

9. ANISOTROPIA DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

9.1 Petrotrama em rochas metamórficas

A rocha metamórfica se caracteriza pela transformação de uma rocha pré-existente (ígneas, sedimentar ou metamórfica) devido a mudanças nas condições físico-químicas atuantes sobre ela. Deste modo, a rocha sofre alterações que podem mudar a mineralogia (recristalização) e/ou reorientar e/ou mudar a forma original dos minerais que a compõem (deformação). No último caso a deformação metamórfica tende a mudar as texturas e estruturas da rocha original, podendo chegar a ponto de apagar totalmente qualquer registro da textura e estrutura originais (Yardley, 1994).

A deformação durante o metamorfismo pode ocorrer de maneira rúptil (ou frágil) ou dúctil (ou plástica). A deformação rúptil se caracteriza pela mudança de forma devido à formação de fraturas que afetam tanto a rocha como um todo como os minerais que a compõem. Este tipo de deformação é mais comum em ambientes mais rasos, sujeitos a altos esforços e baixas temperaturas, abaixo do campo de plasticidade da maioria dos minerais, mas não é raro encontrar este comportamento em rochas de alto grau. A deformação dúctil ocorre quando a rocha e seus minerais absorvem a deformação por deslocamentos intracristalino ou por deformação intracristalina que muda a forma dos grãos individuais (Yardley, 1994)., sendo muito comum em metamorfismos de mais alto grau.

Os efeitos da deformação podem variar significativamente, dependendo da mineralogia e da granulometria das rochas envolvidas, da temperatura, da disponibilidade de fluídos, da taxa de deformação e da textura preexistente. Dentre estes efeitos estão: a produção de estruturas tectônicas tais como a foliação e a lineação mineral e a recristalização de minerais em resposta à deformação. Há

também a possibilidade da interação entre as reações metamórficas e os processos de deformação. Este fenômeno é visível quando ocorre o crescimento de um mineral que se alinha ou deforma acompanhando a xistosidade. As texturas mais comuns nas rochas metamórficas deformadas são: clivagem, xistosidade e lineações minerais. Todas estas estruturas refletem-se no alinhamento dos grãos minerais constituintes, segundo orientações preferenciais particulares. A xistosidade é caracterizada pelo alinhamento paralelo de grãos moderadamente grossos usualmente visíveis a olho nu, formando um plano de fraqueza na rocha. A clivagem é muito similar a xistosidade, variando a granulometria dos minerais que são muito finos para serem vistos a olho nu, formando finos planos de fraqueza que se ressaltam no intemperismo. A lineação ocorre quando os minerais alongados podem se alinhar paralelos ao seu maior eixo, produzindo uma estrutura linear orientada na direção do estiramento. As orientações preferenciais podem se desenvolver como resultado de (Yardley, 1994):

- a) rotação física de grãos originalmente assimétricos para novas orientações, usualmente acompanhada por deslizamento ao longo de limites de grãos, ou por solução por pressão para acomodar a modificação em suas orientações;
- b) recristalização ou cristalização de minerais para formar novos grãos, que crescem diretamente segundo uma orientação preferencial;
- c) mudança da forma dos grãos para uma forma assimétrica nova, alinhada.

Outro mecanismo comum em rochas metamórficas é a formação de bandamentos, usualmente paralelo à xistosidade, causado pela segregação de minerais. Por exemplo: bandas ricas em quartzo e feldspato podem alternar-se com bandas ricas em micas. Este fenômeno é mais conhecido em rochas de alto grau como gnaisses e granulitos, mas não é difícil de ser visto em graus mais baixos, principalmente quando a deformação é mais intensa (Yardley, 1994).

Todos estes processos tendem a reorientar os grãos originais da rocha para novas direções segundo as direções dos esforços, dando uma nova aparência a rocha. Deste modo uma rocha isomórfica pode se tornar bandada, foliada ou possuir lineações devido a reorientação dos seus minerais. Isto afeta todos os minerais, inclusive os magnéticos, que terão seus eixos minerais e/ou magnéticos reorientados seja pela reorientação espacial do mineral ou pela reorientação dos seus eixos preferenciais magnéticos devido a recristalização (Dunlop & Özdemir, 1997) Esta reorientação afetará o comportamento magnético da rocha, principalmente na anisotropia de suscetibilidade magnética, gerando foliações e lineações magnéticas diferentes daquelas originais à rocha.

9.2 Anisotropia de suscetibilidade magnética em rochas metamórficas

Nas rochas metamórficas a anisotropia pode ser muito pronunciada: lineação, foliação, xistosidade e bandamento são resultado da deformação plástica ou da recristalização dos minerais sob tensões direcionais. A relação qualitativa entre anisotropia e deformação não é simples, podendo ocorrer de maneira insipiente ou muito forte, dependendo de qual mineralogia acomoda a deformação (não magnética ou magnética). A anisotropia de suscetibilidade magnética (**ASM**) é muito usada e pode estar bem marcada em rochas que contenham lineação ou foliação. Para os minerais fortemente magnéticos como magnetita, titanomagnetita ou titanoguemita, a **ASM** geralmente reflete o alinhamento preferencial (de forma linear ou planar) dos eixos maiores dos grãos. Quando a alongação média do grão monodomínio é prolato, pode ocorrer um forte favorecimento de magnetização paralela para o eixo maior. Neste caso a suscetibilidade deverá ser máxima nesta direção para grãos multidomínio (**MD**), mas mínima para os grãos monodomínio (**SD**) significando que a suscetibilidade é máxima, perpendicular ao seu maior eixo.

Isto afeta a interpretação dos resultados obtidos por **ASM**, se os minerais magnéticos forem **MD** a anisotropia apontará o eixo maior dos grãos e por consequência uma possível lineação, enquanto que se forem **SD** a anisotropia terá a resposta rotada de 90° indicando o eixo menor. A hematita tende a ocorrer como cristais planares com um encurtamento no eixo-c e um plano basal alongado, que coincide com o plano de fácil magnetização. O alinhamento destas plaquetas nos planos de foliação devido a rotação durante a deformação ou por recristalização resulta em uma anisotropia planar (oblata). Na hematita a anisotropia magnética é controlada pela estrutura cristalina (anisotropia magnetocristalina). Tanto a suscetibilidade como a remanência são fortemente reduzidas perpendicularmente à foliação. A figura 9.1 mostra um exemplo de como dados ASM podem estimar a petrotrama e paleotensão de uma rocha metamórfica (Dunlop & Özdemir, 1997).

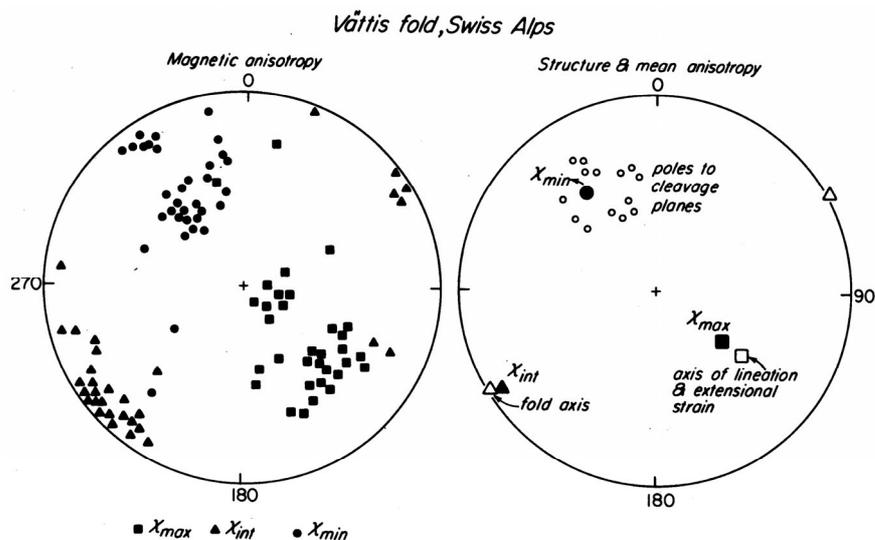


Figura 9.1 – Anisotropia de suscetibilidade magnética (ASM) para rochas alpinas dobradas e deformadas. A direção de suscetibilidade máxima está na direção da lineação da petrotrama, enquanto que a suscetibilidade mínima é medida perpendicular ao plano de foliação (pólo do plano). Modificado de Dunlop & Özdemir (1997).

Um exemplo de atuação do aumento do nível metamórfico na **ASM** é explicado por Tauxe (2002), onde são rerepresentados os dados de **ASM** medidos por House et al. (1995) em rochas metamórficas de três graus progressivos: protólito, milonito e ultra-milonito, (fig. 9.2). No estereograma referente ao protólito

(fig. 9.2 a, b) pode-se notar uma distribuição de pontos com agrupamento muito pobre, indicando uma forma oblata para a **ASM**. Com o aumento do grau de metamorfismo para milonito, os pontos começam a se agrupar tomando uma forma mais prolata (fig. 9.2 d, e), agora com D_{max} mais paralelo para a lineação regional. Com o aumento do grau de metamorfismo o grau de anisotropia aumenta tomando uma forma mais triaxial (fig. 9.2 g, e). Este exemplo mostra claramente que em certos casos, o metamorfismo pode afetar a anisotropia de suscetibilidade magnética, aumentando o grau de anisotropia e conseqüentemente melhor definindo os elementos estruturais (lineação e foliação).

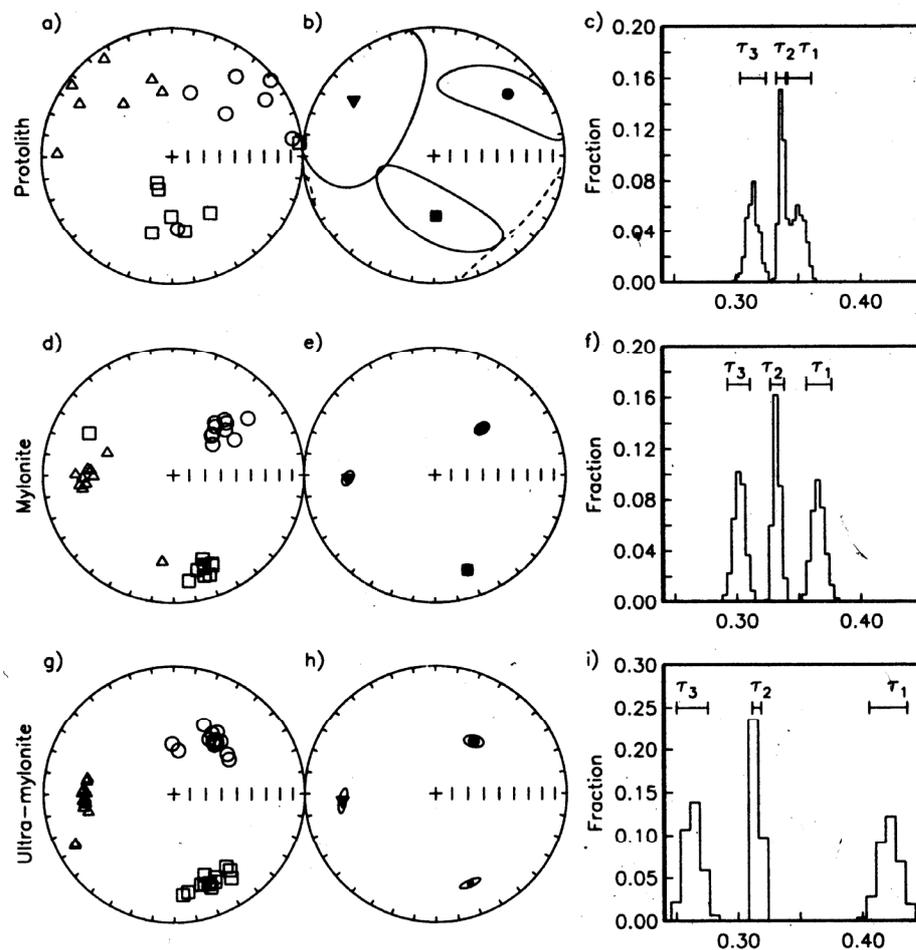


Figura 9.2 – Dados de **ASM** para incremento de milonitização. a) plotagem em estereograma de projeção de igual área dos vetores obtidos de amostras do protolito. D_{max} = quadrados, D_{interm} = triângulos e D_{min} = círculos. b) elipses de 95% de confiança derivados do método de *bootstrap*. c) Histograma dos valores dos vetores (τ). d-f) igual como a-c) para as amostras dos milonitos. g-h) mesmo como a-c) para as amostras dos ultramilonitos. Modificado de Tauxe (2002), com dados replotados de House et al. (1995).

9.3 Dados de anisotropia de suscetibilidade magnética medidos

Tratamento estatístico

O elipsóide de **ASM** médio para cada sítio é calculado a partir do conjunto de n espécimes correspondente. O tensor médio $[K]$ para cada sítio é obtido a partir da média dos tensores de anisotropia dos n espécimens:

$$[K] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [k]_i \quad 9.1$$

onde $[k]_i$ ($i = 1, \dots, n$) são os tensores relativos a cada espécimen normalizados em função de sua suscetibilidade média (K_m). Os eixos principais K_{\max} , K_{int} e K_{\min} , onde $K_{\max} \geq K_{\text{int}} \geq K_{\min}$, para o sítio corresponde aos autovetores e autovalores do tensor $[K]$.

Para a estimativa dos erros associados a cada eixo principal do tensor médio foi aplicado o método de Hext-Jélinek (Hext, 1963; Jélinek, 1978). Neste método os erros são estimados utilizando o teste estatístico T^2 (análogo bidimensional do clássico teste estatístico *t-student*). Este procedimento presume que as incertezas associadas aos dados são pequenas, apresentam média nula e distribuição normal. Para a obtenção destes valores foi utilizado o programa APLOT12, desenvolvido por Lienert (1991). Os dados de K_{\max} e K_{\min} , assim como o K médio (K_m), todos os valores estatísticos e os erros, representados pelos semieixos maior e menor (e_1/e_2) da elipse de incerteza estão apresentados na tabela 9.1.

Como controle de qualidade dos dados, foi considerado um valor mínimo para o valor do semieixo menor (e_2) de 30° . Analisando os valores de e_2 apresentados na tabela, pode-se notar que para o K_{\max} existem apenas dois sítios com valores entre 10° e 20° , o restante possui valores menores que 10° . Para K_{\min} o

valor mais alto é 8°. Isto indica que a grande maioria das direções encontradas para **ASM** têm bom agrupamento.

Tabela 9.1 Dados de anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM)

Sítio	N	Localização		Dados escalares de ASM					Dados direcionais de ASM					
		Long	Lat	Km (10 ⁻³ SI)	L	F	P	T	K _{max}		erro e1/e2	K _{min}		erro e1/e2
									Dec	Inc		Dec	Inc	
Seqüência Vulcano-sedimentar Palmeirópolis														
4	26	-48,301876	-13,055235	51,50	1,014	1,092	1,108	0,727	230,1	0,4	12:2	320,6	51,6	4:1
8	5	-48,189431	-13,059174	15,19	1,028	1,076	1,106	0,452	12,4	29,8	21:20	260,3	33,3	21:8
15	12	-48,253283	-13,332561	72,58	1,028	1,095	1,126	0,533	353,2	35,0	9:5	107,8	30,7	8:3
Complexo Cana Brava														
12	29	-48,229789	-13,352116	39,53	1,011	1,007	1,018	-0,221	351,5	36,3	11:4	220,4	41,5	16:4
13	22	-48,227752	-13,353721	83,00	1,006	1,010	1,015	0,249	333,3	29,3	12:7	75,2	20,1	8:4
16	28	-48,296712	-13,469183	108,31	1,056	1,132	1,201	0,389	168,5	69,5	11:6	326,2	19,1	7:6
17	12	-48,290518	-13,470760	52,83	1,007	1,028	1,036	0,597	238,0	24,9	16:4	356,8	46,1	5:4
18	12	-48,286094	-13,474237	102,03	1,019	1,035	1,054	0,293	352,9	8,5	24:12	257,2	33,6	23:5
19	39	-48,177089	-13,316390	51,64	1,013	1,022	1,036	0,255	13,7	19,2	13:2	104,9	3,5	4:2
20	40	-48,185382	-13,319239	82,56	1,035	1,025	1,060	-0,164	2,4	20,2	9:2	95,6	6,5	4:1
Complexo Niquelândia														
21	34	-48,350276	-14,215660	78,23	1,018	1,033	1,052	0,291	57,5	53,3	12:8	319,5	5,9	15:8
22	24	-48,354171	-14,217101	71,86	1,032	1,029	1,062	-0,048	300,5	48,8	8:2	115,1	41,1	6:2
24	23	-48,370684	-14,221696	1412,72	1,067	1,018	1,086	-0,569	198,2	25,8	3:2	88,8	34,6	17:2
25	34	-48,393001	-14,384059	185,05	1,071	1,048	1,122	-0,188	220,9	4,6	2:1	128,8	24,6	9:1
26	17	-48,575652	-14,393135	68,05	1,005	1,178	1,186	0,941	203,4	27,5	46:2	83,5	43,8	3:2
28	15	-48,568920	-14,393287	60,26	1,016	1,053	1,070	0,530	223,3	53,4	22:10	44,4	36,5	18:7
30	11	-48,560824	-14,271272	51,12	1,019	1,167	1,189	0,783	300,4	82,3	7:3	121,7	7,7	4:2
31	16	-48,557707	-14,273452	73,77	1,021	1,147	1,171	0,737	317,8	72,9	6:2	125,3	16,7	2:1
32	29	-48,550427	-14,280400	59,53	1,030	1,015	1,046	-0,330	31,3	10,6	8:4	142,7	62,9	12:7
34	20	-48,446292	-14,210783	169,37	1,215	1,155	1,403	-0,149	57,8	57,0	3:1	170,1	13,8	14:1

Nota: N = numero de espécimes medido; Long = longitude; Lat = latitude; Km = susceptibilidade magnética média $(K_{max} + K_{min} + K_{int})/3$; L = lineação (K_{max}/K_{min}); F = foliação (K_{int}/K_{min}); P = grau de anisotropia (k_{max}/k_{min}); T = $(\ln F - \ln L)/(\ln F + \ln L)$ parâmetro de Jélinek (1981), Dec = declinação; Inc = inclinação; e1/e2 = semi-eixos menor/maior das elipses de 95% de confiança estimadas pelo método de Hext-Jélinek (Jélinek, 1978).

9.4 A trama magnética do Complexo Cana Brava

Dados escalares

Dentro deste complexo foram coletadas amostras em 10 sítios, sendo 3 dentro da seqüência vulcano-sedimentar e 7 dentro do complexo acamadado Cana Brava (tab. 9.1). Analisando os valores de P (grau de anisotropia) para a seqüência vulcano-sedimentar pode-se ver que os valores oscilam entre 1,106 e 1,126 e para as rochas acamadadas de Cana Brava os valores são mais baixos, entre 1,015 e 1,060, com apenas um valor de 1,201, indicando que o complexo possui um baixo

grau de anisotropia. Para verificar se o grau de anisotropia está correlacionado com o valor de suscetibilidade média, utilizou-se o diagrama P-Km (fig. 9.3).

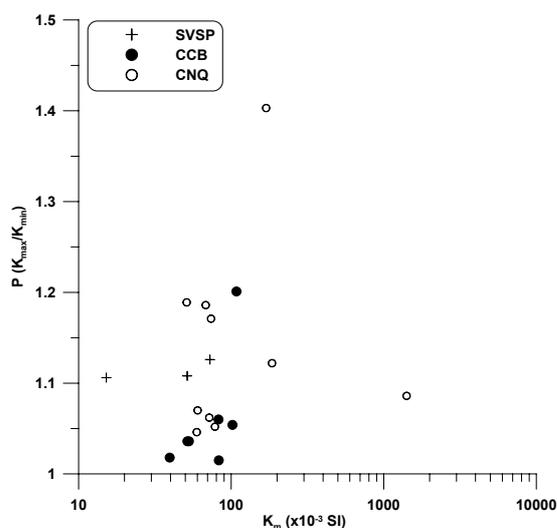


Figura 9.3 – Diagrama P-Km de correlação entre o grau de anisotropia (P) e a suscetibilidade média para todos os sítios. Cruzes = Sequência Vulcano-Sedimentar Palmeiropolis, círculos cheios = rochas acamadadas do Complexo Cana Brava, e círculos vazios = rochas acamadadas do Complexo Niquelândia.

Analisando os pontos referentes ao Complexo Cana Brava (**SVSP + CCB**, cruces e círculos cheios, respectivamente), pode-se notar que existe uma fraca correlação entre os dois parâmetros. Nota-se, para as rochas acamadadas do Complexo Cana Brava, que existe uma variação em P para valores parecidos de Km, que pode estar relacionado com o grau variado de deformação dessas rochas.

Para verificar se existe uma correlação entre o grau e a forma do elipsóide de anisotropia utilizou-se do diagrama P-T de Jélinek (1981, fig. 9.4). Este gráfico separa os elipsóides em duas categorias: oblatos (ou disco onde $K_{max} \cong K_{int} > K_{min}$) e prolatos (ou charuto onde $K_{max} > K_{int} \cong K_{min}$), não sendo eficiente para identificar os triaxiais ($K_{max} \neq K_{int} \neq K_{min}$). Uma análise preliminar mostra uma predominância de elipsóides oblatos no Complexo Cana Brava, sem haver uma correlação direta com o parâmetro P. Para obter a forma real dos elipsóides de anisotropia magnética utilizou-se de gráficos de projeção estereográfica (fig. 9.5 e 9.6).

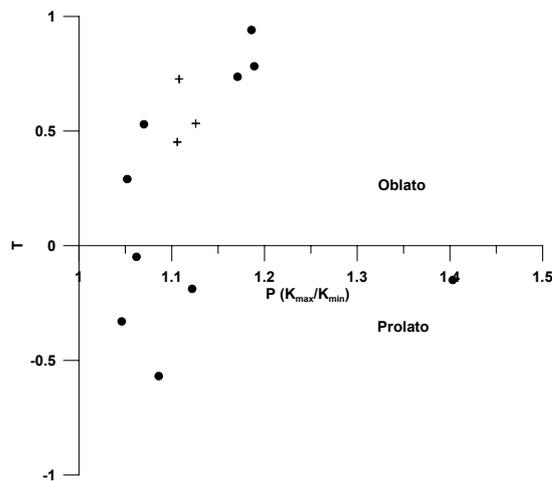


Figura 9.4 – Diagrama T-P (Jélinek, 1981) para as rochas da Seqüência Vulcano-Sedimentar Palmeirópolis (cruzes) e as rochas acamadas do Complexo Cana Brava (círculos cheios).

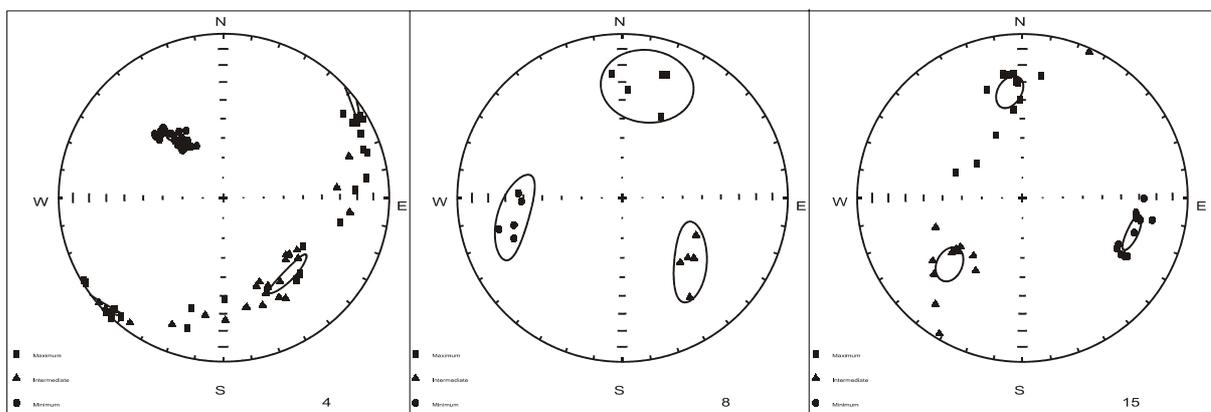


Figura 9.5 – Diagrama estereográfico dos eixos K_{max} (quadrado); K_{int} (triângulo) e K_{min} (círculo) dos elipsóides de anisotropia magnética das rochas da Seqüência Vulcano-Sedimentar Palmeirópolis, obtido pelo programa APLOTT2, desenvolvido por Lienert (1991).

Comparando os digramas referentes aos sítios da seqüência vulcano-sedimentar (fig. 9.4) com o da figura 4.18 pode-se ver que o sítio 4 apresenta uma forma oblata, enquanto que o sítio 8 é triaxial e o 15 se parece com um triaxial levemente achatado. Comparando os diagramas referentes aos sítios das rochas acamadas do Complexo Cana Brava (fig. 9.6) com o diagrama da figura 4.18 pode-se ver que o sítio 12 é pouco anisotrópico com os seus eixos espalhados no diagrama. Os sítios 13, 16, 17, 18, e 20 são triaxiais com graus variados de dispersão, mas cada eixo tem uma posição espacial definida. O sítio 19 é o único que apresenta uma forma oblata. Analisando todos os diagramas pode-se notar que aqueles que representam elipsóides triaxiais possuem eixos bem definidos, com os pontos referentes a cada eixo bem agrupados em determinadas áreas do gráfico.

Mesmo quando há um certo grau de dispersão há pouca intersecção nos pontos referentes aos eixos de cada amostra.

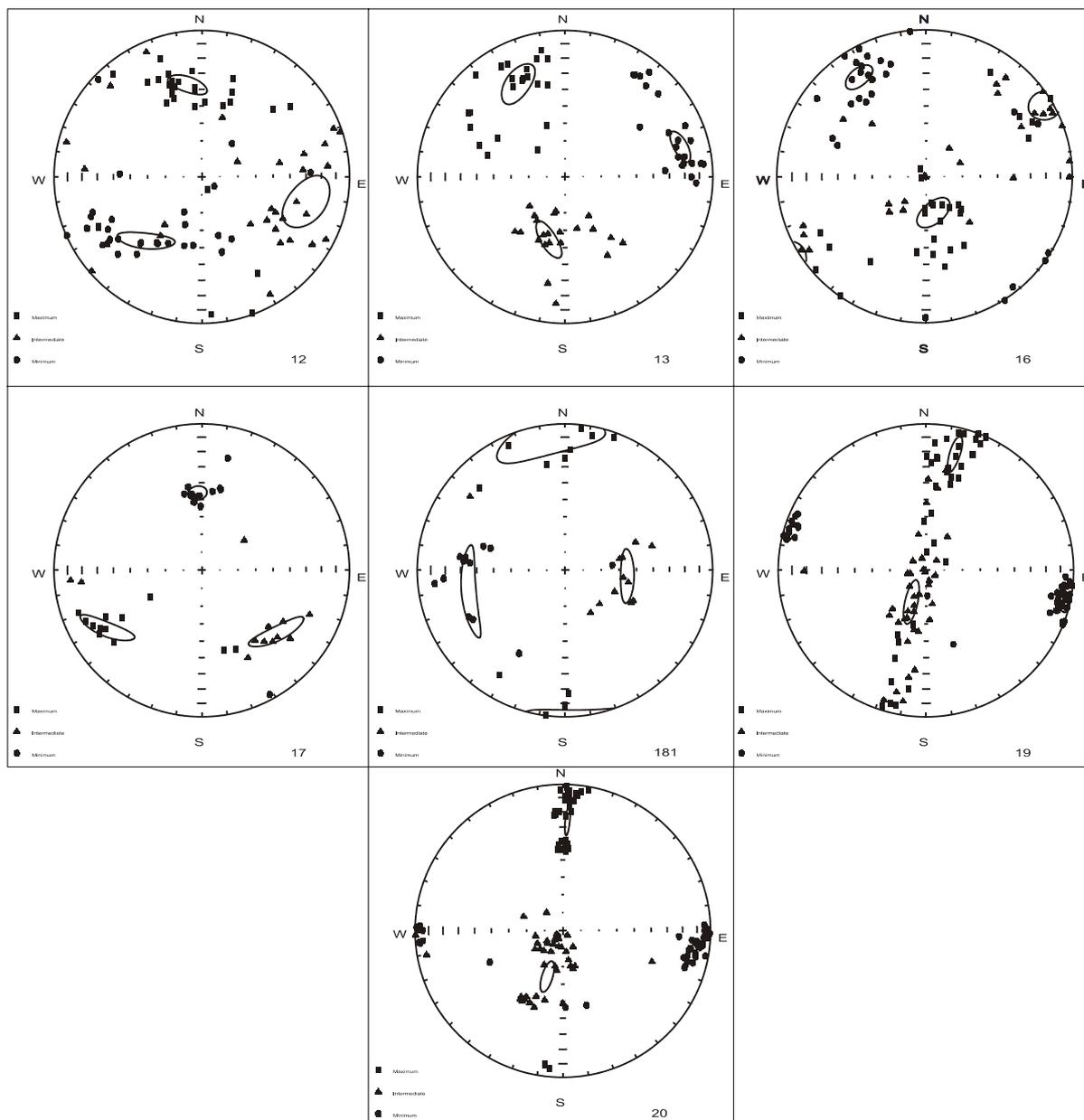


Figura 9.6 – Diagrama estereográfico dos eixos K_{max} (quadrado); K_{int} (triângulo) e K_{mim} (círculo) dos elipsóides de anisotropia magnética das rochas acamadadas do Complexo Cana Brava, obtido pelo programa APLLOT12, desenvolvido por Lienert (1991).

Dados Direcionais

Analisando as direções e mergulhos das lineações magnéticas (fig. 9.7, esquerda) pode-se ver que existe uma certa predominância de direções norte-sul com mergulhos baixos, tanto na seqüência vulcano-sedimentar como nas rochas acamadadas. Apenas uma lineação na borda oeste do complexo apresenta uma forte inclinação (sítio 16). Analisando as direções das foliações magnéticas

encontradas pode-se ver a maioria das direções é coerente e guarda estreita relação com os limites das camadas internas, principalmente na metade sul das rochas acamadas e na borda leste da seqüência vulcano-sedimentar. Ao norte parece não haver um padrão definido. Quanto aos mergulhos parece haver um aumento do valor das bordas para o centro do corpo nas rochas acamadas, como evidenciado pelos baixos valores na borda leste da porção norte e valores mais altos próximo da borda oeste na mesma região. Os mergulhos nos sítios da porção norte apresentam o mesmo padrão irregular vistos na direção da foliação e mergulho e direção da lineação. Estas foliações estão paralelas com as foliações metamórficas medidas em campo.

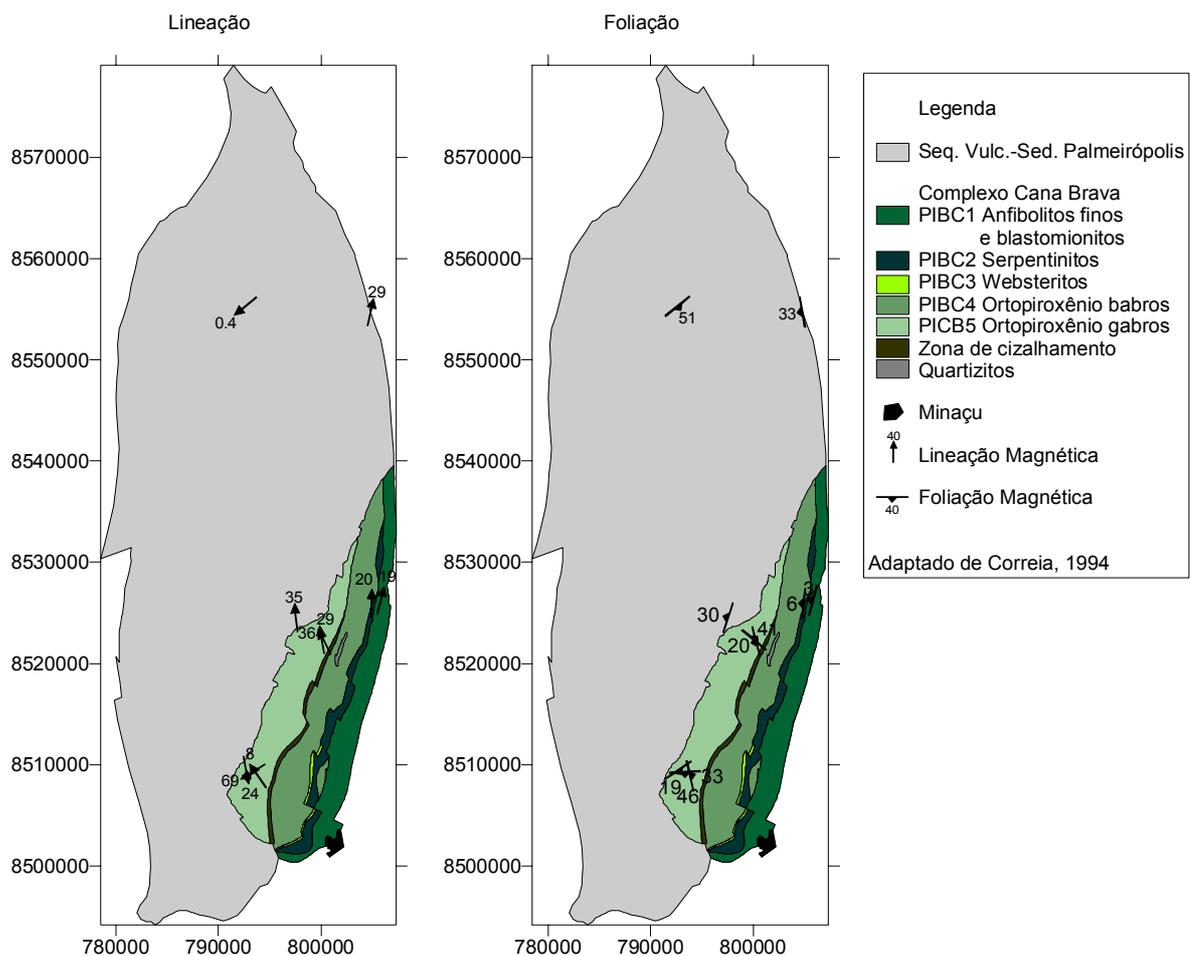


Figura 9.7 – Mapa do padrão de trama magnética no Complexo Cana Brava com as foliações (paralelo a K_{max}) e lineações (paralelo a K_{min}) magnéticas obtidas das medidas de **ASM**.

9.5 A trama magnética do Complexo Niquelândia

Dados escalares

Dentro deste complexo foram aproveitados amostras de 10 sítios, todas dentro do complexo acamadado Niquelândia (tab. 9.1). Analisando os valores de P (grau de anisotropia) pode-se ver que os valores oscilam entre 1,046 e 1,186 e existe apenas um valor de 1,403, indicando que o complexo possui um grau de anisotropia baixo, mas maior do que o Complexo Cana Brava. Para verificar se o grau de anisotropia está correlacionado com o valor de suscetibilidade média, utilizou-se o diagrama P-Km (fig. 9.3). Analisando os pontos referentes ao Complexo Niquelândia (círculos vazios) pode-se observar que não existe uma correlação direta entre os dois parâmetros, mas a existência de vários valores de P para uma faixa estreita de Km indica a possibilidade de haver vários graus de deformação nas rochas.

Para verificar se existe uma correlação entre o grau e a forma do elipsóide de anisotropia utilizou-se do diagrama P-T de Jélinek (1981, fig. 9.8). Uma análise preliminar mostra quantidades iguais de elipsóides oblatos e prolatos nas rochas deste complexo, sem haver uma correlação direta com o parâmetro P. Para obter a forma real dos elipsóides de anisotropia magnética utilizou-se de gráficos de projeção estereográficos (fig. 9.9).

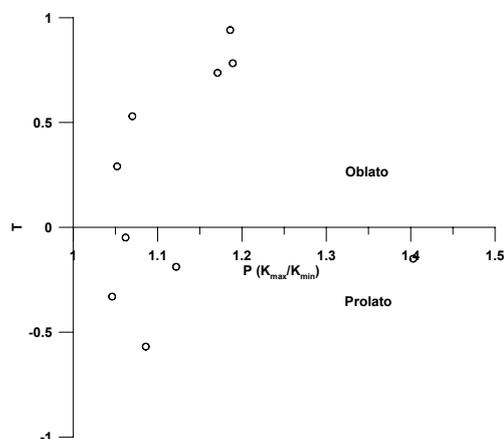


Figura 9.8 – Diagrama TxP (Jélinek, 1981) para as rochas da Seqüência Vulcano sedimentar (cruzes) e as rochas acamadadas do Complexo Niquelândia (círculos vazios).

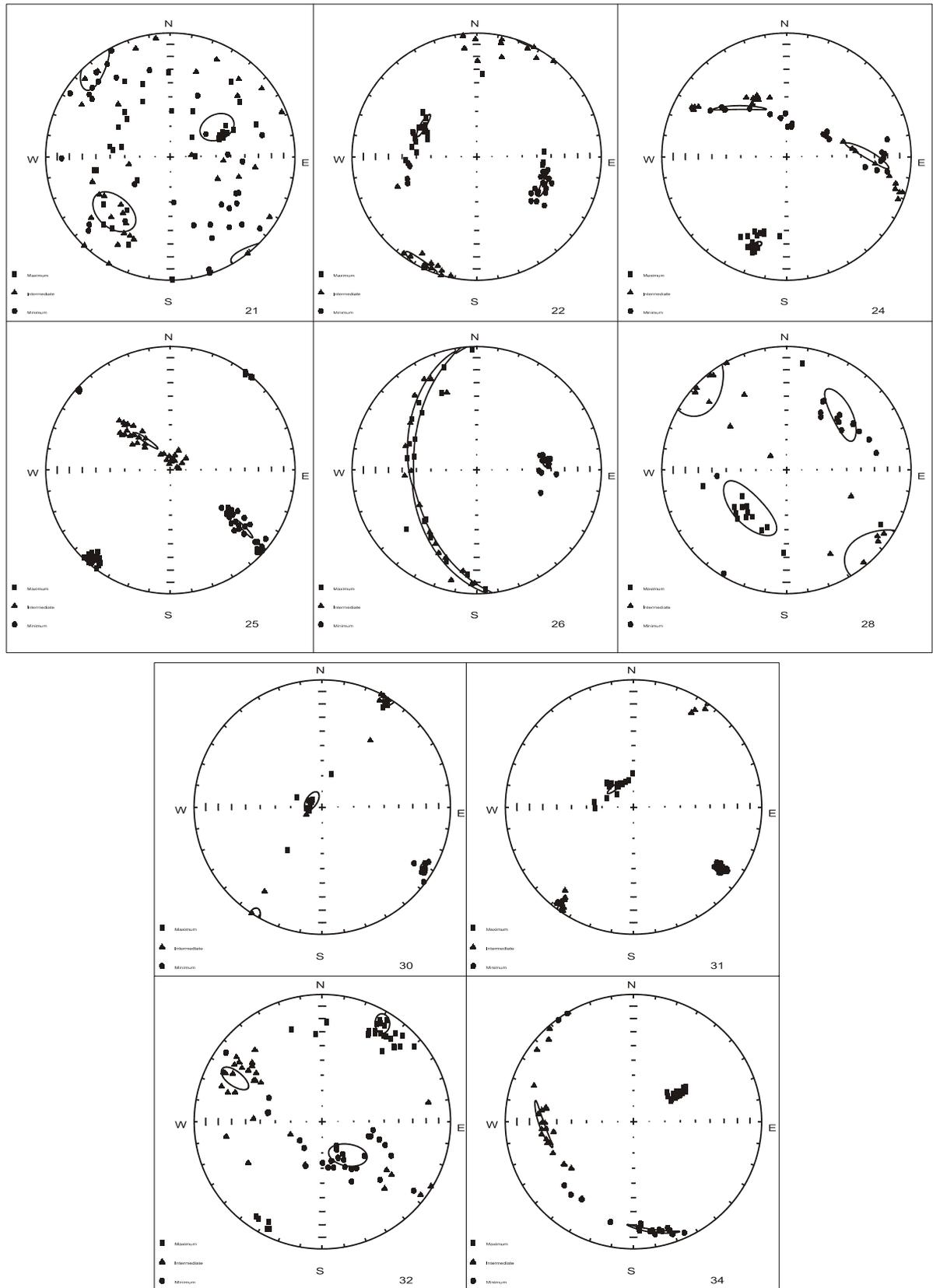


Figura 9.9 – Diagrama estereográfico dos eixos K_{\max} (quadrado); K_{int} (triângulo) e K_{mim} (círculo) dos elipsóides de anisotropia magnética das rochas acamadas do Complexo Niquelândia, obtido pelo programa APLLOT12, desenvolvido por Lienert (1991).

Comparando os digramas referentes aos sítios deste complexo (fig. 9.9) com o da figura 4.18 pode-se ver que o sítio 21 apresenta baixa anisotropia, havendo certa dispersão nos eixos de suscetibilidade magnética, seis sítios apresentam uma forma triaxial com graus variados de dispersão (sítios 22, 25, 28, 30, 31, e 32), dois sítios tem forma prolata (sítios 24 e 34) e um sítio tem forma oblata (sítio 26).

Dados Direcionais

Analisando as direções das lineações magnéticas (fig. 9.10, esquerda) pode-se ver que as direções são predominantemente sudoeste, de baixa inclinação, com alguns dados na porção oeste de complexo apresentando inclinações fortes para noroeste. Analisando as direções das foliações magnéticas encontradas pode-se ver que elas são semiparalelas entre si e aos limites das camadas internas, principalmente na metade norte das rochas acamadas e na borda oeste da seqüência vulcano-sedimentar próximo a cidade de Indaianópolis, com mergulho para oeste. Quanto aos mergulhos não parece haver relação dos valores com a posição geográfica, como acontece no Complexo Cana Brava. As direções das foliações magnéticas estão concordantes a semiconcordantes com as foliações metamórficas medidas em campo, como pode ser visto na região sul com direção noroeste e na região sudeste e oeste (limite com a seqüência vulcano-sedimentar).

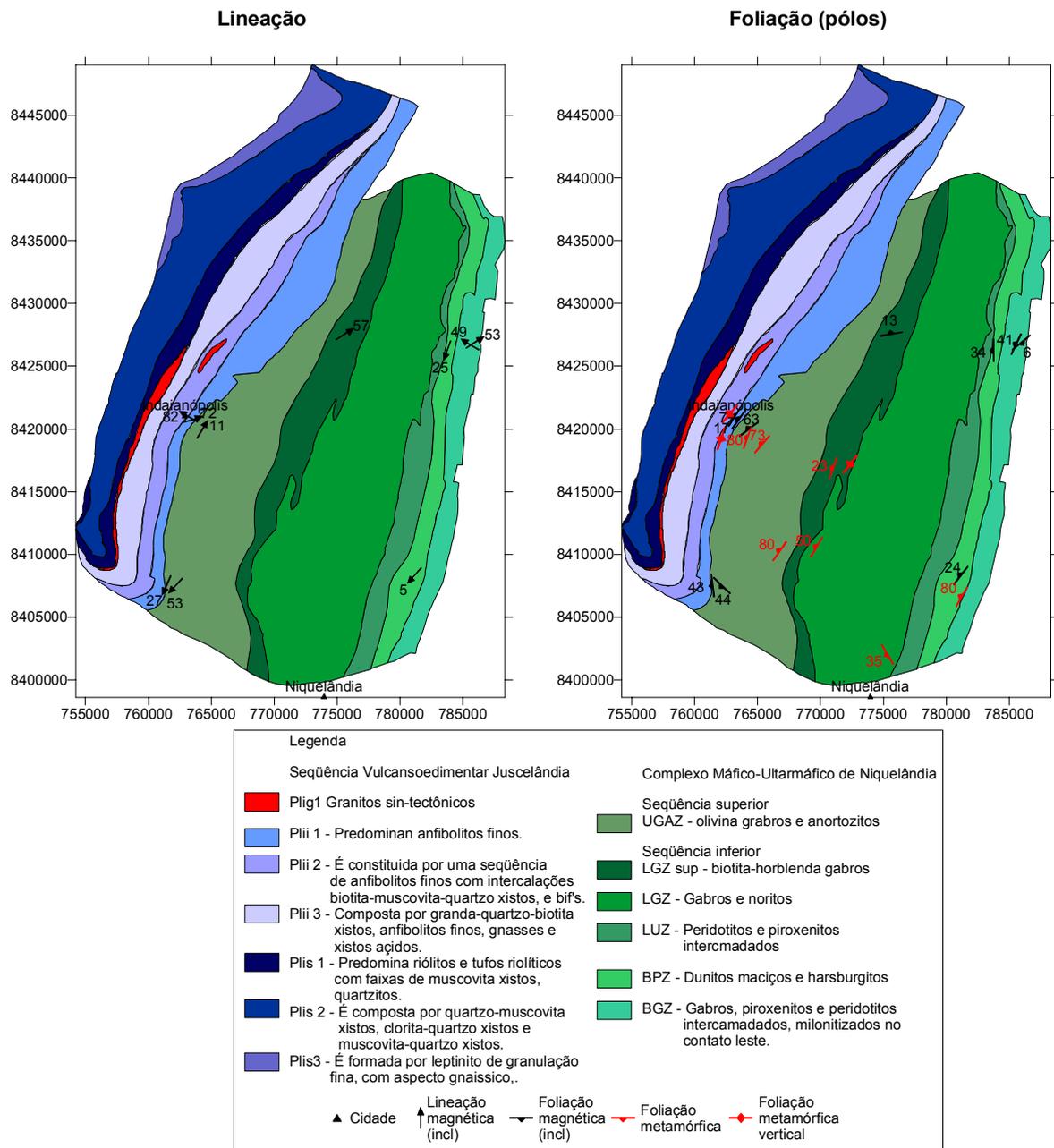


Figura 9.10 - Mapa do padrão de trama magnética no Complexo Niquelândia com as foliações (paralelo a K_{max}) e lineações (paralelo a K_{min}) magnéticas obtidas das medidas de **ASM** e medidas de foliação metamórficas (cedidas pelo Prof. Ciro Teixeira Correia, IGC-USP).

9.6 Discussão

Analisando o gráfico P-Km (fig. 9.3), pode-se notar que os pontos referentes aos sítios dos complexos Cana Brava e Niquelândia se agrupam em um valor médio de Km mas variam de valor para P, uma interpretação para esta ocorrência é que as diferentes rochas amostradas possuam diferentes graus de deformação. Esta interpretação é válida, como visto no experimento apresentado por

Tauxe (2002, fig. 9.2), onde os dados de ASM mostram um aumento do grau de anisotropia com o aumento do grau metamórfico que pode ser acompanhado pelo aumento do grau de deformação da rocha. Como a deformação pode não ser homogênea dentro de um mesmo corpo que sofre um certo grau de metamorfismo, algumas regiões podem sofrer um maior grau de deformação e deste modo variar o grau de **ASM** (P) mesmo que os minerais magnéticos possuam o mesmo valor de suscetibilidade.

Analisando os gráficos TxP dos dois complexos (figs. 9.4 e 9.8) pode-se notar que os elipsóides são classificados principalmente como oblatos (13 sítios) e menos da metade como prolatos (10 sítios). Isto indica uma melhor definição de foliação magnética, que no caso estudado é sistematicamente paralela a foliação metamórfica. Mesmo assim, pode-se diferenciar na maioria dos sítios uma lineação bem definida que serve como indicador estrutural.

Analisando as lineações magnéticas dos dois complexos (figs. 9.7 e 9.10, à esquerda) pode-se notar que elas possuem coerência interna entre os dois complexos. A lineação no Complexo Cana Brava aponta preferencialmente para norte enquanto que no Complexo Niquelândia ela aponta preferencialmente para sul-sudoeste. Analisando as foliações dos dois complexos (figs. 9.7 e 9.10, à direita) pode-se notar que as direções são preferencialmente paralelas a subparalelas entre si, entre os limites das camadas e entre as direções das foliações metamórficas (Complexo Niquelândia).

Os dados de trama magnética interna dos complexo Cana Brava e Niquelândia sugerem que a sua estruturação foi gerada em um mesmo evento. Uma possibilidade é que durante esse processo, tenha havido uma separação por *boudinagem*, com a ruptura e afastamento relativo entre os complexos que formariam um corpo maior. No estágio inicial os três blocos estariam muito próximos

ou formando um corpo único (fig. 9.11a). Esforços compressivos aplicados na direção leste-oeste e o contraste reológico entre as rochas do complexo e o envoltório vulcano-sedimentar permitiriam a formação desses mega-*boudans* (fig. 9.11b e 9.11c). As diferenças nas direções encontradas na região sul do Cana Brava e norte do Niquelândia podem estar relacionadas à rotação relativa entre os dois complexos. A falta de mais dados no Complexo Barro Alto, principalmente no seu braço norte-sul, e na região sul do Complexo Cana Brava faz com que este modelo necessite de mais dados para ser testado. O complemento destas regiões, com mais dados de lineação **ASM**, pode reforçar ou refutar este modelo de estiramento e separação dos três complexos e apontar para pequenas rotações locais, relativas entre cada um dos complexos, ou ainda, como teria sido a deformação interna do Complexo Barro Alto para a sua atual forma de “boomerangue”.

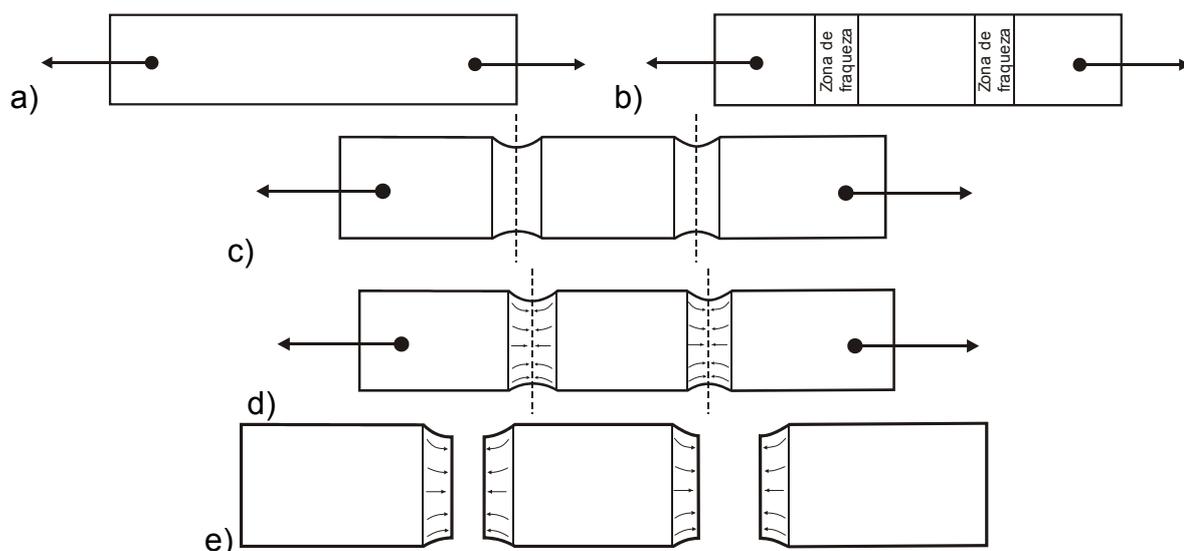


Figura 9.11 – Possível modelo de desenvolvimento de separação dos complexos Cana Brava, Niquelândia e Barro Alto por *boudinagem*. a) início dos esforços distensivos atuando nas pontas do corpo. b) existência ou formação de uma zona de fraqueza perpendicular a direção dos esforços. c) absorção da deformação pela zona de fraqueza. d) representação das direções e sentidos das forças relativas a cada face dos blocos. e) separação final dos três blocos mostrando o possível registro da lineação de ASM.

O modelo proposto concorda também com a forma diferenciada encontrada nos modelos gravimétricos 2 ½ D e 3D. Os complexos Cana Brava e Barro Alto possuem uma forma aproximada de um prisma triangular, com uma geometria cuneiforme transversal ao seu eixo maior, e espessuras com

relativamente pouca variação. O complexo Niquelândia possui espessuras que variam em relação ao seu centro geométrico aflorante, a espessura máxima se situa próxima ao seu centro e diminui para as bordas leste-oeste e norte-sul. Isto seria compatível como modelo de *boudins* para estes complexos, onde as espessuras nas extremidades do bloco central variariam tridimensionalmente, diminuindo para a zona de deformação e separação.