

Discriminação de Unidades Litoestruturais da Serra dos Carajás Através de Imagens TM/LANDSAT

PEDRO ALBERTO BIGNELLI
RICARDO RIBEIRO DIAS
PAULO VENEZIANI

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil

Abstract. The study area is located in the Southeastern border of the Pará State (Brazilian Amazon Region). The test site is characterized by rounded hill low relief and mountains and plateaus related to rocks from Xingu and Pium Complex and Grão Pará Group. The research was restricted to small-scale enhanced photographic TM/LANDSAT images and the analysis was based on photointerpretation techniques that take into account spatial (relief, drainage, etc.) and spectral (tone) attributes. The investigation has characterized greenstone nucleous surrounded by migmatitic and gneissic belts, granitoids and supracrustal sequences with linear trends. These photunits are related to Itacaiúnas Belt with Archean/Early Proterozoic ages. On discordance with these rocks it was also possible to detect metasedimentary and metavulcanic rocks with probably Middle Proterozoic ages that are cut by granitics stocks with Middle Proterozoic ages. The structural pattern detected in the area is typical of lenticular belts associated to ductile shear zones.

1. Introdução

Utiliza-se produtos de sensoriamento remoto de pequena escala com o intuito de se obter mapas litoestruturais regionais, baseado nas características inerentes desses produtos, visão sinóptica e caráter multiespectral, via métodos de fotointerpretação desenvolvidos para fotografias aéreas convencionais.

Tendo sido selecionada uma área de pesquisa em um ambiente de floresta tropical úmida, onde localizam-se feições de interesse de difícil acesso,

foram considerados o produto com melhor recurso avaliável e o método de fotointerpretação Lógico e Sistemático para prover o mapeamento litoestrutural dessa região. Procurou-se, também, avaliar a contribuição do produto fotográfico (imagem TM/LANDSAT) para esse ambiente dado que diversos autores têm afirmado que o uso de dados de sensores remotos, particularmente os do espectro visível e infravermelho, sempre tem sido problemático.

2. Área de Estudo

Como área de pesquisa foi selecionada uma área que se localiza no sudeste do estado do Pará, limitada pelas coordenadas geográficas aproximadas de 5° 45' e 6° 15' de latitude sul e, 50° 15' e 50° 45' de longitude oeste, abrangendo uma área de cerca de 3080 Km² (Figura 1).

A área está inserida em uma região com clima do tipo Am segundo a classificação de Köppen, descrito como tropical úmido de monção, apresentando uma temperatura média mínima de 10 a 26 °C e média máxima de 25 a 35 °C.

As unidades geomorfológicas são representadas pelo relevo de serras, de morros e colinoso que estão associados às unidades rochosas pertencentes ao Grupo Grão Pará, e Complexos Xingu e Pium. O relevo de serras mostra-se controlado pelo falhamento NW-SE, falha Carajás, onde as serras têm topos extensos com formatos aplainados tendendo localmente a tabulares, sendo pouco identificados os topos de formas arredondadas e, mais restritos os de formas angulares. Os relevos de morros e colinoso apresentam-se notavelmente arrasados com formas variadas, serras restritas, por vezes, isoladas em consequência do tipo rochoso que as suportam (Araújo et al., 1991).

A cobertura vegetal é caracterizada por uma vegetação bastante densa com árvores de grande porte e copas amplas intercaladas por espécies mais finas (floresta densa de montana), na serra dos Carajás e, por árvores de porte médio bastante uniformes na região dos contrafortes mais baixos da serra dos Carajás e sítios arrasados que a circundam (Velo et al., 1974).

3. Material e Método

Os materiais básicos usados nessa pesquisa foram as imagens TM/LANDSAT, bandas 3, 4 e 5, referentes ao quadrante C, órbita 224, ponto 64, de 31 de maio de 1984, com elevação solar de 46° e azimute de 50°. As imagens foram realçadas (equalização de frequência) através do sistema LDIAS (Landsat Digital Image Analysis System), no Canada Centre for Remote Sensing (CCRS) e reproduzidas em papel fotográfico na escala de 1:125.000 (Paradella et al., 1990).

O procedimento metodológico básico para prover o mapa litoestrutural consistiu nas seguintes etapas: estabelecimento de uma legenda que representasse todas as feições de interesse; seleção do método de fotointerpretação, Método Lógico e Sistemático, que possui menos critérios subjetivos e que trata a imagem como documento codificado procurando passo a passo decifrá-la (Soares e Fiori, 1976 e Veneziani e Anjos, 1982); realização das etapas de fotoanálise e fotoleitura, onde identificou-se os elementos texturais de interesse e obteve-se o mapa de fotoanálise, através do reconhecimento das leis e da complexidade de organização dos elementos texturais; e, finalmente, na fotointerpretação efetuou-se o estabelecimento das relações entre função-objeto e ou feições extraídas na fotoanálise que resultou no mapa litoestrutural final.

4. Resultados

Na região denominada Província Mineral de Carajás, reconheceu-se um núcleo granitogreenstone envolvido por cinturões de

gnaisse migmatizados com granitóides e faixas de rochas supracrustais associadas fortemente linearizadas sobrepostas por rochas metassedimentares e metavulcânicas reunidas genericamente como coberturas do cráton Amazônico que estão cortadas por granitos proterozóicos (DOCEGEO, 1988).

O núcleo granito-greenstone é limitado a norte pelo Cinturão Itacaiúnas (Araújo et al., 1988) distinguindo-se unidades arqueanas metamorfas aos fácies anfibolito e granulito como os gnaisse tonalíticos e granodioríticos, variavelmente migmatizados com enclaves de ectinitos pertencentes ao Complexo Xingu (Silva et al., 1974); granulitos máficos e enderbitos atribuídos ao Complexo Pium e, finalmente, faixas de rochas supracrustais incluídas no Supergrupo Itacaiúnas (DOCEGEO, 1988). Este supergrupo compreende os grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Grão Pará, Igarapé Bahia e Buritirama que apresentam variados graus metamórficos (Figura 2).

A partir da análise visual dos elementos de textura de drenagem e relevo, do produto fotográfico TM/LANDSAT, pôde-se individualizar dezoito unidades fotolitológicas com características morfoestruturais particulares correlacionáveis às unidades geológicas citadas anteriormente (Figura 3).

As unidades classificadas como J e I que mostram moderada resistência à erosão, caracterizando áreas relativamente arrasadas com alta e baixa densidade de elementos texturais de drenagem, correspondem aos Complexos Xingu e Pium, respectivamente. O Complexo Xingu apresenta-se envolvendo as estruturas maiores formadas pelos

sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, enquanto o Complexo Pium, faixa de granulitos está presente no extremo sudoeste da área com um marcado "trend" NWSE.

A unidade H caracteriza-se pela distribuição dos elementos texturais de drenagem e relevo de modo multidirecional ordenado com moderada densidade de drenagem e resistência a erosão. Esta unidade correlaciona-se a sequência de rochas pertencentes ao Grupo Grão Pará, como formações ferríferas bandadas, metabasaltos, metacitos e metarriolitos (Araújo et al., 1988).

As unidades G, G₁, G₂ e G₃ correspondem a sequência de rochas supracrustais do Grupo Igarapé Salobo (DOCEGEO, 1988), metapelitos, anfibolitos, quartzitos, metaarcóseos, xistos e intercalações de gnaisse andesíticos. A unidade G apresenta baixa resistência à erosão, moderada densidade de drenagem com tropia bidirecional, enquanto a unidade G₁ mostra alta resistência à erosão e baixa densidade de drenagem. As unidades G₂ e G₃ diferenciam-se apenas em densidade de drenagem e resistência à erosão, muito alta e alta e, resistente e muito a resistente, respectivamente, sendo ambas fortemente estruturadas.

As unidades F e F₁ estão relacionadas às rochas do Grupo Igarapé Pojuca (DOCEGEO, 1988), metavulcânicas básicas a intermediárias, intermediárias intercaladas com metassedimentos clásticos e químicos, hospedeiros das mineralizações de Cu-Zn. A unidade F caracteriza-se por baixa densidade de drenagem e resistência à erosão, enquanto a unidade F₁ exibe alta densidade de drenagem fortemente orientada e uma

alta resistência à erosão.

A unidade E, que ocorre no nordeste da área, compõe parte da sequência de rochas do Grupo Buritirama, rochas quartzíticas micáceas, micaxistos e quartzitos bandados (DOCEGEO, 1988). Esta unidade apresenta-se em disposição retilínea implicando em uma forte estruturação e uma alta resistência à erosão.

As unidades D, D₁, D₂ e D₃ correspondem ao Grupo Rio Fresco (Barbosa et al., 1966), sequência clástica transgressiva com metarenitos conglomeráticos subarcoseanos, localmente com aspectos brechóide, metassiltitos e metaargilitos. As unidades D, D₁, D₂ e D₃ diferenciam-se em densidade de drenagem, moderada (D, D₂, D₃) e alta (D₁); tropia unidirecional (D₁, D₂, D₃) e bidirecional (D) e, devido a resistência à erosão, mostrando-se D e D₁ muito resistentes, D₂ resistente e D₃ moderadamente resistente. Essas unidades, também apresentam-se fortemente estruturadas.

A unidade C relacionada aos granitos anorogênicos, alcali-feldspato-granitos e granitos pórfiros intrusivos nas rochas pertencentes ao Complexo Xingu, Grupo Rio Fresco e Supergrupo Itacaiúnas com moderada densidade de drenagem e resistência à erosão caracterizam-se pelo aspecto circular/elíptico.

As unidades A, A₁ e B, que correspondem as coberturas colúvio-elúvio-aluvionares e lateríticas apresentam-se visualmente muito aplainadas (assimétricas), sendo as primeiras responsáveis por indefinições de alguns contatos entre unidades e as lateríticas as sustentadoras do topo aplainado de algumas formas de relevo.

Com relação as estruturas impressas nos conjuntos litoestruturais, a análise visual dos lineamentos proporcionou a identificação de fraturas, juntas e estruturas regionais (sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento) que desenharam um padrão geométrico característico para a região.

Os sistemas transcorrentes sinistrais Carajás e Cinzento, pertencentes ao Cinturão Itacaiúnas, são formados por zonas de cisalhamento dúcteis que apresentam um padrão lenticularizado de direção geral WNW-ESE englobando as rochas pertencentes aos grupos Grão Pará, Igarapé Pojuca, Igarapé Bahia, Igarapé Salobo e Rio Fresco.

As unidades litoestruturais que desenharam o padrão lenticularizado ligado a uma cinemática compressiva e transcorrente, relacionam-se a um sistema imbricado de zonas de cisalhamento com caráter de cavalgamento oblíquo que passa para um transcorrente caracterizado por uma estrutura em flor positiva (Araújo et al., 1988). Tais estruturas, no contexto de uma deformação progressiva, dentro de um regime tectônico oblíquo, foram produzidas a partir de um transporte de massas rochosas de SW para NE (Araújo et al., 1991).

Siqueira (1990) caracterizou o sistema transcorrente Cinzento e demonstrou a existência de feições estruturais tipo duplex ao longo de sua direção cuja história cinemática envolveu transtensão seguida de transpressão.

5. Considerações Finais

A análise visual do produto fotográfico TM/LANDSAT-5, da região de Carajás com densa co-

bertura vegetal, via método Lógico e Sistemático, cujos procedimentos de fotoanálise e fotointerpretação baseiam-se nas formas lineares de relevo e drenagem, quebras negativas e positivas, somadas as informações bibliográficas, mostrou-se eficiente na discriminação de zonas fotolitológicas e de cisalhamento, proporcionando a elaboração do mapa litoestrutural.

Independente da natureza dos sistemas estruturais, as feições lineares de relevo e drenagem e, as quebras negativas realçam as zonas de cisalhamento, desenhando figuras geométricas que permitem determinar a direção e o sentido de movimento dos sistemas transcorrentes da área, onde destaca-se a falha Carajás com movimento sinistral.

6. Recomendações

Devido a dificuldade do reconhecimento dos elementos litoestruturais associados a algumas unidades fotolitológicas, em especial as coberturas lateríticas (B) e depósitos colúvio-elúvio-aluvionares (A/A₁) e de posicionamento de alguns contatos fotolitológicos, recomenda-se que trabalhos semelhantes sejam feitos com outros tipos de produtos de sensores remotos, principalmente produtos de radar dado a capacidade destes destacarem melhor o relevo e não estarem sujeitos as interferências da atmosférica e vegetação.

Trabalhos futuros com produtos dos novos sensores remotos ERS-1 e CV SAR-580 serão realizados dando continuidade a esse estudo objetivando a implementação do banco de dados da área (Paradella et al., 1990) e a

elaboração de modelos prospectivos através da integração de dados de diferentes fontes (dados SR e geofísicos).

Referências

Araújo, O.J.B et al. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latino-Americano de Geologia, 7., Belém, 1988. **Anais.** Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, p.324-338.

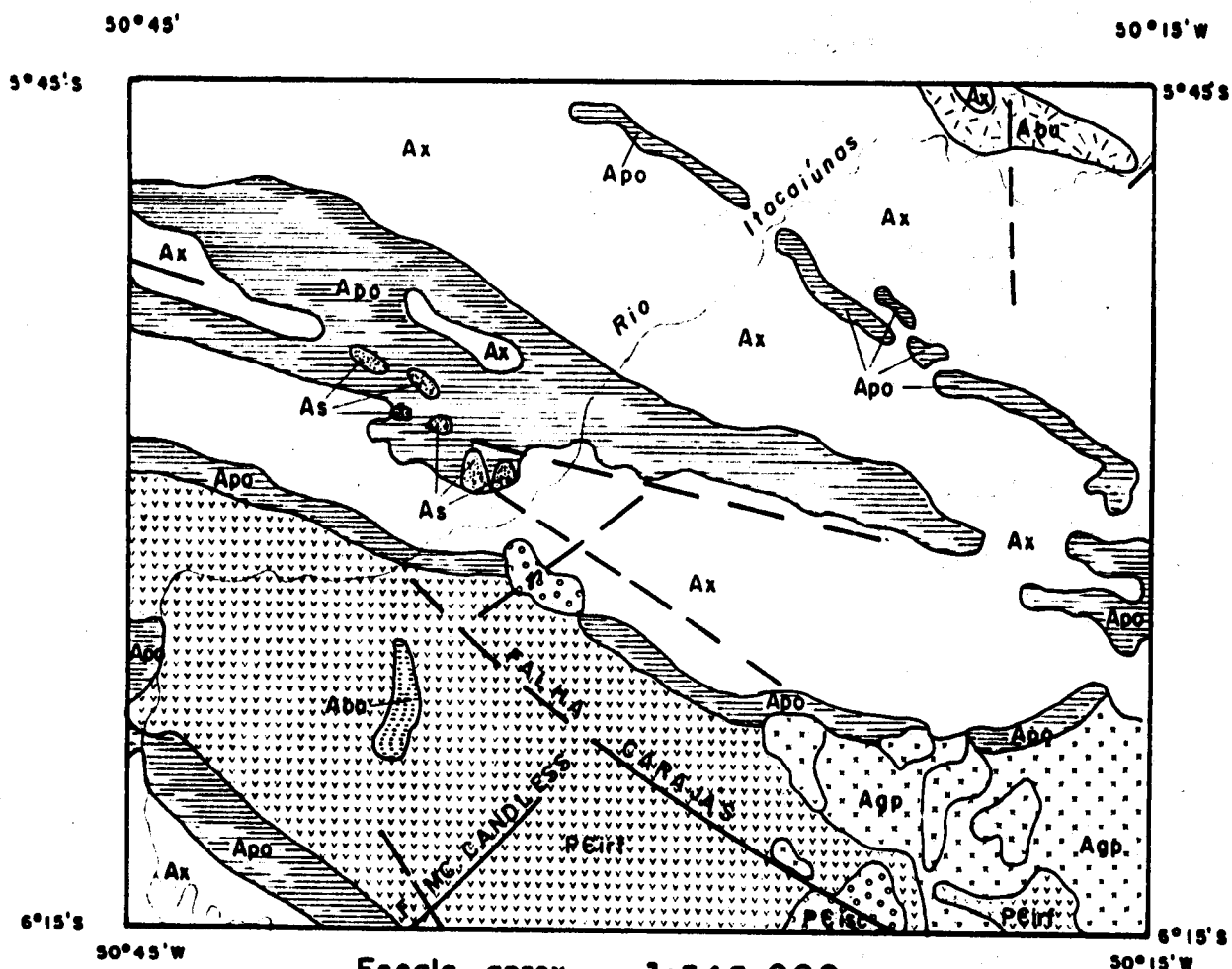
Araújo, O.J.B. Geologia estrutural. In: **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará.** Brasília, DNPM/CPRM, 1991. 164P.

Araújo, O.J.B.: Maia, R.G.N. Aspectos gerais. In: **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará.** Brasília, DNPM/CPRM, 1991. 164p.

Barbosa, O. et al. **Geologia estratigráfica, estrutural econômica da área do Projeto Araguaia.** Rio de Janeiro, DNPM, 1966. 94p.

DOCEGEO Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, p.11-54.

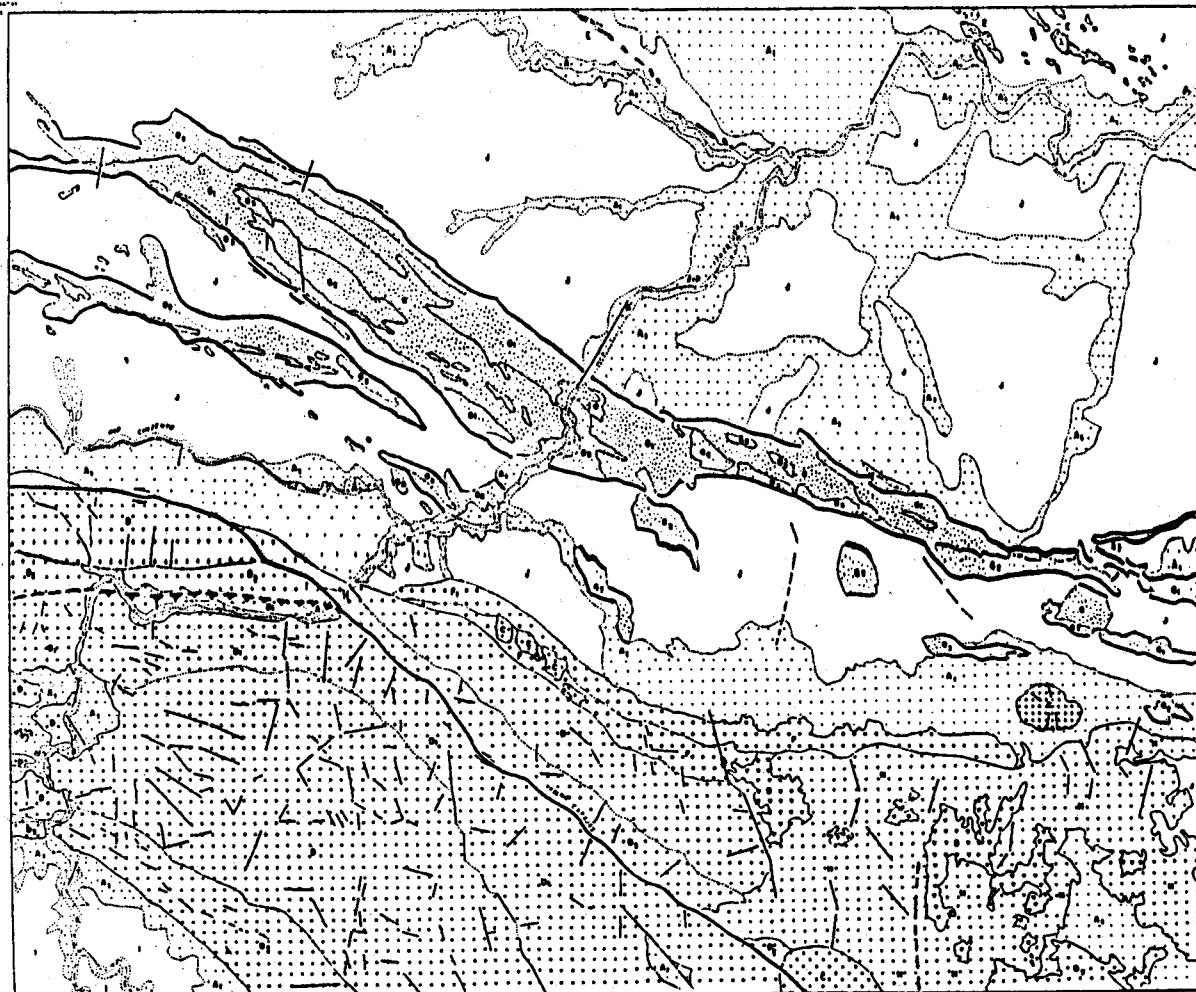
Paradella, W.R.; Kushigbor, C.A.; Fabbri, A.G. Um banco de dados digitais para exploração na faixa mineralizada em Cu-Zn do Pojuca (Carajás), baseado em dados geológicos, geoquímicos, de sensores remotos e de elevação. In: **Simpósio Brasileiro de Senso-**



Escala aprox. 1:545.000

- | | |
|---|-----------------------------|
|  | - FALHAS |
|  | - GRANITO SERRA DOS CARAJÁS |
|  | - GRUPO RIO FRESCO |
|  | - GRUPO IGARAPÉ BAHIA |
|  | - GRUPO BURITIRAMA |
|  | - GRUPO IGARAPÉ POJUCA |
|  | - GRUPO IGARAPÉ SALOBO |
|  | - GRUPO GRÃO PARÁ |
|  | - COMPLEXO XINGU |

Figura 2: Mapa geológico regional da Província Mineral de Carajás (DOCEGEO, 1988).



UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS / LITOLÓGICAS	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS / LITOLÓGICAS
[A] [A1]	Cobertura colúvia/aldão/elestonaer - cascalhos, areias, siltes e argilas em proporções variadas.
[B]	Cobertura laterítica - lateritas aluminosas e ferruginosas, com partes mais ou menos desenvolvidas, exibindo horizontes argilosos, friáveis e concreções nódulos.
[C]	Granitos anoragênicos - alcalifeldspatos - granitos e granitos pórfíricos de tipo A, intrusivos mostrando homogeneidade textural, mineralógica e faciológica. Exibem granulação média a grossa, tons rosa-cinza e rose avermelhada e características rapachivadas.
[D] [D1] [D2] [D2]	Grupo Rio Branco - sequência cíclica transgressiva metarenitos congêneros, subcoaxiais, localmente com aspectos brechóides, metassiltitos e meta-argilites.
[E]	Grupo Ruritoma - rochas quartzíticas, micáceas, micaístas e quartzitos bandados.
[F] [F1]	Grupo Igarapé - Pojuca - rochas meta-vulcânicas básicas e intermediárias e intermediárias com metassedimentos cíclicos e químicos intercalados.
[G] [G1] [G2] [G2]	Grupo Igarapé - Seiba - metapelitos, anfibolitos, quartzitos, meta-arcóseos e anfibolito-álidos, intercalações de gnaisse andesíticos.
[H]	Grupo Grão-Pará - Formações ferríferas bandadas, e corpos de minério de ferro associados, metabasitos, metadacitos e metarolitos, com vs rizado alteração hidrotermal e facies metamórfica.
[I]	Complexo Pium - Rochas granulíticas, enderbites e charnoquitos.
[J]	Complexo Xingu - gnaisse tonalíticos e granodioríticos mais ou menos migmatizados com enclaves anfibolíticos. Exibem fácies metamórfica de grau anfibolito e variada anisotropia estrutural.

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Contatos litolíticos - definidos, aproximados
- Falhas transcorrentes com indicação de movimento
- Falhas de empurrão inferidas
- Fraturas ou lineamentos estruturais

ESCALA APROX. 1:429.000

Figura 3: Mapa fotogeológico da Serra dos Carajás