural

- Talude NE2

- Concentração 124 polos
- Nove famílias de descontinuidades



Família	Atitude
F1	(Horizontal)
F2	(053/20)
F3	(246/60)
F4	(219/63)
F5	(169/79)
F6	(207/85)
F7	(302/86)
F8	(012/46)
F9	(269/68)

Figura 10. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE2

Resultados e discussões

- Análise estrutural

- Talude NE3

- Concentração 97 polos
 - Cinco famílias de descontinuidades

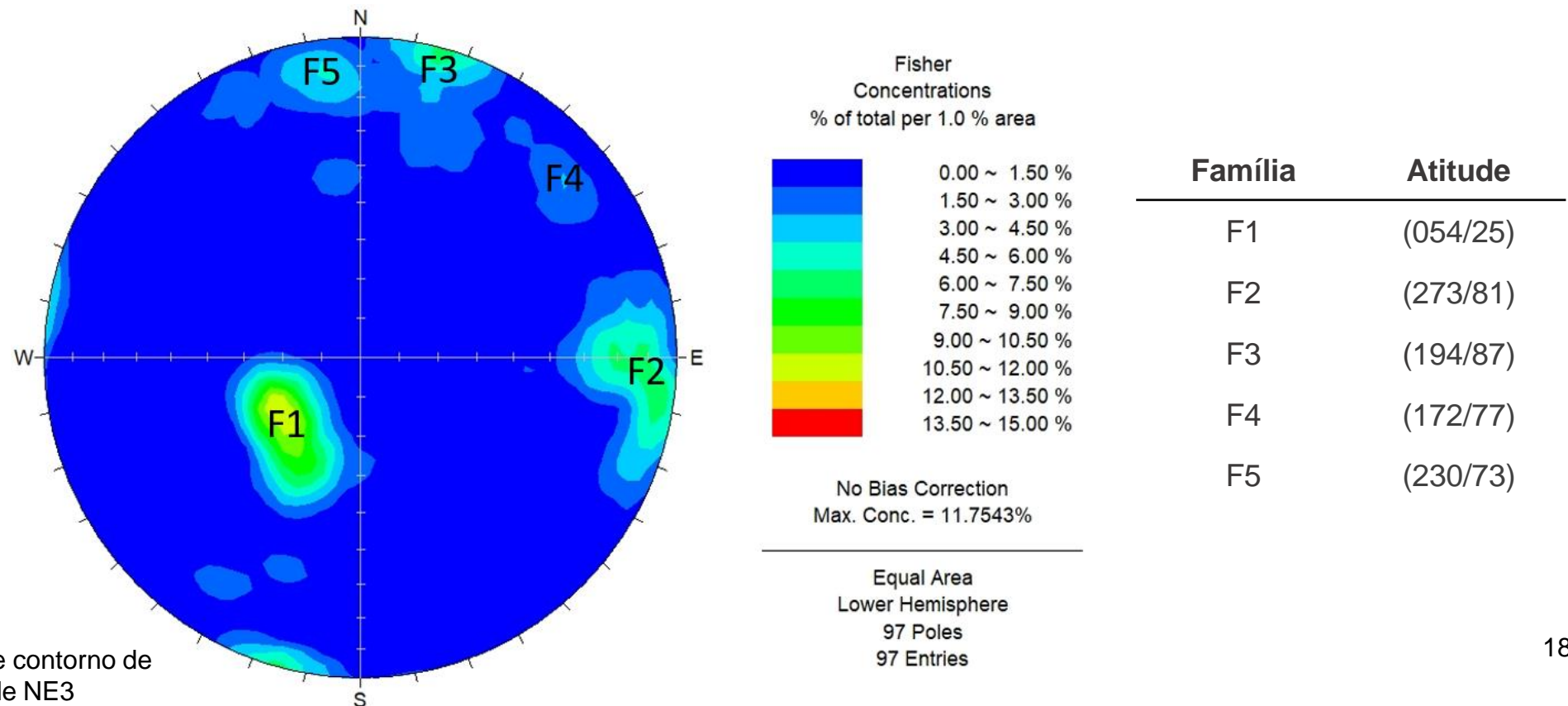


Figura 11. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude NE3

Resultados e discussões

- Análise estrutural

- Talude SE

- Concentração 98 polos
- Dez famílias de descontinuidades

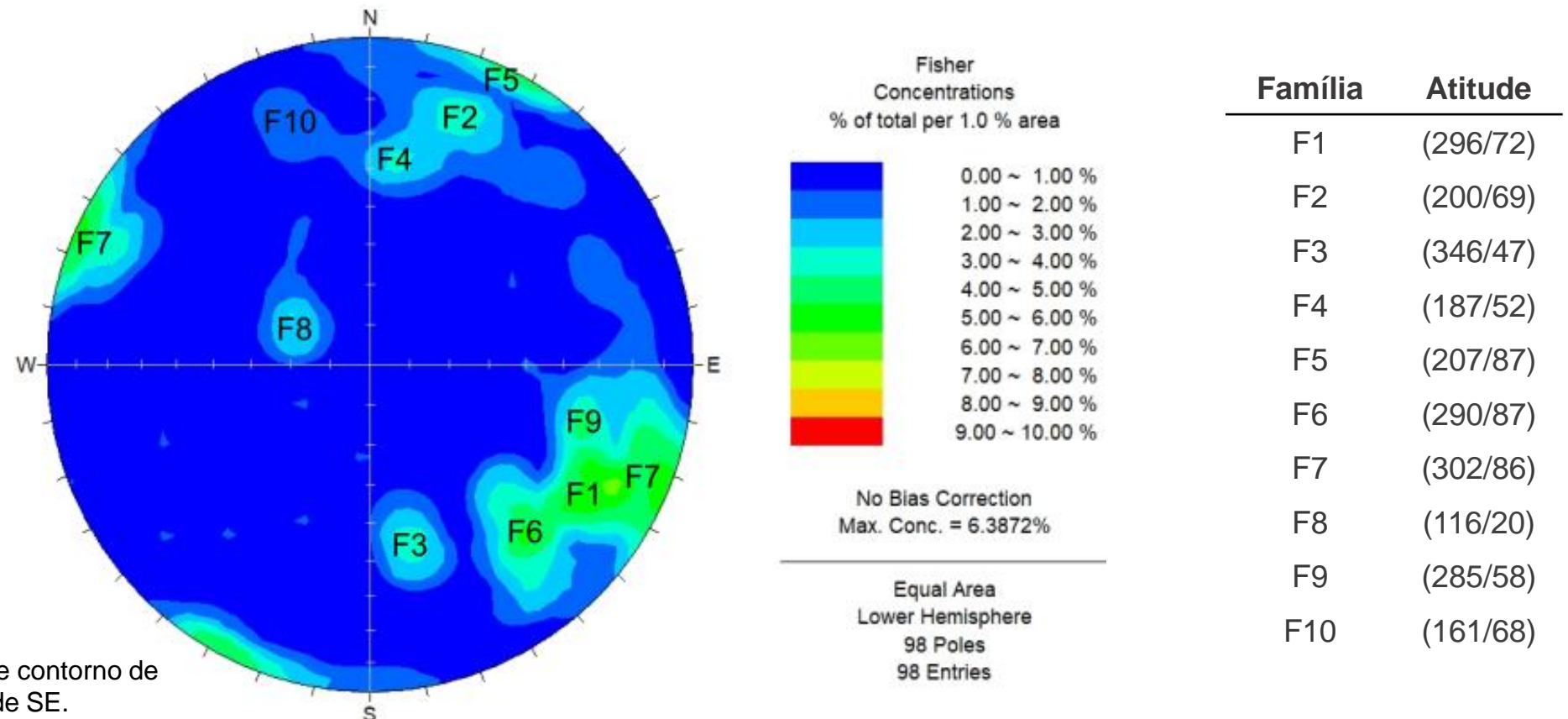


Figura 12. Estereograma de contorno de pólos de juntas para o Talude SE.

Resultados e discussões

- Análise estrutural
 - Talude NW
 - Sete polos de descontinuidades

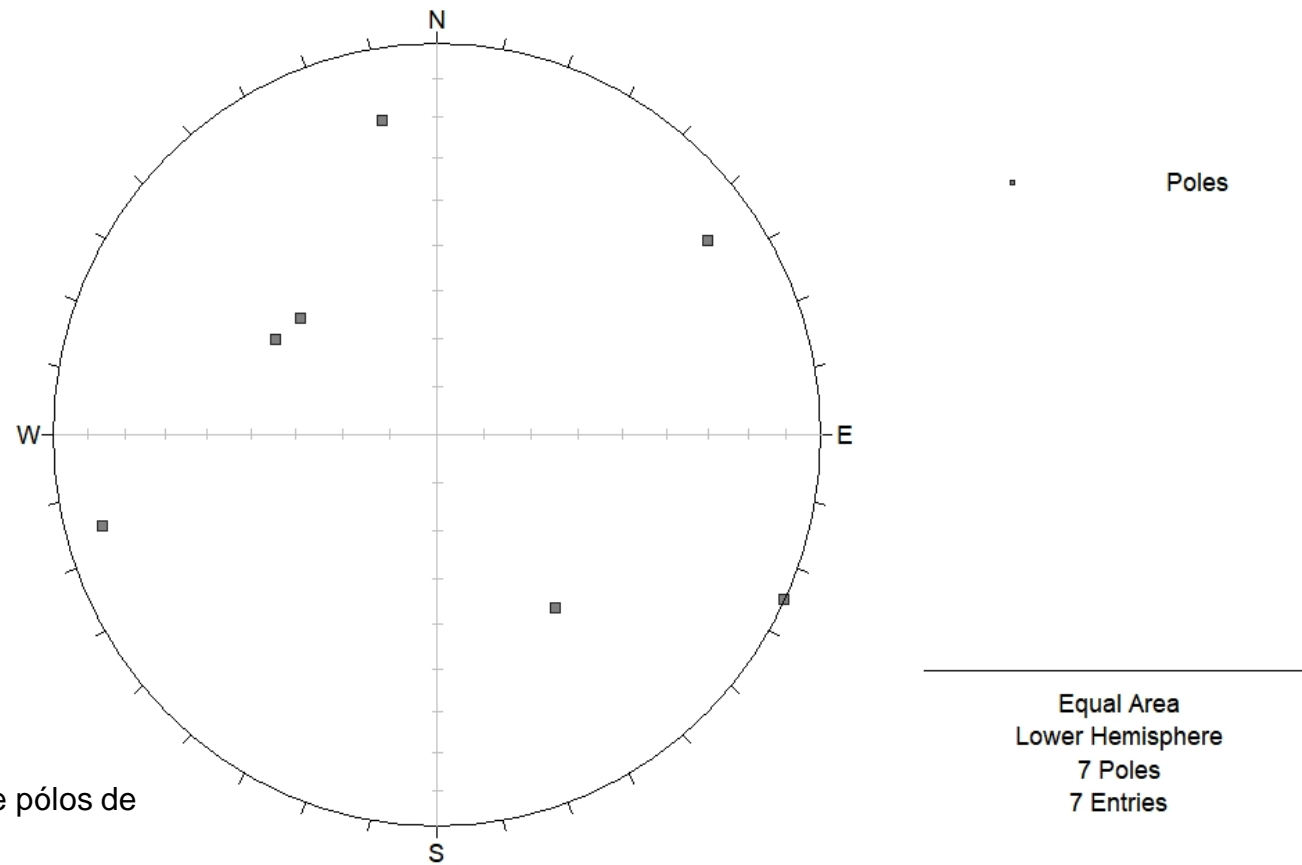


Figura 13. Estereograma de pólos de juntas para o Talude NW.

Resultados e discussões

- Análise cinemática
 - Talude NE1
 - Possível ruptura planar – família de juntas **F2**
 - Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural



Figura 15. a) Grande ruptura planar afetando o talude NE1.

b)

Figura 14. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o talude NE1.

Resultados e discussões

- Análise cinemática
 - Talude NE2
 - Possível ruptura planar – família de juntas **F3** e **F4**
 - Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural

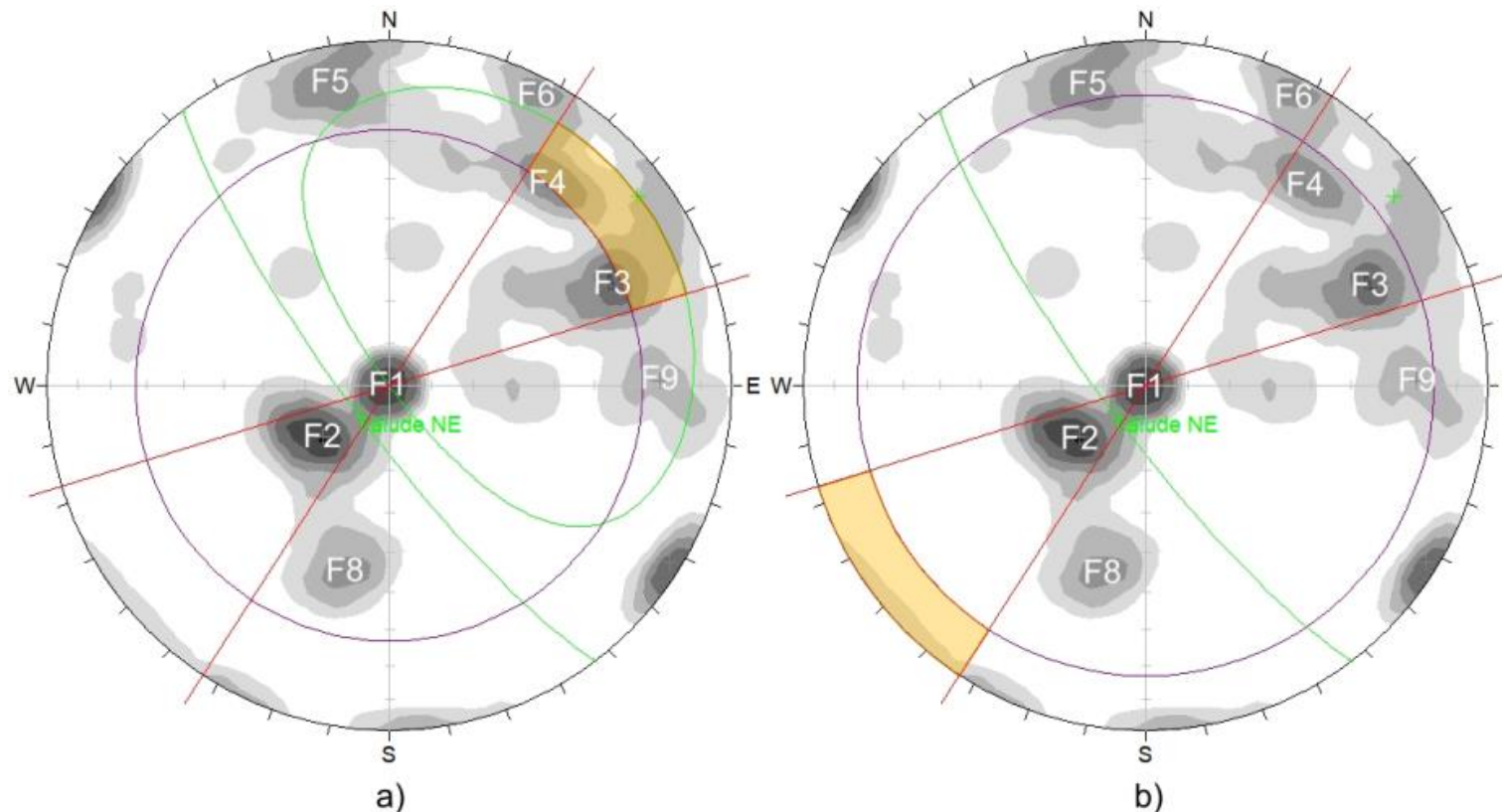


Figura 16. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE2.

Resultados e discussões

- Análise cinemática
 - Talude NE3
 - Possível ruptura planar – família de juntas **F4**
 - Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural

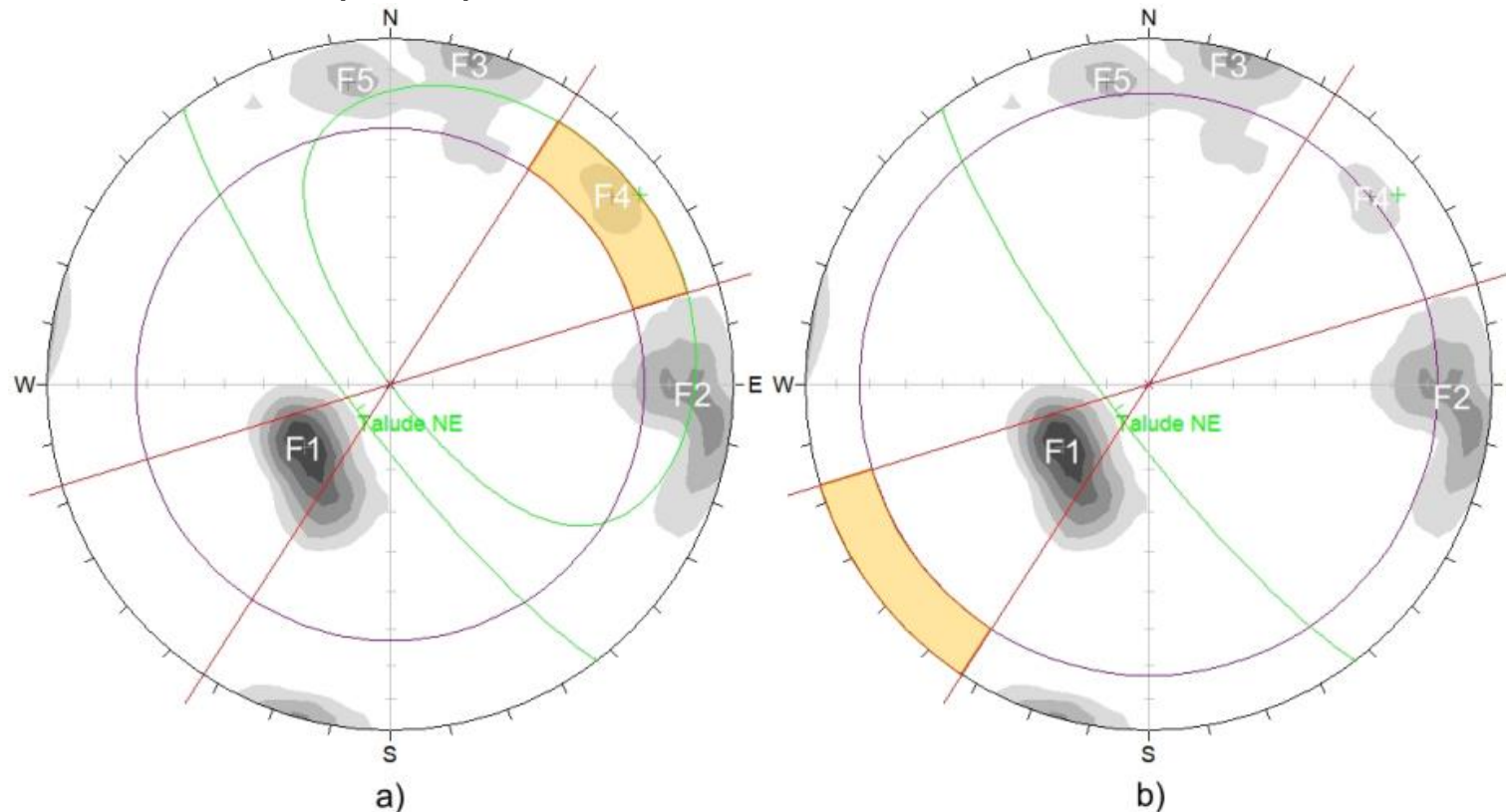


Figura 17. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NE3.

Resultados e discussões

- Análise cinemática

- Talude SE

- Possível ruptura planar – família de juntas **F6**
- Possibilidade de ruptura por tombamento flexural – família de juntas **F7 e F10** (dispersão)

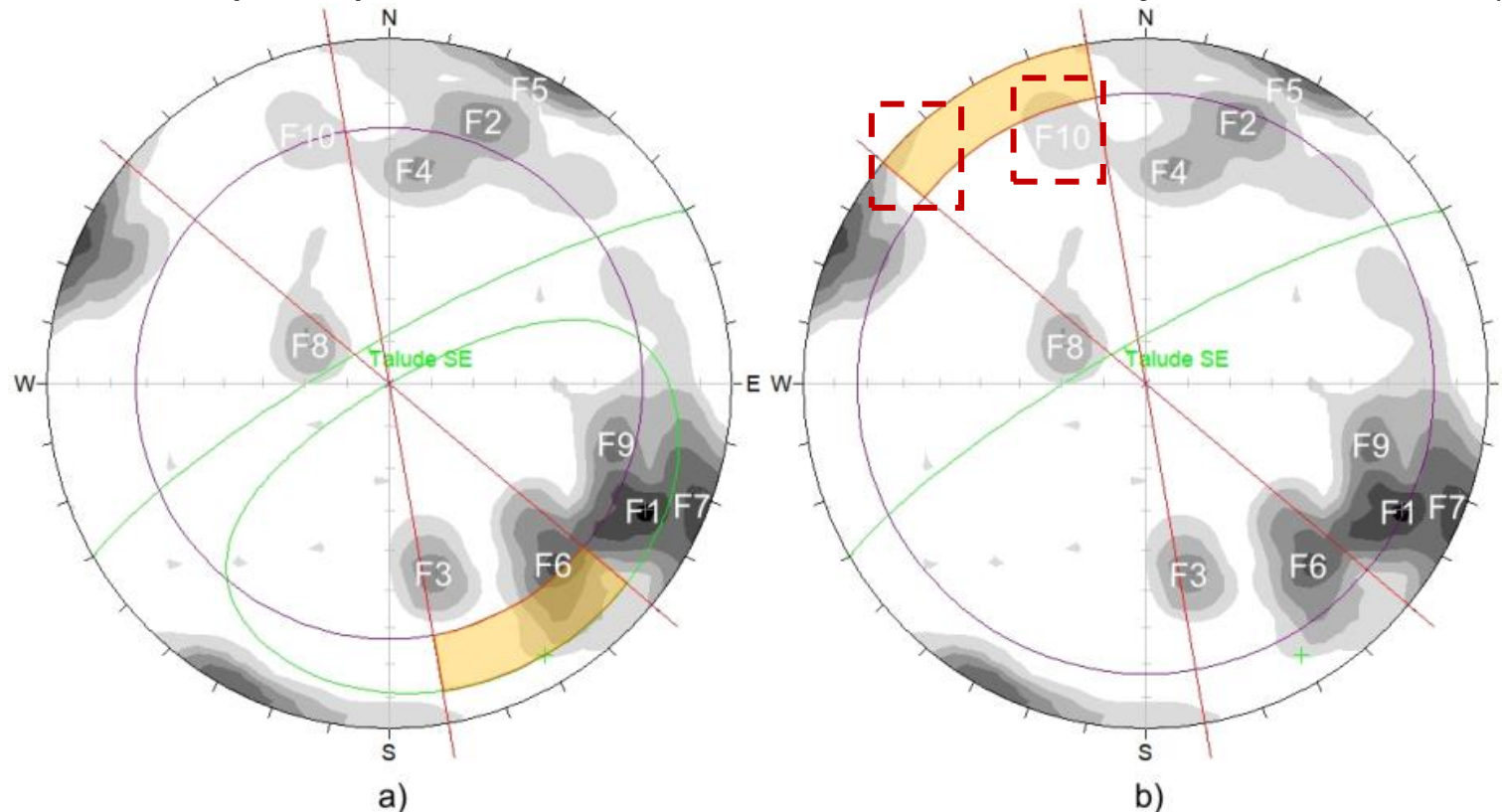


Figura 18. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude SE.

Resultados e discussões

- Análise cinemática
 - Talude NW
 - Possibilidade baixíssima de ruptura planar
 - Sem possibilidade de ruptura por tombamento flexural

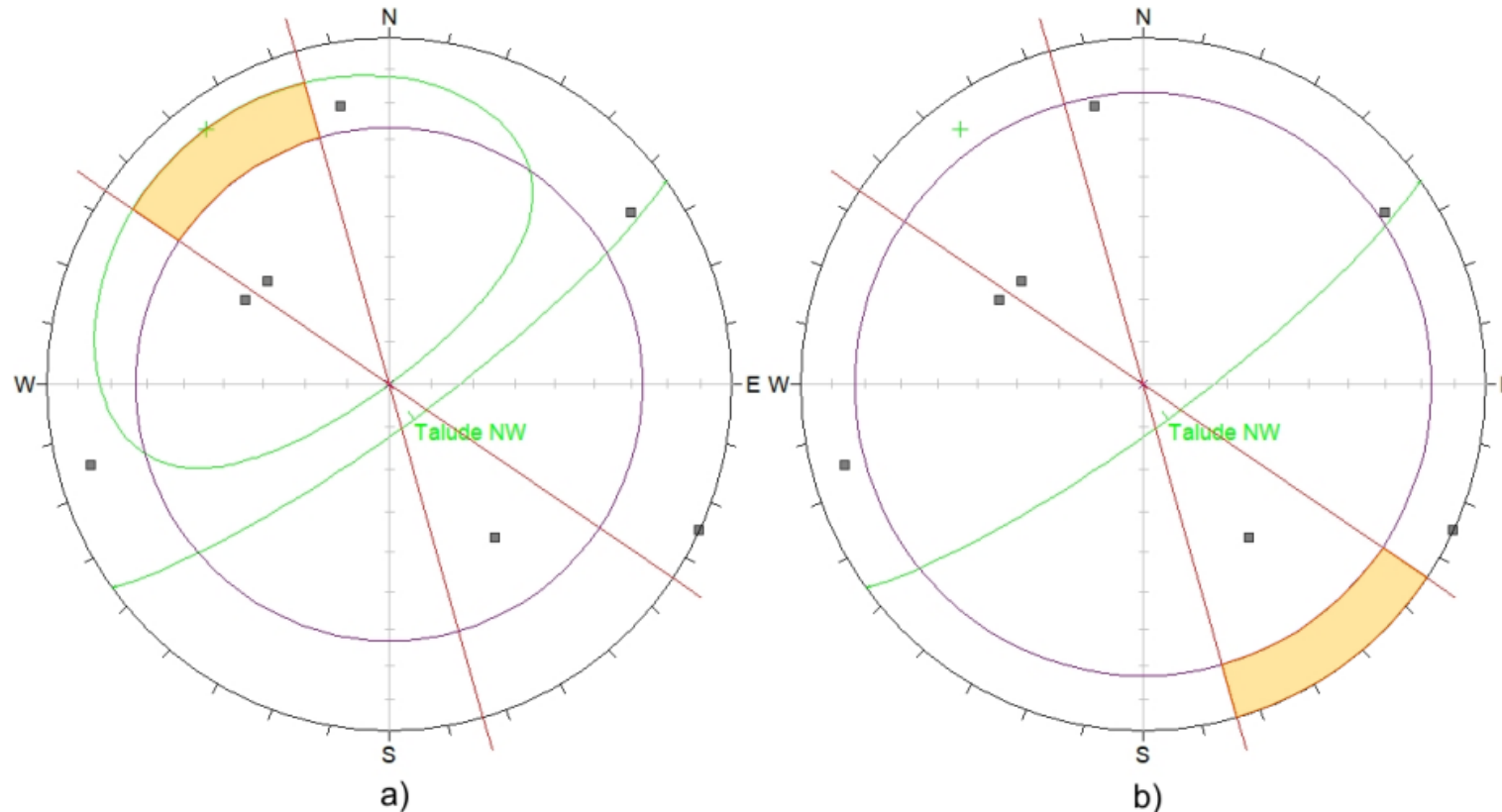


Figura 19. Análises cinemáticas para ruptura planar (a) e por tombamento flexural (b) para o Talude NW.

Resultados e discussões

- Classificação geomecânica SMR
- Não foi observado tombamentos flexurais em campo

Tabela 5 . Síntese das famílias de descontinuidades que podem provocar rupturas para os taludes estudados.

Taludes	Bancadas	Ruptura planar	Ruptura tombamento flexural	Atitude
	1	F2	-	266/73
NE	2	F3 e F4	-	246/60 e 219/63
	3	F3	-	194/87
SE	-	F6	F7 e F10 (dispersão)	317/61, 290/87 e 161/68
NW	-	-	-	-

Resultados e discussões

- Classificação *Slope Mass Rating* (SMR)

Tabela 7. Tratamentos sugeridos de SMR para as diferentes condições de taludes estudados..

						SMR
Talude		SMR	Classe	Descrição	Tratamentos	
NE	1	76,2	II	Bom	Limpeza	F2 = 76,2
	2	36,3	IV	Ruim	Sistema de drenagem, concreto projetado e ancoragens	F3 = 36,3 F4 = 36,3
SE	3	65,7	II	Bom		F3 = 65,7
	-	66,6	II	Bom	Limpeza, ancoragens e tela metálica	F3 = 66,6 F7 = 71,8 F10 = 71,8

Conclusões e Recomendações



Conclusões e recomendações

- Os resultados obtidos permitem concluir que:
 - Os **taludes estudados** estão sujeitos a **ruptura planar**, com **exceção** do talude NW;
 - Os **taludes estudados** foram **classificados** em geral como **maciços de boa qualidade** geomecânica (classe SMR II);
 - O **talude NE2** apresentou o **menor** valor de **SMR**, sendo classificado como um maciço ruim, e necessitando, portanto, **maior atenção** do ponto de vista de estabilidade;
 - Devido ao fato do **levantamento estrutural** ocorrer na **porção inferior dos taludes**, **estruturas geológicas** que ocorrem na **metade superior** não são amostradas por questões de dificuldade de acesso. Esta subamostragem nos dados estruturais **pode influenciar os resultados** da classificação SMR, como verificou-se no talude NE1;
 - Recomenda-se em trabalhos futuros a **aplicação das versões mais recentes** da classificação SMR, pois as mesmas incorporam nas análises as rupturas do tipo em cunha, não estudadas neste trabalho.

Referências



Referências

- BIENIAWSKI, Z. T. **Engineering rock mass classifications : a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering.** [s.l.] Wiley, 1989.
- BOULHOSA, G. S. **Levantamento estrutural e estudo de classes geomecânicas de maciço utilizando o sistema rmr por análise geoestatística e imagens de drone: aplicação em uma mina de mármore inativa em Itaoca, ES.** Universidade Federal do Espírito Santo, p. 79, 2018.
- DEGLER, R.; PEDROSA-SOARES, A. ; DUSSIN, I.; QUEIROGA, G.; SCHULS, B. **Contrasting provenance and timing of metamorphism from paragneisses of the Araçuaí - Ribeira orogenic system, Brazil:** Hints for Western Gondwana Assembly. International Association for Gondwana Research. Elsevier, 2017.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J. ; JANASI, V. A. **Província Mantiqueira.** In: BECA (Ed.). . Geologia do Continente Sul-Americano. São Paulo: [s.n.]. p. 203–234.
- HUDSON, J.A.; HARRISON, J.P. **Engineering Rock Mechanics:** An introduction to the principles. Pergamon. Elsevier Science. Kidling, Oxford, UK. Pags 1-458,1997
- ROMANA, R. M. **New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes.** Proceedings of the International Symposium on the Role of Rock Mechanics in Excavations for Mining and Civil Works, International Society for Rock Mechanics. **Anais...**Zacatecas: 1985
- SANTOS, S. T. **Análise cinemática de taludes de uma mina de mármore abandonada, no distrito de Itaoca – ES.** Universidade Federal do Espírito Santo, n. 1, p. 72, 2018.
- SILVA, J. N. **Programa de levantamento geológico básico do Brasil. Cachoeiro de Itapemirim. Folha SF.24-V-A-V. Estado do Espírito Santo. Escala 1:100.000.** Brasília: [s.n.].
- WYLLIE, D.C.; MAH, C.W. 2004. **Rock Slope Engineering: civil and mining.** London: Inst. of Mining and Metallurgy. 431p.

Obrigado a todos!!!

“Se eu enxerguei mais longe, foi porque
me apoiei no ombro de gigantes”
(Isaac Newton)





Mundo da Geomática

“A multidisciplinaridade e a integração harmônica de uma equipe correspondem ao sucesso de um trabalho em conjunto.”
(Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos)