

# Discriminação de Lateritas Mineralizadas em Fosfato e Titânio no Complexo Alcalino-Ultramáfico-Carbonatítico de Maicuru (PA) Através de Técnicas de Sensoriamento Remoto

WALDIR RENATO PARADELLA\*/INPE, ÍCARO VITORELLO/INPE, LÊNIO SOARES GALVÃO/IAG / USP

## ABSTRACT

Mineralized laterites developed over the Maicuru alkaline-ultramafic-carbonatite complex are distinguished in enhanced remote sensing orbital products. The Maicuru structure is located in the intractable tropical forest of the Amazon (state of Pará, Brazil). Deep lateritic weathering resulted in the formation of lateritic duricrusts, lateritic soils, alluvium and talus. The remote sensing discrimination of several units is only possible because of associations of vegetation cover and the superficial lithology. Magnetic ferruginous duricrust occurs in the northern part of the intrusive and supports the "Cerrado", a savanna type vegetation. Open grasslands on rocky grounds ("campos rupestres") are found over a duricrust which has a large portion of it enriched in anatase. The remaining differentiated units are aluminous phosphatic laterites, alkaline latosols and colluvium, covered by tropical forest.

## INTRODUÇÃO

Para ambientes de densa cobertura vegetal como o tropical úmido, a discriminação espectral direta de litologias através de sensores remotos ópticos é inviável. Uma possibilidade existe, quando a presença de crostas e solos lateríticos provocam variações do tipo e de densidade de biomassa vegetal e o consequente contraste espectral permite inferências sobre as características do substrato (Taranik et al., 1978). Para a região Amazônica, várias estruturas intrusivas são conhecidas e seus padrões típicos tem sido analisados em imagens SLAR (Lima, 1979). A Serra de Maicuru é uma das mais proeminentes estruturas da região, correspondendo a um complexo alcalino-ultramáfico-carbonatítico, com espesso perfil laterítico de alteração, enriquecido em fosfato aluminoso e titânio (Costa et al., 1991). A presença de crostas lateríticas na intrusão constitui interessante condição que deve ser investigada, no contexto da viabilidade do mapeamento dos tipos de capeamentos associados com mineralizações, através de sensores remotos.

## A ÁREA TESTE

Maicuru representa uma estrutura elíptica positiva, na forma de um cone

seccionado no topo, com aproximadamente 36 km<sup>2</sup> de área e localizada no noroeste do Estado do Pará. Litologicamente estão presentes piroxenitos, carbonatitos, magnetitos-apatitos e sienitos, intrusivos em granitos e gnaísses (Araujo et al., 1976; Lemos et al., 1988). A estrutura é em grande parte recoberta por capeamento laterítico com marcantes zonas de juntas e estruturas de colapsos associadas a vários lagos. As unidades lateríticas mapeadas em superfície (Docegeo, 1987; Costa et al., 1991) são representadas por lateritas aluminosas (fosfáticas e/ou bauxíticas); crostas magnético-laterítico-ferruginosas; crostas lateríticas com anatásio e latossolos; lateritas bauxítico-aluminosas associadas a prováveis alcalinas; solos com concreções laterítico-ferruginosas relacionados a prováveis rochas ultrabásicas e solos argilosos vinculados a alterações das encaixantes gnaíssicas. A vegetação das encaixantes e de algumas unidades lateríticas é típica de floresta equatorial densa ombrófila, enquanto que cerrados e campos rupestres ocorrem associados às crostas lateríticas ferruginosas e titaníferas. Paradella (1986) caracterizou preliminarmente a distribuição espacial das diferentes cangas através de imagens digitais do TM-Landsat 5. A figura 1 mostra a distribuição das unidades lateríticas conhecidas na área teste.

## O PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS TM-LANDSAT

Dados digitais do sensor TM do satélite Landsat 5, em seis bandas refletidas, da órbita 227-60, quadrante C, de 22.08.89, foram analisados através do software SITIM, em ambiente PC. As técnicas investigadas foram as de realces de imagens incluindo ampliações lineares de contraste, divisão de bandas simples e complexas, transformação por componentes principais, decorrelação e IHS. Para a seleção das melhores bandas para composições coloridas, foi utilizado o "Optimum Índice Factor-OIF" (Chaves Jr. et al., 1982). Na tabela I são apresentadas as cinco melhores combinações de três bandas originais selecionadas pelo OIF. A figura 2 mostra regionalmente a estrutura de Maicuru, através da primeira componente principal realçada por ampliação linear de contraste. É evidente na foto, o papel dos lineamentos regionais NE, NW e EW no controle estrutural da intrusão. Particularmente, merece menção o notável sistema de condicionamento estrutural por falhamentos das cabeceiras e alto curso do



Rio Barreirinha, que disposto segundo WSW antes de atingir a estrutura, inflete-se para SW e posteriormente para WNW na sua borda sul e assume uma orientação SW após transpor a intrusiva. Os pontos negros no interior da estrutura, as manchas cinza-escuras e a faixa clara na sua borda norte, correspondem respectivamente, às respostas espectrais dos lagos, das crostas lateríticas e da cobertura vegetal associada aos depósitos de talus (pontos a, b e c na figura 2).

A composição colorida com os canais 1, 5 e 4 (cores vermelha, verde e azul), indicados pelo OIF e realçados por ampliação linear de contraste evidencia: a) a distribuição espacial da crosta magnética ferruginosa na borda NNW em cores roxo-ocre; b) a unidade de laterita fosfática aluminosa na faixa central da intrusiva, em tonalidades acinzentadas; c) uma unidade de crosta laterítica, em parte correspondendo a distribuição espacial da crosta laterítica com anatásio, em tonalidades amarelo-ocre; d) a unidade de solos com concreções lateríticas ferruginosas, com tonalidades acinzentadas, em parte similar a (b) porém com textura mais rugosa e mais homogênea; e) a unidade de lateritas bauxíticas aluminosas, também de tonalidades acinzentadas, mas com textura lisa; f) as áreas de solos mais argilosos, associados com as encaixantes, com padrões irregulares cinzento mais escuro e bastante rugosos e g) zonas de depósitos de talus, com tonalidades esbranquiçadas. São ainda bastante evidentes os lagos, as lineações, principalmente as orientadas NNW e NE, que devem ter representado um papel importante na compartimentação do relevo, e na evolução e definição de limites dos capeamentos lateríticos. Cabe ainda salientar que parte da drenagem do interior da estrutura, i. é, os Igarapés Beré e Sarapó, estão controlados por lineamentos dos sistemas NNW, NW e NE. A composição discutida não foi inserida no texto pela impossibilidade de reprodução a cores.

Os padrões de respostas espectrais detectadas são condizentes com a presença de variações de cobertura de floresta equatorial ombrófila densa para todas as unidades de lateritas, com exceção das unidades a (crosta magnética ferruginosa) e c (parcialmente crosta laterítica com anatásio), cujos padrões espectrais não são característicos de floresta tropical densa, com biomassa "verde" e sim de vegetação de menor porte (arbustiva) mais seca. Persiste a dúvida, à luz das imagens realçadas, se as respostas para estas unidades de crostas, seriam causadas pela cobertura vegetal ou pelo substrato ou ambos. Este aspecto será discutido a seguir na abordagem radiométrica.

#### A ANÁLISE RADIOMÉTRICA

Em Vitorello et al. (1993), estudos

espectrorradiométricos em materiais superficiais da Serra de Maicuru demonstraram que os materiais originados das áreas ricas em anatásio são discriminados das demais por apresentarem albedo mais baixo devido à presença de opacos. Resta esclarecer se esta conclusão pode ser utilizada na interpretação de imagens orbitais, devido às limitações impostas pelas coberturas de vegetação. Assim, com o intuito de esclarecer melhor a causa das respostas detectadas a nível orbital, valores digitais foram amostrados de pontos correspondentes no terreno às diferentes unidades. A amostragem foi conduzida a partir da digitalização e registro da grade de geoquímica de superfície da Docegeo com a imagem TM-Landsat, através do software SGI. Os valores espectrais dos perfis discutidos a seguir correspondem a números digitais brutos, representativos da radiância espectral detectada pelo TM-Landsat. Na figura 3, valores médios dos níveis de cinza são posicionados em relação ao comprimento de onda dos respectivos canais do TM-Landsat, para as áreas recobertas por florestas (linha contínua), cerrado (linha tracejada) e campos rupestres (linha pontilhada). Observa-se a ocorrência de uma inversão nos valores de radiância destas áreas nos canais 1, 2, 3 e 7, em relação aos canais 4 e 5. Isto significa que as áreas recobertas por florestas apresentam valores mais baixos nos canais 1, 2, 3 e 7 e mais elevados nos canais 4 e 5. Nas áreas recobertas por campos rupestres ocorre o contrário ao observado em florestas. Conseqüentemente, qualquer divisão de canal TM 4 ou 5 com os canais TM 1, 2, 3 e 7 diferenciará estas três áreas. Isto pode ser verificado na figura 4, divisão TM 5/7, onde os campos rupestres apresentam-se em tons mais escuros, os cerrados em tons escuros e as florestas em tons mais claros (a, b e c, respectivamente). A resposta radiométrica dos campos rupestres é devida à integração do componente associado ao pavimento laterítico com o componente relacionado às gramíneas e arbustos com menos clorofila. À luz dos resultados obtidos, persiste a dúvida se a faixa escura oriental, associada com campos rupestres e bem realçada na figura 4, seria relacionada em sua totalidade à ocorrência de crostas com anatásio ou se corresponderia a uma variedade de crosta magnética, não individualizada nos trabalhos prévios.

Agradecimentos: Os autores agradecem a DOCEGEO pelos dados fornecidos de Maicuru, particularmente pelo mapa de distribuição das unidades lateríticas, pelas amostras de campo e suporte à fase verificação por helicóptero da cobertura vegetal na área. Os autores também agradecem ao Dr. Marcondes L. Costa (UFPa) pelas informações sobre as lateritas de Maicuru e ao Dr. Raimundo Almeida Filho (INPE), por

viabilizar a fase de registro de dados no SGI.

#### BIBLIOGRAFIA

Araujo, J. F. V.; Montalvão, R. M. G.; Lima, M. I. C. de; Fernandes, P. E. C. A.; Cunha, F. M. B.; Fernandes, C. A. C.; Basei, M. A. S. 1976 Projeto RADAMBRASIL. folha SA-21-Santarém, Levantamento de Recursos Naturais, vol. 10, 510 pp.

Chavez Jr., P. S.; Berlin, G. L.; Sowers, L. B. 1982 Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. Journal of Applied Photographic Eng., 8 : 23-30.

Costa, M. L.; Fonseca, L.R.; Angélica, R. S.; Lemos, V. P.; Lemos, R. L. 1991 Geochemical exploration of the Maicuru alkaline-ultramafic-carbonatite complex, northern Brazil. Journal of Geochemical Exploration, 40 (1991): 193-204.

Docegeo 1987 Projeto AOC/21 (Paru-Jari/Sub-área Maicuru), Mapa Geológico de Superfície.

Lemos, R. L.; Fonseca, L. R.; Martins, L. P. B. 1988 Petrografia do Complexo alcalino-ultramáfico-carbonatítico de Maicuru-Pa. Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, Vol. 3: 1400-1411.

Lima, M. I. C. de 1979 Modelos radarográficos de estruturas circulares na região Amazônica. Seminário Bras. Tec. Explor. em Geologia, II, Gravatal: 319-329.

Taranik, J. V.; Reynolds, C. D.; Sheehan, C.A.; Carter, W. D. 1978 Targeting exploration for nickel laterites in Indonesia with Landsat data. Int. Symp. on R. S. of Env., XII, Proceedings, Vol. II, Ann Arbor, Michigan, p. 1037-1051.

Paradella, W. R. 1986 Avaliação preliminar de dados TM-Landsat 5 para exploração mineral na região Amazônica: intrusivas de Maicuru e Maracanaí (Pará). Cong. Bras. Geol., 34, Goiânia, vol. 6. p. 2951-2964.

Vitarello, I.; Galvão, L. S.; Paradella, W. R. 1993 Diferenciação espectrorradiométrica de lateritas mineralizadas do Complexo de Maicuru. Congresso Internacional da SBGF, III. Rio de Janeiro, Nov. 1993.

Canais	Soma Desvio Padrão	Soma Coef. Corr.	OIF
1,4,5	25,106	1,560	16,093
3,4,4	25,017	1,630	15,347
1,5,7	13,565	1,650	15,215
1,3,4	17,165	1,300	13,203
1,4,7	17,930	1,430	12,538

Tabela I: Cinco melhores combinações de canais TM/Landsat indicados pelo OIF.



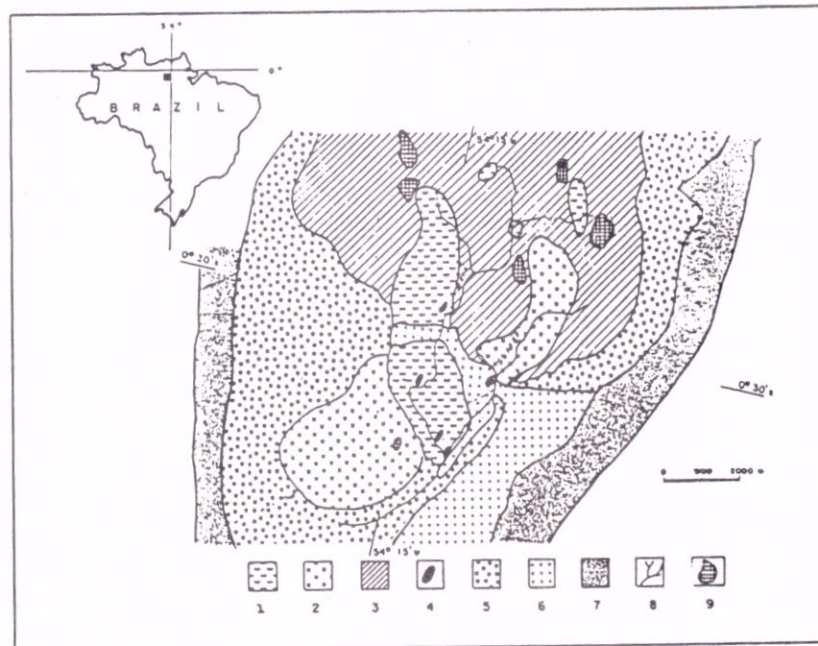


Figura 1: Unidades lateríticas da área teste: (1) lateritas aluminosas fosfáticas e/ou bauxíticas; (2) crostas lateríticas com anatásio e latossolos; (3) crostas magnético-laterítico-ferruginosas; (4) magnetito-apatito; (5) solos relacionados à prováveis rochas ultrabásicas; (6) lateritas bauxítico-aluminosas relacionadas à prováveis alcalinas; (7) solos argilosos ligados à rochas gnaíssicas; (8) igarapés; (9) lagos. (Fonte: DOCEGEO, 1987; Costa et al. 1991).

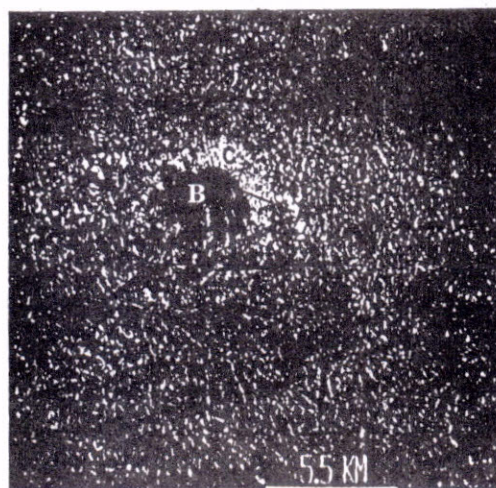


Figura 2: Primeiro Componente Principal do TM-Landsat realçado por Ampliação Linear de contraste, mostrando regionalmente a estrutura de Maicuru. Pontos A, B e C discutidos no texto. Lineamentos relacionados ao Rio Barreirinha.

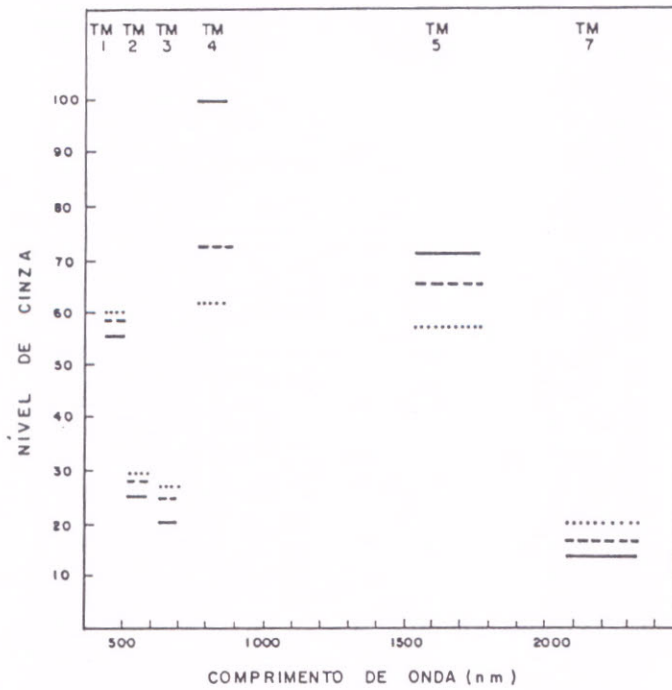


Figura 3: Valores médios de níveis de cinza do TM-Landsat para florestas (linha contínua); cerrado (linha tracejada) e campos rupestres (linha pontilhada).

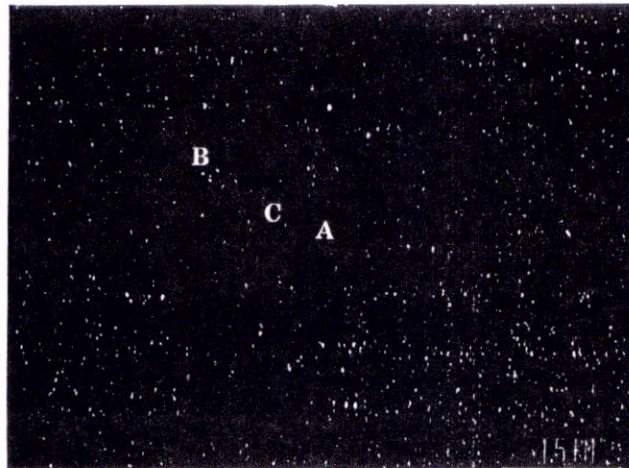


Figura 4: Divisão TM-Landsat 5/7. Pontos A, B e C discutidos no texto.