

LINEAMENTOS EM IMAGENS DE SENSORES REMOTOS E SEU SIGNIFICADO ESTRUTURAL NOS TERRENOS GRANITO-GREENSTONE BELT DE CRIXÁS (GO)

CLÁUDIA LIMA DE QUEIROZ^{1,2}, PAULO ROBERTO MENESES³ & HARDY JOST⁴

ABSTRACT REMOTE SENSING IMAGE LINEAMENTS AND THEIR STRUCTURAL SIGNIFICANCE IN THE CRIXÁS GRANITE-GREENSTONE BELT TERRANE (GO) This paper presents the results of the interpretation of lineaments from three different remote sensing images (SLAR-GEMS 1000, TM-LANDSAT and SAR-JERS-1) applied to the Crixás granite-greenstone belt terrane, Central Brazil. Two main lineament systems are identified. One is a N30°W-N30°E pair interpreted as related to a Palaeoproterozoic deformation. The other is a N50°W-N70°E pair that cuts the former and is interpreted as related to a Neoproterozoic deformation (Brasiliano Cycle). The images from different sensors provides a more complete observation of relief patterns and associated structures and a better framework of the regional lineament geometry, but their kinematics is only provided by data from outcrops.

Keywords: Lineaments, structural geology, images, greenstone belts, Goiás

RESUMO Este artigo apresenta os resultados da interpretação de lineamentos a partir de três diferentes imagens de sensores remotos (SLAR-GEMS 1000, TM-LANDSAT 5 e SAR-JERS-1) aplicada aos terrenos granito-greenstone belt de Crixás, Goiás. Dois pares principais de sistemas de lineamentos foram identificados. Um compreende um par N30°W-N30°E e é interpretado como uma deformação paleoproterozóica e, outro, um par N50°W-N70°E que corta o anterior e interpretado como uma deformação neoproterozóica. A análise de imagens de sensores diferentes propicia uma observação mais completa dos padrões de relevo e estruturas associadas e um melhor arcabouço geométrico dos lineamentos, mas cuja cinemática depende de dados de campo.

Palavras-chave: Lineamentos, geologia estrutural, imagens, greenstone belt, Goiás

INTRODUÇÃO Os terrenos granito-greenstone belt arqueanos de Crixás localizam-se na região norte-noroeste do Estado de Goiás. Os depósitos de ouro, inicialmente explorados pelos Bandeirantes, transformaram a região em importante distrito mineiro e, a partir dos meados da década de 80 passou a ser alvo de diversos estudos sobre a geoquímica, estratigrafia e geologia econômica, mas investigações detalhadas sobre geologia estrutural iniciaram apenas na década de 90.

Fisiograficamente a área se localiza no limite entre o Planalto do Alto Tocantins – Paranaíba e a Depressão do Araguaia. Em geral, os terrenos arqueanos se sobressaem na paisagem regional, pois os greenstone belts sustentam serras em cristas paralelas, alinhadas segundo NS a NW-SE, subsidiariamente, formas tabulares e convexas (Brasil 1981) ou conformam, localmente, depressões. Por outro lado, os terrenos granito-gnáissicos definem, genericamente, depressões, localmente serras. Ambos declinam de altitude em para norte e oeste, em direção à Depressão do Araguaia.

A forma e o comportamento espacial dos elementos morfoestruturais de relevo (EMR) observáveis em imagens de sensores remotos, pelo seu caráter sinóptico, são atributos valiosos na pesquisa de grandes traços estruturais. Contudo, o entendimento da sua cinemática claramente depende de informações de campo.

A análise de EMR nos terrenos granito-greenstone belt de Crixás realizou-se antes dos trabalhos de campo, possibilitando o reconhecimento da geometria regional dos traços estruturais, antes da cinemática local. O presente trabalho mostra que o emprego de diversos tipos de sensores na análise de EMR aumenta a confiabilidade da interpretação geométrica de lineamentos de natureza e direção distintas.

GEOLOGIA LOCAL Os terrenos arqueanos da região de Crixás compreendem uma parte do Maciço de Goiás, Província Tocantins (Almeida 1967), são circundados por rochas de idade variável entre o Paleoproterozóico e o Neoproterozóico e consistem de estreitas faixas de greenstone belt emolduradas por complexos granito-gnáissicos, em estruturação de domos-e-quilhas (*sensu* Marshak *et al.* 1997). Na região de Crixás, porção setentrional dos terrenos arqueanos, os greenstone belts ocorrem em três faixas alongadas na direção aproximada NS e denominados, de oeste para leste, de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás (Danni & Ribeiro 1978, Soboia 1979). Os terrenos granito-gnáissicos compreendem, no mesmo sentido, os Complexos da Anta e Caiamar, o Bloco Moquém e o Complexo Hidrolina (Jost *et al.* 1994 a, 1994b, Resende *et al.* 1998) (Fig. 1). Para melhor compreender a evolução individual de cada faixa, Jost & Oliveira (1991) propu-

seram a sua divisão nos Grupos Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás. Apesar de respectivas complexidades internas, a estratigrafia de cada grupo contém uma seqüência metavulcânica inferior composta de metakomatiitos seguidos de metabasaltos toleióticos e uma metassedimentar de topo, litologicamente variável entre as faixas e consistindo de proporções variadas de xistos carbonosos e metarrimitos (Crixás e Guarinos), localmente com mármorees oolíticos (Crixás) e formações ferríferas e manganíferas (Guarinos), e rochas calcissilicáticas e metapelitos (Pilar de Goiás).

Na área estudada, os terrenos arqueanos estão parcialmente cobertos por rochas supracrustais proterozóicas (Seqüência Morro Escuro, Seqüência Santa Terezinha e Grupo Araxá). A Seqüência Morro Escuro (Jost *et al.* 1989) ocorre na porção sul e consiste de formações ferríferas bandadas e mármorees, subordinadamente metaconglomerados e metapelitos. A Seqüência Santa Terezinha ocorre imediatamente a norte dos terrenos arqueano e compreende metapelitos e metavulcânicas félsicas e máficas, localmente ultramáficas (Biondi 1990). O Grupo Araxá se estende ao longo de todo o limite leste, sudeste e sul e compreende quartzitos micáceos a microconglomeráticos sotopostos a espessa e monótona sucessão de metapelitos seguidos de calcixistos. As três unidades assentam sobre rochas arqueanas por meio de falhas de empurrão.

GEOLOGIA ESTRUTURAL Queiroz (2000) propôs que a evolução estrutural da porção setentrional dos terrenos arqueanos da região de Crixás envolve três eventos (E_{n-2} a E_n) e cinco fases de deformação (D_{n-3} a D_{n+1}). A feição estrutural mais marcante da região é a alternância, em segmentos genericamente orientados segundo NS, de complexos granito-gnáissicos e greenstone belts em padrão residual de domos-e-quilhas (Fig. 1) do tipo M (*sensu* Marshak *et al.* 1997). Dados geocronológicos U-Pb SHRIMP em zircão e titanita (Queiroz 2000) mostram que esta é a arquitetura final do Arqueano e que, mesmo com retrabalhamento no Paleoproterozóico e Neoproterozóico, é possível distinguir que as fases de deformação D_{n-3} e D_{n-2} são arqueanas, D_{n-1} é paleoproterozóica e D_n e D_{n+1} neoproterozóicas.

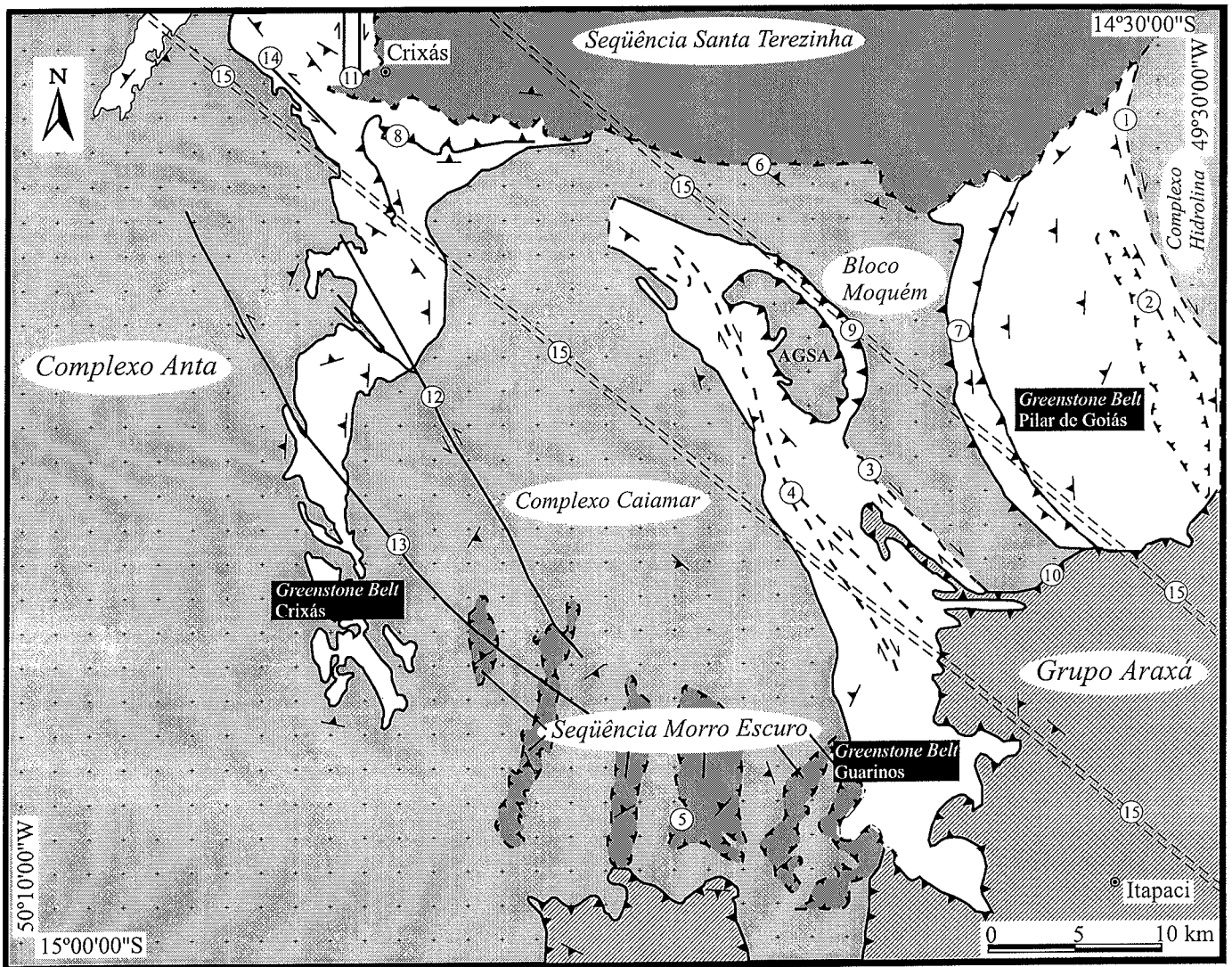
Arqueano Evidências da deformação D_{n-3} foram registradas apenas nos greenstone belts (Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás) e indicam um evento de deformação e metamorfismo regionais anteriores ao soergimento dos complexos granito-gnáissicos adjacentes. A foliação atribuída a essa fase é denominada por Queiroz (2000) de $S_{n-3}/S_n = S_n$. Em Guarinos, Jost *et al.* (1995) descrevem que a intrusão do Tonalito

1 - Departamento de Geologia Regional e Geotectônica, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524, sala 4024, bloco A. Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, 20.559-900, FAX: 21-587.7704. e-mail: clqueiro@uerj.br

2 - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, DF, 70.910-900.

3 - Departamento de Geologia Geral e Aplicada, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, DF, 70.910-900, FAX: 61-347.4062. e-mail: lsrunb@unb.br

4 - Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, DF, 70.910-900, FAX: 61-347.4062. e-mail: hjost@tba.com.br



TERRENOS PROTEROZÓICOS

- Meso-Neoproterozóico - Grupo Araxá
- Paleoproterozóico - Seqüência Morro Escuro e Seqüência Santa Terezinha

TERRENOS GRANITO-GREENSTONE BELT

- Supracrustais dos Greenstone Belts
- Terrenos Granito-Gnáissicos

AGSA - Albita Granito Santo Antônio

LEGENDA

- Foliação principal (S_p)
- Zonas de cisalhamento reverso (ZCR_{n-1})
- Zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT_{n-1})
- Zonas de cisalhamento reverso (ZCR_n)
- Zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT_{n+1})
- Corredor Transpressivo
- Ribeirão das Antas/Rio Vermelho

- 1- ZC João Leite
- 2- Klippe calcissilicáticas
- 3- ZC Carroça
- 4- ZC Engenho Velho
- 5- Klippen Morro Escuro
- 6- Seqüência Santa Terezinha - Alóctone
- 7- ZC Três Buracos
- 8- Cinturão de Cisalhamento de Empurrão Córrego Geral-Meia Pataca
- 9- ZC do norte de Guarinos
- 10- Grupo Araxá - Alóctone
- 11- ZC Garimpo da Lavra
- 12- ZC Córrego Eleutério
- 13- ZC Ribeirão Alagado
- 14- Zona Mestra
- 15- Corredor Transpressivo Ribeirão das Antas/Rio Vermelho

} Fase D_{n+1}

} Fase D_n

} Fase D_{n+}

Figura 1 - Mapa estrutural simplificado dos greenstone belts de Crixás, Guarinos e Pilar de Goiás (modificado de Queiroz 2000). Cartografia das zonas de cisalhamento reverso, na parte central do greenstone belt de Crixás, é simplificada de Magalhães (1991).

Tocambira (2.842 ± 6 Ma, Queiroz 2000), uma das unidades do Complexo Caiamar, deformou $S_{n-3}/S_0 = S_p$, com metamorfismo de contato na fácies epidoto-anfibolito superposto ao de metamorfismo regional da fácies xisto verde. A deformação de $S_{n-3}/S_0 = S_p$ também ocorre nas proximidades do contato dos complexos da Anta e Caiamar com as rochas da faixa Crixás, ainda que de forma menos evidente que em Guarinos. Em Pilar de Goiás, o basculamento da sucessão estratigráfica para oeste é evidenciado pela variação da atitude de $S_{n-3}/S_0 = S_p$, e é atribuído ao soerguimento do Complexo Hidrolina (2.785 ± 5 Ma, Queiroz 2000). O paralelismo entre S_{n-3} e S_0 indica que houve transposição generalizada de S_0 e que S_{n-3} é superfície axial de dobras apertadas a isoclinais de porte regional. Conclui-se, daí, que D_{n-3} foi provavelmente de natureza reversa e que pode representar um transporte tectônico epidérmico de vergência ainda incerta.

Nos *greenstone belts*, D_{n-2} resulta do soerguimento dos complexos granito-gnáissicos e, nas proximidades dos contatos entre ambos, D_{n-2} é dada pela deformação de S_p em trajetória paralela ao contato. Em Crixás, a trajetória de S_p é, em geral, festonada, em Guarinos é linear e em Pilar de Goiás curvilínea com concavidade voltada para NE. A ascensão dos granitóides deformou S_p em estreitas sinformes (F_{n-2}) de eixo curvilíneo que acompanham o traço do contato. As sinformes são raras ao longo do contorno do *greenstone belt* de Crixás, mas frequentes no de oeste de Guarinos (Jost *et al.* 1995). Por sua vez, a metade leste de Guarinos e a faixa de Pilar de Goiás estão basculados em homoclinais com mergulho para quadrantes de oeste, o primeiro pela ascensão do Bloco Moquém e o último pela do Complexo Hidrolina. Essas feições indicam que a deformação das supracrustais durante D_{n-2} foi essencialmente dúctil.

A idade do metamorfismo da fase D_{n-2} (Queiroz *et al.* 2000) foi obtida nos Gnaisses Crixás Açú (Complexo Caiamar) e situa-se entre 2.772 ± 6 Ma (zircão metamórfico) e 2.711 ± 34 Ma (titanita metamórfica).

Paleoproterozóico As estruturas resultantes da deformação paleoproterozóica estão reunidas na fase D_{n-1} e resultaram de um importante transporte tectônico para norte. Esta fase se evidencia por feições estruturais e intrusões de albíta granitos e dioritos. A frequência e intensidade das feições estruturais e da atividade magmática desta fase crescem de oeste para leste. No extremo sul da área, se evidenciam por *klippen* de supracrustais arqueanas e da Sequência Morro Escuro sobre o Complexo Caiamar (Queiroz 2000).

A família de estruturas de D_{n-1} compreende lineações de estiramento e mineral (Lm/e_{n-1}), dobras (F_{n-1}), zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT_{n-1}) e *klippen*. Esta fase aparentemente não gerou uma foliação penetrativa, mas rotacionou a foliação principal arqueana (S_p). A lineação Lm/e_{n-1} é dada pelo estiramento de quartzo e feldspatos nos granitóides, estrias de movimento em formações feríferas bandadas e alinhamento de agulhas de anfibólio em metabasaltos. A figura 2a agrupa medidas de Lm/e_{n-1} e a S_p e indica que as feições estruturais de D_{n-1} resultaram de deslocamento reverso sistemático para norte, movimentos transcorrentes sinistrais ($\gg N30^\circ E$) e dextrais ($\gg N30^\circ W$) e oblíquos sinistrais ao longo de planos NE e oblíquos dextrais em planos NW. Por conseguinte, esta família de estruturas responde a um vetor compressivo de direção aproximada NS. As dobras F_{n-1} são apertadas a isoclinais e, quando assimétricas, têm vergência para norte. A atitude da foliação principal ($S_p = S_{n-1}$, Fig. 2b) se concentra em um máximo em $N78^\circ W/15^\circ SW$ e permite traçar duas guirlandas, uma de $p_1 = N55^\circ E/73^\circ SE$ e $b_1 = 17^\circ/N35^\circ W$ e outra de $p_2 = N54^\circ E/80^\circ NW$ e $b_2 = 10^\circ/S36^\circ E$, onde b_1 e b_2 são eixos de dobras, superpostos a S_{n-1} , com duplo caimento.

As principais zonas de cisalhamento (Fig. 1) de D_{n-1} são as Zonas de Cisalhamento Transcorrente Dextral (ZCT_{n-1}) Carroça, Engenho Velho e João Leite. A Zona de Cisalhamento Carroça é contato meridional da faixa Guarinos com o Bloco Moquém, tem cerca de 2km de largura e 40km de extensão, se orientada segundo $N30^\circ-60^\circ W$ e tem caráter dextral (Pulz 1990). A Zona de Cisalhamento Engenho Velho (H. Jost, inédito) é interna à faixa Guarinos, subparalela à Zona de Cisalhamento Carroça, dextral e consiste de um feixe de zonas menores, responsável pelo deslocamento lateral entre as diversas unidades estratigráficas. A Zona de Cisalhamento João Leite é o contato entre o Complexo Hidrolina e a faixa de Pilar de Goiás e também apresenta orientação e cinemática paleoproterozóicas e intensa deformação dúctil. As principais *klippen* (Fig. 1) interpretadas como resultantes de D_{n-1} , compreendem (i) a Sequência Morro Escuro, a qual cobre parci-

almente o contato do limite sul da faixa Guarinos com o Complexo Caiamar e (ii) a estreita faixa de rochas calcissilicáticas situadas na porção centro-leste da faixa de Pilar de Goiás.

A atividade magmática paleoproterozóica na região se manifesta por intrusões de albíta granitos e do Diorito Posselândia. Datações U-Pb SHRIMP em zircão indicam que um corpo de albíta granito que intrude o *greenstone belt* Pilar de Goiás tem data de 2.145 ± 12 Ma (Queiroz 2000), o Diorito Posselândia de $2.146 \pm 1,6$ Ma (Pimentel *et al.* 1990, Jost *et al.* 1993). Além das evidências estruturais e magmáticas, também ocorrem efeitos retrometamórficos desta época, como evidenciado pela idade de 2.011 ± 15 Ma (Queiroz *et al.* 2000) de parte da titanita dos Gnaisses Crixás Açú.

Neoproterozóico A deformação neoproterozóica impressa nos terrenos arqueanos da área está representada por um acervo estrutural vergente para o Cráton do São Francisco e reúne as fases D_n e D_{n+1} (Queiroz 1995). A fase D_n foi reversa e evoluiu para a D_{n+1} , transcorrente. Em ambas, a intensidade foi acentuada.

A família de estruturas desta fase inclui dobras (F_n), lineações minerais e de estiramento (Lm/e_n), Zonas de Cisalhamento Reverso (ZCR_n) e uma foliação $S_p = S_n$ resultante da rotação de foliasses mais antigas. As relações entre S_p e Lm/e_n mostram movimentos oblíquos sinistrais ao longo de planos NW e dextrais nos NE. As dobras F_n são, em geral, centimétricas a decimétricas, apertadas a isoclinais, com espessamento da zona de charneira (classes 2 e 3, Ramsay 1967). Quando assimétricas, têm vergência para quadrantes de leste. A atitude das charneiras Lb_n se concentra em $19^\circ/S20^\circ W$ e $36^\circ/N37^\circ W$ (Fig. 3a). Em locais com deformação mais intensa, Lb_n coincide com lineações mineral e de estiramento (Lm/e_n) genericamente orientadas segundo $N40^\circ W$. O máximo em torno de $S20^\circ W$ é compatível com deformação reversa e transporte de direção NW-SE. Durante essa fase, as foliações mais antigas foram discretamente rotacionadas em toda a área, mas de forma proeminente no interior de estreitas zonas nas quais, subsequen-

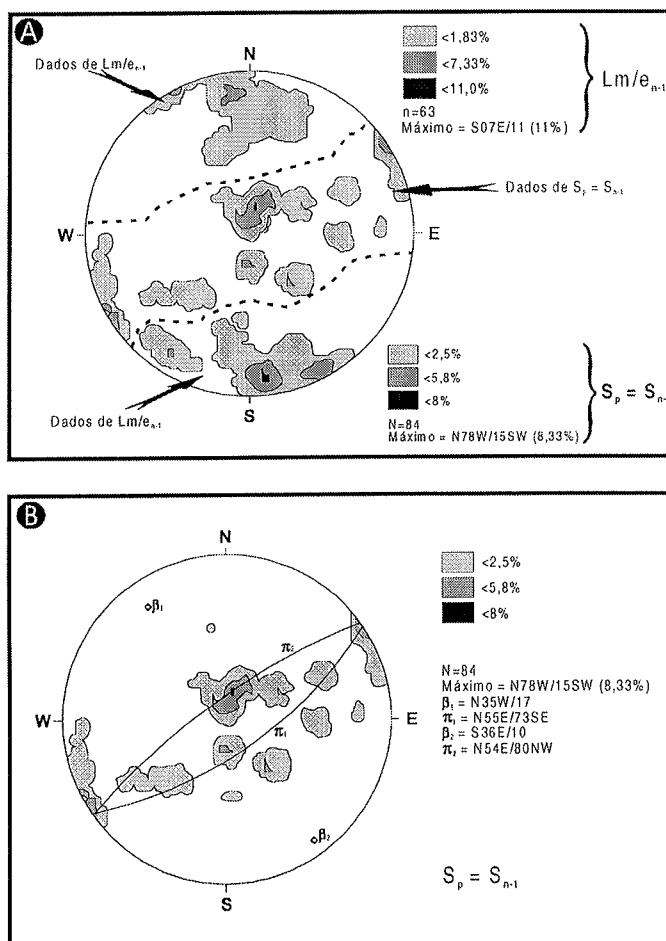


Figura 2 - (a) Estereograma sinóptico, combinando a foliação $S_p = S_{n-1}$ e a lineação Lm/e_{n-1} ; (b) Estereograma sinóptico da foliação $S_p = S_{n-1}$.

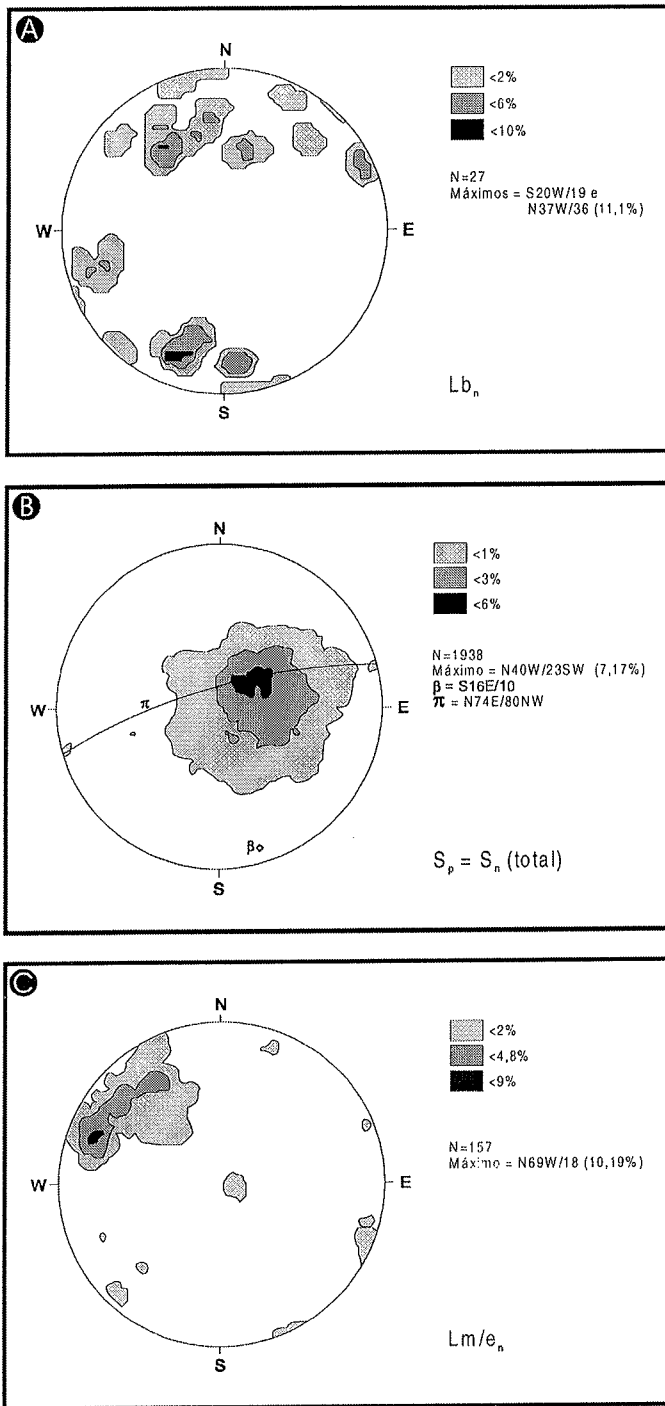


Figura 3 - (a) Estereograma sinóptico da lineação Lb_n ; (b) Estereograma sinóptico da foliação $S_p = S_n$; (c) Estereograma sinóptico da lineação Lm/e_n .

temente, se concentrou D_{n+1} sob a forma de corredores transpressivos. O efeito combinado de ambas fases sobre foliações mais antigas consta da figura 3b, que mostra um máximo em $N40^\circ W/23^\circ SW$, com atitudes de S_n distribuídas em guirlanda com $\pi = N74^\circ E/80^\circ NW$ e $\beta = 10^\circ / S16^\circ E$. A lineação Lm/e_n se materializa em lineações minerais e de agregados e caudas de estiramento de fenoclastos e fenoblastos e tem máximo em $18^\circ N/69^\circ W$ com dispersão até $N20^\circ W$ (Fig. 3c).

As principais zonas de cisalhamento reversas (ZCR_n) de D_n (Fig. 1) compreendem o Cinturão de Cisalhamento de Empurrão Córrego Geral-Meia Pataca, localizado no *greenstone belt* Crixás (Magalhães 1991), a situada imediatamente a norte de Guarinos (Jost *et al.* 1995) e associada ao Albita Granito Santo Antônio, e a zona de cisalhamento aqui denominada Três Buracos, localizada em Pilar de Goiás. As ZCR_n

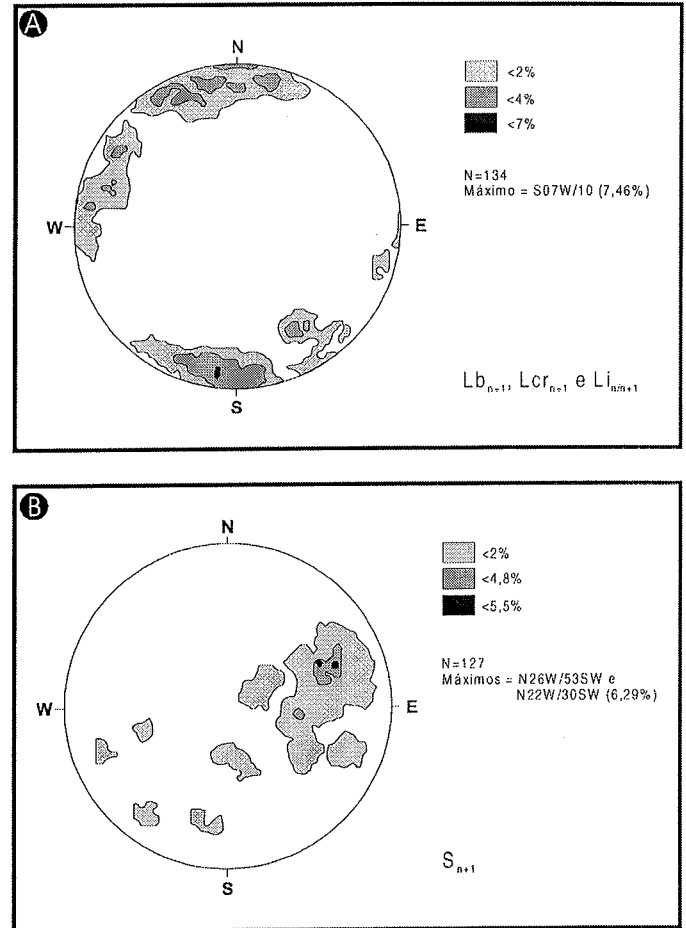


Figura 4 - (a) Estereograma sinóptico das lineações Lb_{n+1} , Lcr_{n+1} e Li_{n+1} ; (b) Estereograma sinóptico da foliação S_{n+1} .

contêm evidências de deformação dúctil, desenvolvimento de rampas frontais, laterais e oblíquas sem rompimento significativo ou grandes rejeitos do meio onde se alojam.

A associação da ZCR_n de Guarinos e o Albita Granito Santo Antônio implica em relação de atividade magmática com o descolamento. A idade de zircões metamorfizados de uma amostra de gnaisses granodioríticos do Bloco Moqué, coletada a cerca de 200 m da frente de empurrão, geraram um intercepto inferior concordante de 590 ± 10 Ma (Queiroz 2000), indicando que a falha e a intrusão são do Neoproterozóico.

As estruturas de D_{n+1} compreendem dobras (F_{n+1}), lineações de interseção (Li_{n+1}), de crenulação (Lcr_{n+1}) e eixo de dobras (Lb_{n+1}), uma foliação plano axial (S_{n+1}) e zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT_{n+1}). Esta fase é interpretada como o final da deformação neoproterozóica e responsável pela nucleação do Corredor Transpressivo Ribeirão das Antas/Rio Vermelho, de direção $N50^\circ W$ e caráter sinistral. A esta estrutura é atribuído um vetor compressivo de direção aproximadamente EW. As dobras F_{n+1} são abertas a suaves e menos frequentes que as F_n . Os seus eixos são do tipo *b* e sua orientação é consistente com a das lineações de interseção e de crenulação entre esta fase e a D_n (Lcr_{n+1}), as quais mostram um máximo em $10^\circ / S07^\circ W$, com dispersão entre os azimutes 270° e 320° (Fig. 4a). Em afloramento se observa a comum ocorrência de par sincrônico de lineações de crenulação (Lcr_{n+1}) NS e EW. A foliação S_{n+1} é normalmente uma clivagem de crenulação, subordinadamente foliação mal desenvolvida com máximos em $N26^\circ W/53^\circ SW$ e $N22^\circ W/30^\circ SW$ (Fig. 4b). As Zonas de Cisalhamento Transcorrente (ZCT_{n+1}) desta fase são de primeira e terceira ordens (*sensu* Moody & Hill 1956) e caráter dúctil-rúptil. As de primeira ordem tem orientação $N50^\circ W$ e são sinistrais e as de terceira ordem NS e dextrais.

O Corredor Transpressivo Ribeirão das Antas/Rio Vermelho (Queiroz 1995, Queiroz *et al.* 1995) é a feição dominante de D_{n+1} , e