

# ESTUDO DE FRATURAS NOS TALUDES DE CORTE, EM ROCHA VULCÂNICA, AO LONGO DA BR 158, SANTA MARIA, RS

Andrea V. Nummer e Luis Eduardo S. Robaina

Departamento de Geociências – CCNE

UFSM – Santa Maria, RS

Marcos Geovane Berger

Mestrando – CCR

UFSM – Santa Maria, RS

## RESUMO

Os processos de alteração e o grau de fraturamento das rochas são fatores condicionantes à ocorrência de queda de blocos. Desse modo, estudou-se as características dos fraturamentos das litologias vulcânicas junto a subida da serra, BR 158, município de Santa Maria, RS.

Para a aquisição de dados ,utilizou-se o método da **Scanline** de BRADY & BROWN (1985). Os dados obtidos foram analisados por meio de estatística vetorial.

Os principais grupos de fraturas definidos, associam-se com o resfriamento da rocha e estão representados pelas atitudes médias: Grupo 1: 348;83; Grupo 2: 174;82; Grupo 3: 85;76; Grupo 4: 265;75; Grupo 5: 300;42 e Grupo 6: 121;53.

## ABSTRACT

Weathering processes and jointing degree are the conditioning factors for rock fall.

The fractured volcanic lithologies from Santa Maria, RS, Brazil, were studied along the BR 158 road. Data was gathered through the *Scanline* method from BRADY & BROWN (1985) and analyzed by vector statistics.

Six main jointing groups were defined, associated to rock cooling and shrinking. Main attitudes are: Group 1: 348;83; Group 2: 174;82; Group 3: 85;76; Group 4: 265;75; Group 5: 300;42 and Group 6: 121;53.

## 1. INTRODUÇÃO:

As características do substrato rochoso, associadas a intensidade do intemperismo, a natureza da alteração e grau de fraturamento, condicionam a suscetibilidade do material à ação de processos geológicos, como movimentos de massa. Dessa forma, o estudo das características das fraturas nos maciços rochosos é fundamental para trabalhos de prevenção e controle. Os principais parâmetros que influenciam são: orientação espacial das famílias de descontinuidades (atitude); a abertura das descontinuidades; preenchimento; estado de alteração das paredes; espaçamento entre as descontinuidades e rugosidade.

O estado tensional a que os maciços rochosos estão submetidos é perturbado quando se executa escavações para taludes traduzindo-se em deformações que podem atingir várias magnitudes e levar as rochas a romperem-se gradativamente (deslocamento de paredes).

Diferentes problemas vem sendo registrados pelos meios de comunicação, no que refere-se a questões de segurança de rodagem em estradas, sejam elas rodovias federais, estaduais ou simplesmente estradas

vicinais. A falta de segurança de rodagem, muitas vezes, está relacionada a problemas de erosão, quedas de barreiras, buracos, etc.

Neste trabalho, avaliou-se as características estruturais das rochas vulcânicas que compõem diferentes taludes de corte na rodovia federal Br 158, no Rio Grande do Sul, entre os municípios de Santa Maria e Júlio de Castilho que apresentam risco de queda de blocos.

Este trecho da Br 158, encontra-se sobre o Planalto Sul-Brasileiro, num percurso de aproximadamente 10 km sobre o Rebordo do Planalto ou Serra Geral, região mais íngreme.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Levantamento Sistemático de Dados:

As descontinuidades identificadas nas rochas dos taludes estudados formam fraturas que são estruturas geológicas com feições tabulares ou planares de reduzida capacidade mecânica, com propriedade e rigidez muito inferior às das rochas encaixantes.

O levantamento sistemático possui caráter quantitativo. A descontinuidades foram agrupadas, segundo critérios geológicos, e descritas, para posterior tratamento estatístico.

Foram escolhidas três “janelas” em diferentes taludes de corte, na BR 158, no Rebordo do Planalto, a partir da ponte “Garganta-do-diabo”, até o local da Sociedade Concórdia Caça e Pesca (SOCEPE), na cidade de Itaara. Foram, portanto, analisadas três “janelas” ou taludes a saber: i) **Scanline** 1: Garganta do diabo, ii) **Scanline** 2: Km 240, e iii) **Scanline** 3: Socepe de onde foram retiradas de 30 a 80 medidas estruturais em cada talude.

O método da **Scanline** descrito em BRADY & BROWN (1985), consiste em uma trena de poliéster espichada a uma altura de 1m onde são analisadas todas as fraturas que interceptam esta trena. Na descrição de

cada descontinuidade foram analisados os seguintes parâmetros, conforme ISRM (1983): orientação espacial; continuidade da estrutura; quantidade das juntas; morfologia da superfície da fratura; forma e natureza dos preenchimentos.

## 2.2. Método de Estatística Vetorial

Por meio do método de análise vetorial, de um banco de dados, de medidas de atitudes de fraturas, é possível determinar, graficamente, se essas medidas apresentam uma distribuição aleatória (randômica) ou preferencial. Neste último caso, obtém-se um vetor médio de orientação para o conjunto de fraturas medidas.

Existem dois tipos de distribuição preferencial: tipo "cluster", que ocorre quando os pólos das fraturas concentram-se em pontos isolados no estereograma e tipo "girdle", onde os pólos ocorrem ao longo de um mesmo grande círculo no estereograma.

A determinação do vetor médio é baseada no método de **eigenvalue** de análise de orientações, conforme proposto no trabalho de WOODCOCK & NAYLOR (1983). O método é aplicável para qualquer número de orientações e, a base teórica, consiste em obter para cada medida de fratura (direção e mergulho) um vetor que é calculado a partir de três parâmetros:

l:  $\cos(\text{mergulho}) \cdot \cos(\text{direção})$

m:  $\cos(\text{mergulho}) \cdot \sin(\text{direção})$

n:  $\sin(\text{mergulho})$

O somatório dos produtos de cada conjunto de parâmetros, calculados a partir de uma matriz normalizada, é chamado "tensor de orientação", a partir do qual, são obtidos três eixos principais, denominados **eigenvectors** ( $v_1, v_2, v_3$ ) com suas respectivas dimensões ( $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ), denominadas **eigenvalues**. S1, S2 e S3 são os **eigenvalues** normalizados

onde os valores obtidos para  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$  são divididos pelo número de medidas (N). Os valores de S1, S2 e S3 são utilizados para cálculo dos parâmetros da forma de distribuição (**cluster** ou **girdle**) e grau de orientação preferencial (forte ou fraco).

O parâmetro forma é expresso por:  $K = \ln(S1/S2)/\ln(S2/S3)$ .

Para  $0 \leq K \leq 1$ , a forma de distribuição é do tipo **girdle**, enquanto para  $K > 1$ , a forma de distribuição é do tipo **cluster**.

O grau de orientação do conjunto de fraturas (forte ou fraco) é expresso pelo parâmetro C, conforme a equação:  $C = \ln(S1/S3)$ .

Os **eigenvectors** e **eigenvalues**, bem como os valores de S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> e a atitude média do plano das fraturas, foram obtidos por cálculo computacional através do **software** StereoNet.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Br 158, no RS, encontra-se sobre o Planalto Sul Brasileiro e o Rebordo do Planalto, que resultou da superposição de vários derrames de lava.

O trecho estudado da rodovia está localizado sobre o Rebordo, que representa uma zona de transição entre a Depressão Central e o Planalto. Está representado por vales cujas vertentes, variam desde as mais íngremes (> 47%), até as vertentes mais suaves, com inclinação em torno de 5%, caracterizando-se por uma região com intensos processos fisiográficos sobre a superfície do Planalto.

Do ponto de vista geológico, esta sucessão de derrames, compõem a Formação Serra Geral. A estratigrafia dos derrames, revelou a existência de uma seqüência inferior básica e outra superior de composição

ácida (SARTORI et al., 1975). Os derrames estudados compõem os três derrames da seqüência inferior, com a base, do primeiro, situado a uma

altitude próxima de 200m em contato com o arenito da Formação Botucatu. Segundo SARTORI & GOMES (1980), correspondem a basaltos toleíticos.

Conforme KOPPEN, (apud PONTELLI, 1994), o clima da região centro do estado do Rio Grande do Sul que engloba a região de estudo (municípios de Santa Maria e Júlio de Castilhos), enquadra-se no tipo temperado, chuvoso e quente. Em relação a precipitação média anual, os índices oscilam entre 1750 e 2000 mm bem distribuídos ao longo do ano, sendo os meses de fevereiro, março, outubro a novembro os menos chuvosos e entre e os meses de junho e julho os mais chuvosos.

A BR 158 foi construída sobre os interflúvios que separam as Bacias Hidrográficas do Jacuí, a leste e a do Ibicuí, a oeste, com altitudes que variam entre 350 e 450 metros.

Um dos principais processos que põem em risco o tráfego pela região do Rebordo, são movimentos que consistem nos deslocamentos de blocos de rocha por gravidade e, que podem ser assim classificados:

i. Queda de Blocos: envolvem materiais rochosos de volume e litologia diversos, que se deslocam em taludes ou encostas íngremes em movimento tipo queda livre;

ii. Tombamento de Blocos: movimento que se dá pela rotação dos blocos rochosos, condicionados pela presença de estruturas geológicas no maciço rochoso, com grande mergulho;

iii. Rolamento de Blocos: corresponde a movimentos de blocos rochosos ao longo de superfícies inclinadas. Estes blocos, geralmente, encontram-se parcialmente imersos em matriz terrosa, destacando-se dos taludes e encostas por perda de apoio.

#### **4. RESULTADOS OBTIDOS**

Foram analisados três taludes ao longo da BR 158 pertencentes a derrames diferentes e que apresentavam alto risco de queda

de blocos. A análise vetorial foi realizada para cada **scanline** separadamente e também, para o banco total de dados.

#### 4.1. Scanline 1

Rochas vulcânicas básicas, pertencentes ao primeiro derrame, com descontinuidades do tipo juntas ou fraturas de resfriamento, mediamente alteradas (rocha descolorida) a praticamente sãs em alguns locais. Com base nas feições observadas, representam a parte central do derrame.

As descontinuidades variam de próximas (6 a 20 cm) à medianamente afastadas (20 a 60 cm). Possuem abertura que varia de 0,5 a 1 cm, sem preenchimento. A superfície das descontinuidades são, na grande maioria, paredes com alteração incipiente com sinais de exsudação de água com aparência ondulada rugosa e ondulada lisa mais comumente. Predominam rochas coerentes, que quebram com dificuldade.

A análise vetorial foi realizada para 82 dados desta **scanline** de 30m de comprimento (Tabelas 1 e 2).

Foram definidos 7 conjuntos de dados designados de F1 a F7 (Figuras 1 e 2), tratados individualmente pela estatística vetorial com as seguintes atitudes médias:

- F1: 311;77
- F2: 170;82
- F3: 159;85
- F4: 282;81
- F5: 241;44
- F6: 177;37
- F7: 120;57

## 4.2. Scanline 2

Maciço rochoso, composto de rocha vulcânica básica, pertencente ao segundo derrame, medianamente alterado (rocha descolorida) e medianamente fraturado (6 a 10 f/m) onde as descontinuidades são, em geral, medianamente afastadas (20 a 60 cm) a afastadas (60 a 200 cm). A abertura das fraturas varia de 0,5 a 3 cm, mostrando paredes onduladas lisas, com alterações incipientes, sinais de percolação d'água e ausência de preenchimento. Neste ponto, ocorre o talude de corte de maior altura, aproximadamente 20m, onde pode-se observar fraturas de resfriamento que geram blocos de 1m de comprimento por 40-50 cm de largura e até de tamanhos maiores. Nesta porção, o risco de queda de blocos, individualizados pelas fraturas, é bastante grande.

A análise vetorial foi realizada com 30 medidas de fraturas nesta **scanline** (Tabelas 1 e 2).

O conjunto de fraturas definidos por esta **scanline** estão representadas nas figuras 3 e 4 e têm as seguintes atitudes médias:

- F1: 354;82
- F2: 171;72
- F3: 268;54
- F4: 90;60
- F5: 123;51

## 4.3. Scanline 3

Os dados de descontinuidades, foram coletados ao longo de uma **scanline**, medindo 20 m. O Maciço rochoso, de composição vulcânica básica, pertencente ao terceiro derrame, apresenta-se medianamente alterado (rocha descolorida) a muito alterado em alguns locais (mais da

metade do material rochoso está decomposto). Quanto ao grau de fraturamento, mostra-se medianamente (6 a 10 f/m) a muito fraturado (11 a 20 f/m) com descontinuidades muito próximas (<6 cm) e aberturas que variam de 0,5 a 2 cm.

As superfícies das fraturas, mostram alteração incipiente com sinais de percolação d'água e preenchimento ausente. Têm aspecto ondulado liso, sendo planas rugosas, planas lisas e localmente planas polidas (em locais de escorregamento recente). Quanto ao grau de coerência as rochas apresentam-se medianamente a pouco coerentes, e em locais de maior alteração, completamente incoerentes. Ocorre a presença, significativa, de esfoliação esferoidal alterando o mergulho das fraturas. A estatística vetorial foi realizada com 49 dados (Tabelas 1 e 2).

Com base na representação das figuras 5 e 6, os grupos definidos, apresentam as seguintes atitudes médias:

- F1: 358;79
- F2: 175;85
- F3: 320;71
- F4: 302;84
- F5: 83;78
- F6: 209;38

Conforme os diagramas de isolinhas de pólos e rosetas, nas figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6, existem grupos principais de fraturas bem definidos em cada uma das **scanlines**. Plotando-se no gráfico modificado de WOODCOCK & NAYLOR (1983) os parâmetros C e K calculados com todos os dados de cada **scanline**, constata-se que eles apresentam fraca orientação preferencial e distribuição tipo **cluster** (Figura 7).

**Tabela 1.** Valores de *Eigenvectors* das *scanlines* 1, 2 e 3.

	Scanline 1			Scanline 2			Scanline 3		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3
L	0.108	-0.993	-0.041	-0.022	-0.012	1.000	-0.020	0.548	-0.836
M	0.098	0.052	-0.994	-0.064	0.998	0.010	-0.054	0.834	0.548
N	0.989	0.103	0.103	0.998	0.064	0.023	0.998	0.056	0.013
Dir.	42.451	177.00	267.62	251.22	90.674	0.591	249.74	56.698	146.74
Merg	81.615	5.904	5.933	86.117	3.660	1.296	86.690	3.255	0.746

**Tabela 2:** *Eigenvalues* das *scanlines* 1, 2 e 3

	Scanline 1	Scanline 2	Scanline 3
$\lambda_1$	70.081	26.854	40.779
$\lambda_2$	6.869	2.343	4.685
$\lambda_3$	5.030	0.813	3.536
S1	0.084	0.895	0.832
S2	0.855	0.078	0.096
S3	0.061	0.027	0.072
C	2.634	3.509	2.445
K	7.374	2.279	7.692
N	82	30	49
S1/S2	10.173	11.463	8.705
S2/S3	1.370	2.916	1.325
S1/S3	13.934	33.425	11.532
lnS1/S2	2.320	2.439	2.164
lnS2/S3	0.315	1.070	0.281

#### 4.4. Análise das *scanlines* em conjunto

A análise do conjunto dos dados obtidos nas três *scanlines* permitiu identificar 6 grupos principais de fraturas (Figuras 8 e 9) cujas atitudes dos planos médios são determinadas pela análise vetorial apresentada nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3:** Valores de *Eigenvectors* dos grupos

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
	V1	V1	V1	V1	V1	V1
L	0.117	-0.125	0.012	-0.026	0.372	-0.319
M	-0.27	0.017	0.234	-0.254	-0.631	0.511
N	0.993	0.992	0.952	0.967	0.681	0.798
Dir.	347.002	172.146	87.089	264.075	300.525	121.996
Merg	83.095	82.753	76.471	75.193	42.888	52.963
	V2	V2	V2	V2	V2	V2
L	-0.949	0.992	0.109	0.400	0.776	0.909
M	-0.298	-0.015	-0.967	0.883	0.614	0.402
N	0.104	0.125	0.231	0.243	0.145	0.106
Dir.	197.434	359.110	276.413	65.617	38.385	238.73
Merg	5.961	7.194	13.357	14.076	8.348	6.086
	V3	V3	V3	V3	V3	V3
L	-0.293	-0.017	0.994	-0.916	-0.0510	0.267
M	0.954	-1.000	-0.103	0.394	0.474	-0.760
N	0.0611	0.015	0.037	0.078	0.718	0.593
Dir.	107.071	269.000	185.911	156.748	137.095	289.370
Merg	3.472	0.870	2.113	4.501	45.903	36.365

**Tabela 4: Eigenvalues dos grupos**

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
$\lambda_1$	21.809	44.514	19.545	37.484	30.442	7.922
$\lambda_2$	0.124	0.247	0.412	2.636	0.643	2.868
$\lambda_3$	0.067	0.060	0.043	0.87	0.114	0.210
S1	0.991	0.989	0.977	0.914	0.811	0.720
S2	0.006	0.009	0.021	0.064	0.161	0.261
S3	0.003	0.001	0.002	0.021	0.029	0.019
C	5.803	6.614	6.127	3.752	3.344	3.631
K	8.6787	2.364	1.702	2.418	0.936	0.389
N	31	45	30	41	4	11
S1/S2	175.960	104.324	47.447	14.218	5.030	2.762
S2/S3	1.853	7.143	9.657	2.998	5.623	13.662
S1/S3	325.266	745.1665	458.183	42.627	28.332	37.740
$\ln(S1/S2)$	5.170	4.648	3.860	2.654	1.617	1.016
$\ln(S2/S3)$	0.617	1.966	2.268	1.095	1.727	2.615

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação do método de análise estatística vetorial de WOODCOCK & NAYLOR (1983), permitiu as seguintes conclusões:

a) as fraturas medidas nos três taludes (*scanlines* 1, 2 e 3) têm orientação preferencial fraca e forma de distribuição do tipo **cluster**;

b) a análise das principais famílias de fraturas de cada *scanline* possibilitou que fossem trabalhadas com um único conjunto de dados determinando-se grupos de fraturas;

c) foram registrados 6 grupos principais de fraturas nos três taludes ao longo da rodovia, cujas atitudes dos planos médios são:

- Grupo 1: 348;83
- Grupo 2: 174;82
- Grupo 3: 85;76
- Grupo 4: 265;75
- Grupo 5: 300;42
- Grupo 6: 121;53

d) As fraturas medidas para os grupos 1, 2, 3, 4, apresentam fraca orientação preferencial e distribuição tipo **cluster**. Os grupos 5 e 6 apresentam fraca orientação preferencial e distribuição tipo **girdles** (Figura 10), podendo ser considerados como um único grupo. Neste trabalho, as atitudes das estruturas em campo permitiram estabelecer dois grupos bem definidos.

As fraturas estudadas, são originadas por processo de resfriamento, o que confere o aspecto colunar aos blocos dos taludes das *scanlines* 1 e 2, referentes à porção central dos derrames. As descontinuidades variam de medianamente afastadas na *scanline* 2, muito

próximas na **scanline** 3 e próximas na **scanline** 1. A abertura das fraturas varia entre 0,5 e 3cm.

O processo de desconfinamento e quedas de blocos, se dá pela ação dos agentes superficiais que atuam nas discontinuidades do maciço rochoso. Estes agentes, isolam blocos, definidos pelo arranjo dos fraturamentos que variam de 1 a 2m de comprimento por 40 a 60 cm de espessura.

O talude referente à **Scanline** 2, foi considerado o de maior risco. Isto deve-se ao fato dele representar um corte superior a 15m, muito verticalizado, associado a uma região de centro-base de derrame, com intenso fraturamento vertical e horizontal, que configuram as disjunções colunares.

O talude referente à **Scanline** 3, apresenta o maior grau de alteração que, juntamente com as diferentes famílias de fraturas, individualiza blocos de aproximadamente 50cm de diâmetro por 1 a 1,5m de comprimento. Neste local ocorre intensa esfoliação esferoidal.

## BIBLIOGRAFIA:

- BRADY, B.H.G.; BROWN, E.T. **Rock Mechanics for Underground Mining**. London: George Allen, 1985. 527p.
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (ISRM), **Métodos para Descrição Quantitativa de Descontinuidades em Maciços Rochosos**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Comitê Brasileiro de Mecânica de Rochas, Tradução 12, 1983. 132 pp.
- INFANTI JR, N. ; FORNARI FILHO, N., Processos de Dinâmica Superficial. **Geologia de Engenharia**. ABGE. Editora Oficina de Textos: São Paulo.1998.pg.131-152.
- MACIEL FILHO, C.L., **Carta Geotécnica de Santa Maria** . Imprensa Universitária – UFSM. CCNE – Depto Geociências. Santa Maria. 1990.
- MAGALHÃES, F.S. ; CELLA, P.R.C., Estrutura dos Maciços Rochosos, **Geologia de Engenharia**. ABGE. Editora Oficina de Textos: São Paulo.1998. pg.39-55.
- MOREIRA, C.V.R. ; PIRES NETO, A.G., Clima e Relevo, **Geologia de Engenharia**. ABGE. Editora Oficina de Textos: São Paulo.1998.pg.69-85.
- SALOMÃO,F.X.T. & ANTUNES, F.S., Solos. **Geologia de Engenharia**. ABGE. Editora Oficina de Textos: São Paulo.1998.pg. 87-99.
- SARTORI, P.L.; MACIEL FILHO, C.L.; MENEGOTTO, E. Contribuição ao estudo das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria, RS. **Revista Bras. Geociências**, 4: 141-159. 1975.
- SARTORI, P.L.; GOMES, C.B. Composição químico-mineralógica das últimas manifestações vulcânicas na região de Santa Maria,RS. **An. Acad. Brasil. Ciênc.**, 52 (1), 1980, p 125-133.
- PONTELLI, E. M. et al. **Os Municípios de Júlio de Castilhos, Quevedo e Pinhal Grande: Geografia e Feições do Relevo**. Revista Geografia Ensino & Pesquisa, Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, CCNE, 1994, 6 - 7. p. 229 - 259.
- WOODCOCK, N. H. e NAYLOR, M. A .. 1983. Randomnes Testint in three – dimensional orientation data-Journal of Strutctural Geology, Vol.5, No.5, pp 539 to 548.

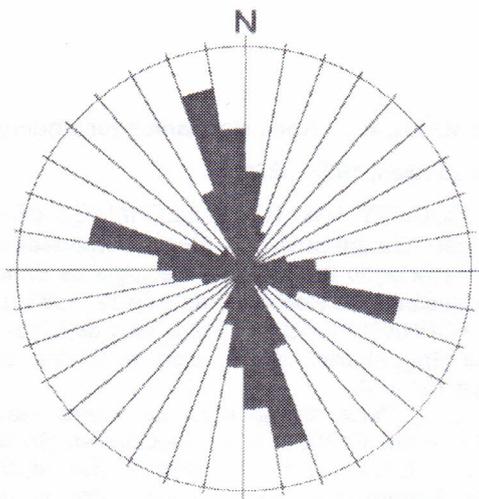


Figura 1. Diagrama de Rosetas (83 dados) – *Scanline 1*

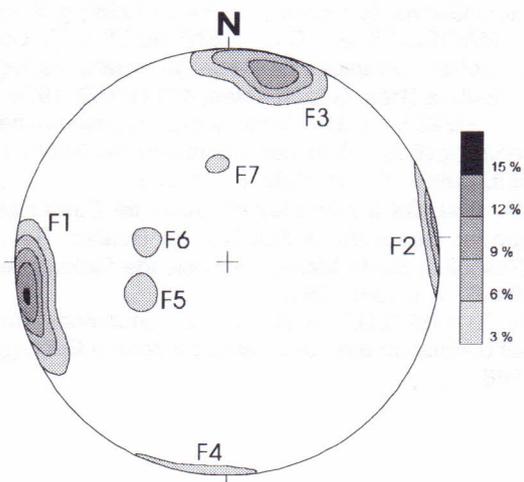


Figura 2.: Diagrama de Isolinhas de Pólos (83 dados) – *Scanline 1*

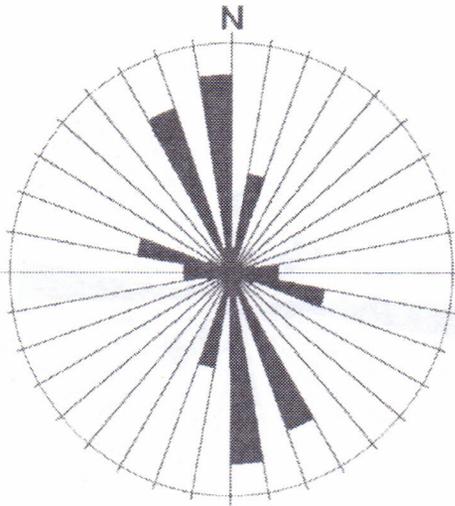


Figura 3: Diagrama de Rosetas (30 dados) – *Scanline 2*

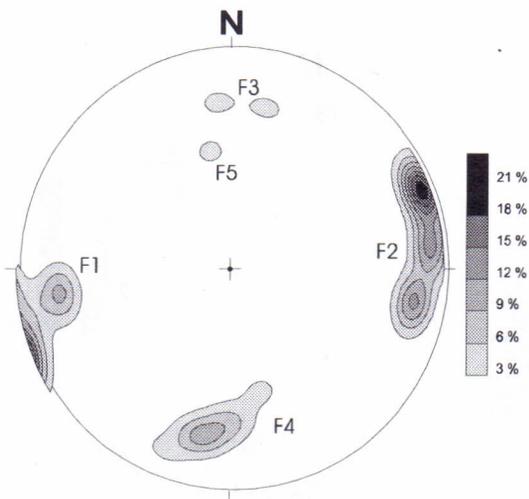
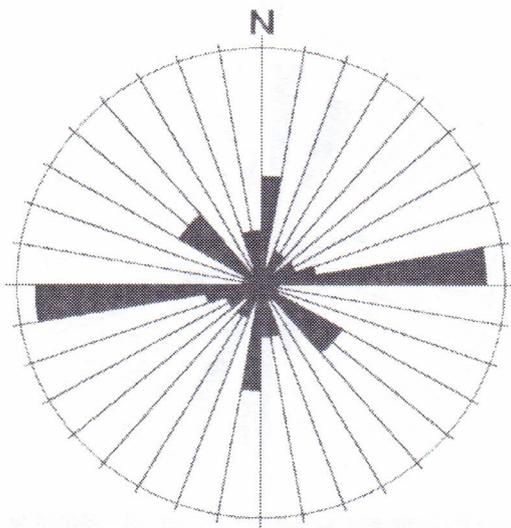
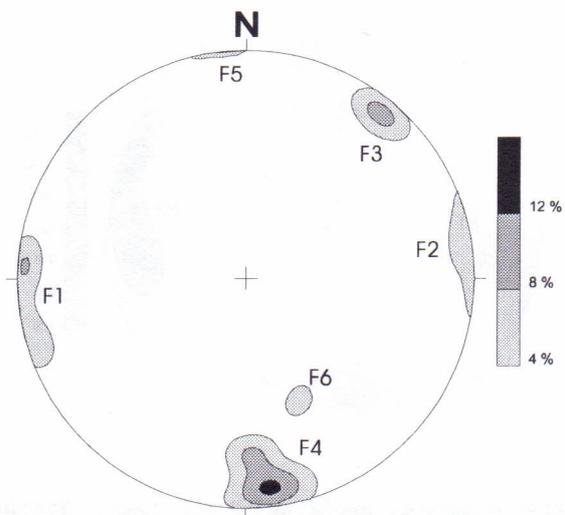


Figura 4: Diagrama de Isolinhas de Pólos (30 dados) – *Scanline 2*



**Figura 5:** Diagrama de Rosetas (49 dados) – *Scanline 3*



**Figura 6:** Diagrama de Isolinhas de Pólos (49 dados) – *Scanline 3*

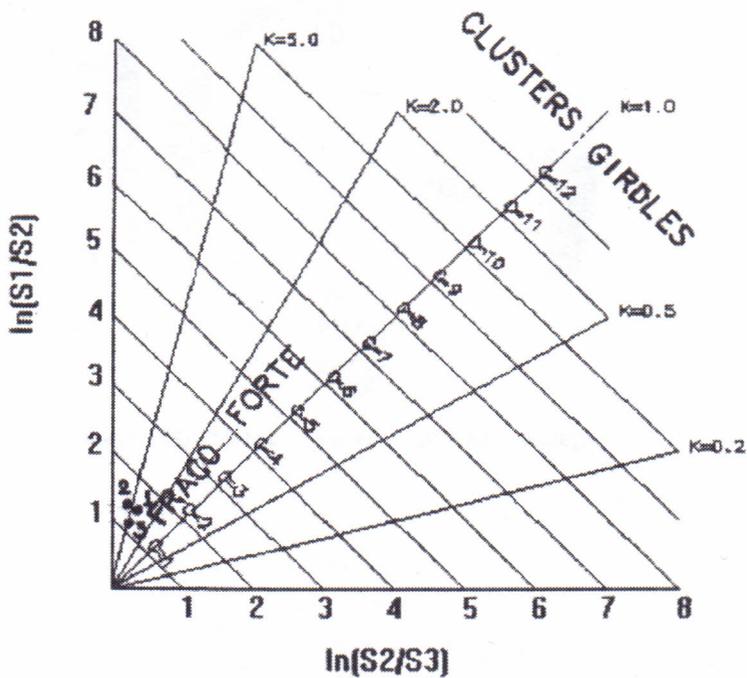
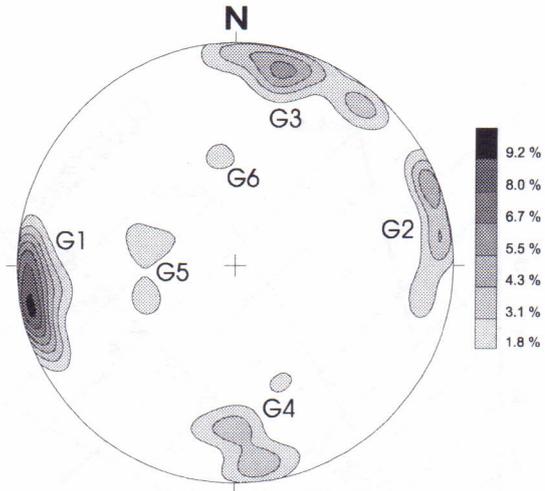
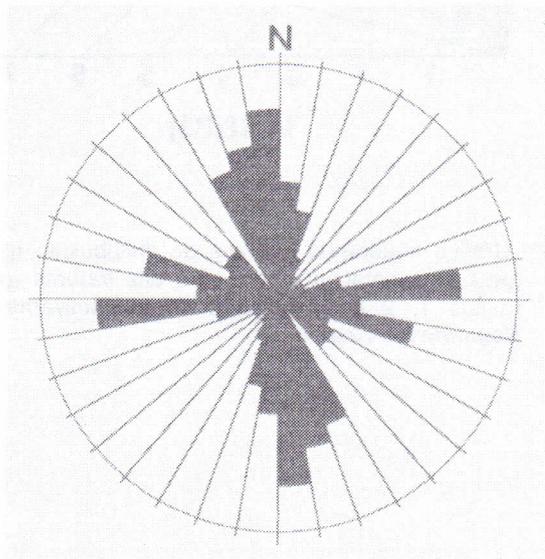


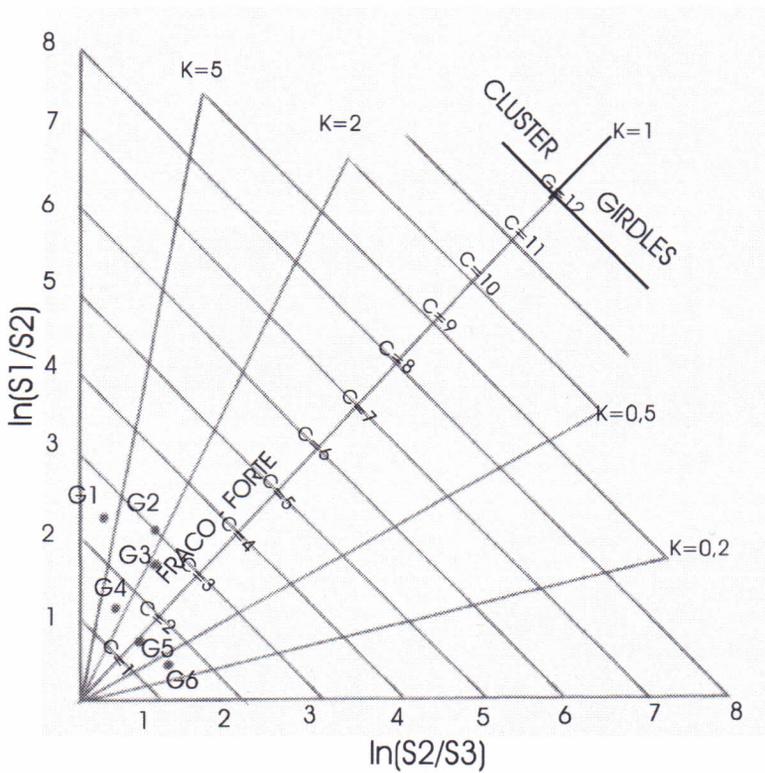
Figura 7: Gráfico mostrando a forma de distribuição (parâmetro K) e o grau de orientação preferencial das fraturas (parâmetro C). Os pontos 1, 2 e 3 representam respectivamente *Scanline 1*, *Scanline 2* e *Scanline 3*.



**Figura 8:** Diagrama de Isolinhas de Pólos (162 dados)



**Figura 9:** Diagrama de Rosetas (162 dados)



**Figura 10:** Gráfico mostrando a forma de distribuição (parâmetro K) e o grau de orientação preferencial dos grupos de fraturas (parâmetro C).

