

# Sensoriamento remoto orbital, aerogeofísica e dados geológicos integrados para pesquisa mineral da região noroeste da Província Mineral do Tapajós

Thais Andressa Carrino<sup>1</sup>  
Adalene Moreira Silva<sup>1</sup>  
Alexandre Augusto Cardoso da Silva<sup>2</sup>  
Nilson Francisquini Botelho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de Brasília - UnB  
70910-900 - Brasília-DF, Brasil  
thais.carrino@gmail.com; {adalene, nilsonfb}@unb.br

<sup>2</sup> Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobrás  
CENPES – Rio de Janeiro-RJ, Brasil  
alexandreaugusto@petrobras.com.br

**Abstract.** This paper uses images of TM/Landsat 5 sensor, altimetric (SRTM) and airborne geophysics data to the reconnaissance of the geology and the gold mineralization context of the Tapajós Mineral Province northwestern portion (Pará and Amazon states - Brazil). Two regions were selected: areas of the Seta de Ouro and Chico Torres shear zones. Based on TM sensor, drainages were interpreted, beyond main lineaments. Using analytic signal amplitude and first vertical derivative images, magnetic lineaments and units were identified, like mafic dike swarms (~ 180 Ma) characterized by NNE-SSW direction. The images of K, eTh, eU, K/eTh, K/eU, F parameter and of radioelement normalization were producing, beyond the color compositions. These products allowed the visual interpretation of the gamma-ray spectrometric units characterized by possible hydrothermal origin, and correlated with interpretation of structures identified by remote sensing. Other step utilized consisted in the gamma-ray spectrometric signatures extraction of the gold occurrences mapped by CPRM, and the application of the Principal Component Analysis to the enhancement of potential hydrothermalized areas. It was possible to enhance targets associated with the Seta de Ouro and Chico Torres shear zones, and characterized by N30W and N40W directions, respectively.

**Palavras-chave:** remote sensing, airborne geophysical data, gold mineralizations, Principal Component Analysis, Tapajós Mineral Province, sensoriamento remoto, dados aerogeofísicos, mineralizações auríferas, Análise por Principais Componentes, Província Mineral do Tapajós.

## 1. Introdução

A Província Mineral do Tapajós (AM/PA) (Figura 1 (a)), cujos primeiros trabalhos sistemáticos consistiram em mapeamento geológico, levantamentos geoquímicos e geofísicos realizados nas décadas de 70 e 80, somente recentemente foi re-avaliada por meio de estudos como o de Faraco *et al.* (1997), Klein *et al.* (2001), Santos *et al.* (2001). De acordo com o conteúdo de informações até o momento disponível, vários depósitos auríferos primários hospedados em rochas paleoproterozóicas, em grande parte relacionadas a granitos e rochas vulcânicas desta idade, foram identificados na província e assumidos a mineralizações dos tipos epitermal, *lode*, pórfiro.

A economia regional da Província Mineral do Tapajós baseia-se, sobretudo, na exploração de ouro predominantemente por meios rudimentares em garimpos, majoritariamente na forma manual ou mesmo com alguns níveis de extração mecanizada. Os tipos principais de mineralizações auríferas compreendem o secundário, representado por *placers* que sustentaram intensas atividades garimpeiras, e o tipo primário. Este último tipo de mineralização, em função da atual exaustão do tipo secundário, vem tornando-se a principal fonte de recursos da região.

Este artigo propõe um estudo numa porção noroeste da Província Mineral do Tapajós (Figura 1 (b)) buscando uma melhor caracterização geológica desta área marcada por dezenas de ocorrências primárias de ouro hospedadas em ortogneisses, granitos e rochas vulcânicas

paleoproterozóicas. A base de dados selecionada compreende imagens multifonte, as quais serão processadas e interpretadas para realce de unidades geológicas, ou mesmo de assinaturas relacionadas a mineralizações auríferas.

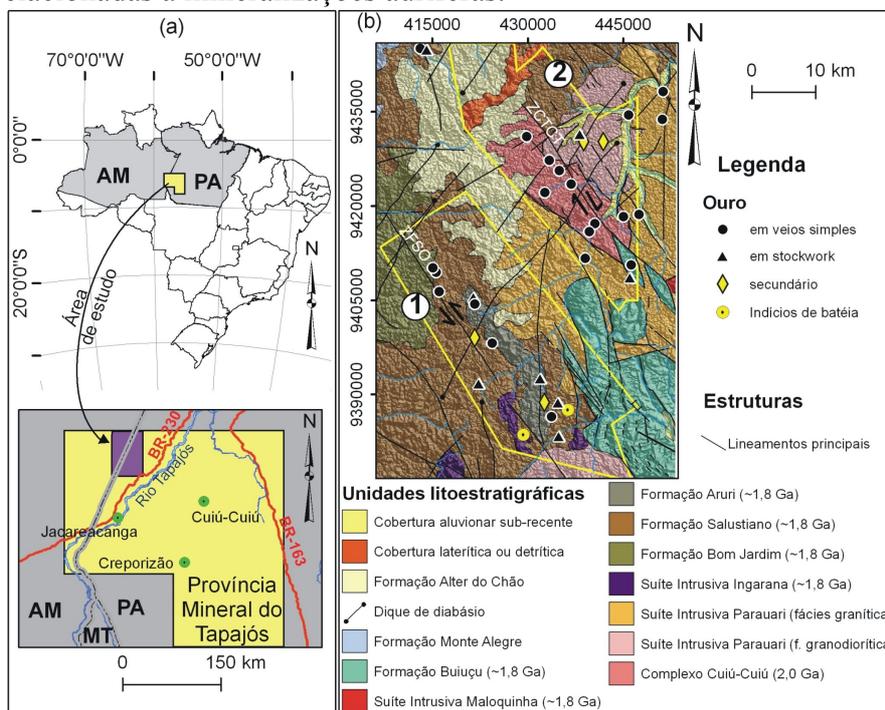


Figura 1. (a) Localização da área de estudo na parte noroeste da Província Mineral do Tapajós. (b) Mapa geológico (Klein et al., 2001) sobreposto a relevo sombreado. ZFSO=zona de falha Seta de Ouro (1); ZCTCT=zona de cisalhamento transcorrente Chico Torres (2).

## 2. Contexto geológico da área de estudo

As rochas mais antigas da área de estudo consistem em ortognaisses e granitos pouco deformados do Complexo Cuiú-Cuiú (2,00 Ga), e são assumidos como registro de arco vulcânico. A Suíte Intrusiva Parauari (~1,95-1,88 Ga) é caracterizada pelas fácies granítica e granodiorítica. A Suíte Intrusiva Ingarana compreende diabásios e microgabros relacionados com gabro-noritos, dioritos, monzodioritos e granófiros (~1,8 Ga). Rochas vulcânicas de composição intermediária, como andesitos, andesitos basálticos, traquiandesitos e latitos estão inclusos na Formação Bom Jardim (~1,8 Ga) (Klein et al., 2001)

O Supergrupo Uatumã abrange litotipos do Grupo Iri e da Suíte Intrusiva Maloquinha que consistem, respectivamente, em rochas vulcânicas e plutônicas anorogênicas (~1,87-1,85 Ga). O Grupo Iri é representado pelas formações Salustiano (rochas vulcânicas ácidas) e Aruri (rochas vulcanoclásticas), enquanto a Suíte Intrusiva Maloquinha é caracterizada por sienogranitos, monzogranitos e, mais raramente, por feldspato alcalino granitos com biotita (Klein et al., 2001).

A Formação Buiçu abrange rochas paleoproterozóicas como arenitos arcossianos, conglomerados, siltitos subordinados e tufos intercalados.

As unidades litoestratigráficas fanerozóicas consistem na Formação Monte Alegre (arenitos e folhelhos cinza); Formação Alter do Chão (arenitos avermelhados, silicificados e ferruginizados); diques de diabásio (Diabásio Periquito); as coberturas lateríticas e detríticas e as aluviões sub-recentes (Klein et al., 2001).

A área da zona de falha Seta de Ouro (cf., Figura 1) é caracterizada pelo predomínio de mineralizações de ouro em *stockworks* e, subordinadamente, em veios associados a tufos, andesitos, ignimbritos, microsienitos, brechas vulcânicas e riolitos do Grupo Iri (e.g. garimpos Doze de Outubro, Seta de Ouro, 21 de Julho, Modelo, Abacate, Coatá) e andesito-

basalto da Formação Bom Jardim (garimpo Doze de Outubro) (Klein et al., 2001). O maior potencial aurífero delimitado pela CPRM encontra-se a leste desta falha. A alteração hidrotermal predominante compreende a sulfetação, epidotização, silicificação, além de sericitização e feldspatização descritas em alguns garimpos (Klein et al., 2001), sendo destacável na maioria das ocorrências, a pirita. Os principais controles estruturais possuem orientação NE-SW (e.g., N80E/70SE no garimpo Abacate) e NW-SE (e.g., N90/90 no garimpo Seta de Ouro), com típicos mergulhos verticais e subverticais (Klein et al., 2001).

A área da zona de cisalhamento transcorrente Chico Torres (cf., Figura 1) é caracterizada por mineralizações de ouro em veios de quartzo, com associação a sulfetos (pirita na maioria das vezes). Estes veios ocasionalmente apresentam-se deformados em função do regime dúctil instalado pela transcorrência (Klein et al., 2001). Regiões hidrotermalizadas são verificadas ao longo da zona de cisalhamento e em rochas hospedeiras como os ortognaisses do Complexo Cuiú-Cuiú (garimpos Porquinho, Chico Torres) e em granitos da Suíte Intrusiva Parauari (garimpos Chico Torres, Nova Chico Torres, Cara Preta, Maranhense) (Klein et al., 2001). Há o predomínio de alterações hidrotermais como a silicificação, sulfetação, cloritização, sericitização e epidotização. São observados controles estruturais de direção NE-SW e NW-SE e mergulhos verticais e subverticais (Klein et al., 2001).

### 3. Materiais

A imagem do sensor TM da plataforma Landsat 5, de 23/06/1997 e equivalente à órbita/ponto 229/65, foi selecionada ao estudo, sendo caracterizada por resolução espacial de 30 m. Os dados altimétricos do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial aproximada de 90 m e coletados no ano 2000 também compuseram a base de dados. Dados gamaespectrométricos e magnetométricos aéreos de 1997 consistem naqueles realizados para a CPRM e inclusos no levantamento Bloco 1 – Província Aurífera do Tapajós. Estes dados foram obtidos a partir das seguintes especificações: altura de voo de 100 m, espaçamentos das linhas de voo (N-S) e de controle (E-W) de 1 km e 13 km, respectivamente.

### 4. Abordagem metodológica

#### 4.1. Interpretação de imagens TM, SRTM e aeromagnetométricas

A imagem do sensor TM foi georreferenciada por meio de pontos de controle determinados a partir do uso da carta topográfica Vila Mamãe Anã (1:250.000). Este procedimento também foi realizado para a imagem do SRTM. A identificação da rede de drenagem foi efetivada com base nestas duas imagens, principalmente analisando-se a banda 4 do sensor TM. A Figura 2 (a) apresenta a interpretação final da drenagem a qual serviu de guia para o reconhecimento de lineamentos de drenagem e posterior definição dos principais alinhamentos de drenagem, conforme mostrado na Figura 2 (b).

Os dados magnetométricos foram processados por Silva (2003), que aplicou a interpolação curvatura mínima utilizando-se um tamanho de célula do *grid* equivalente a 250 m, e realizou o micronivelamento segundo o algoritmo de Blum (1999). A partir dos dados corrigidos, Silva (2003) produziu transformações lineares do campo magnético anômalo, dentre as quais, aquelas utilizadas neste artigo: cálculo da derivada vertical de primeira ordem (DZ) e da amplitude do sinal analítico (ASA). A ASA é expressa pelas derivadas parciais e permite o posicionamento de corpos magnéticos já que a técnica compreende uma função simétrica em que os picos do sinal analítico encontram-se centrados nas bordas das anomalias magnéticas (Nabighian et al., 1972). A Figura 2 apresenta a imagem da ASA (c) e interpretação de lineamentos e principais unidades magnéticas (d) com base na análise desta imagem e da DZ.

## 4.2. Imagens gamaespectrométricas e processamentos

Os dados gamaespectrométricos aéreos foram processados por Silva (2003), análogo ao realizado com os dados magnetométricos, realizando-se a interpolação por curvatura mínima e o micronivelamento (Blum, 1999). Silva (2003) produziu as imagens dos canais de K, eTh e eU e a composição ternária no espaço de cores RGB, conforme apresentado na Figura 3. Este resultado encontra-se sobreposto à imagem do SRTM que foi submetida à filtragem direcional, escolhendo-se ângulos de azimute e de elevação solar equivalentes a  $45^\circ$ . Razões de radioelementos K/eTh (Figuras 3 (a) e 4), eU/K (Figura 3 (b)) também foram geradas por Silva (2003) e, neste artigo, foram utilizadas para análise conjunta com a imagem ternária a fim de possíveis contribuições na identificação de alvos hidrotermalizados (Figuras 3 (a, b)).

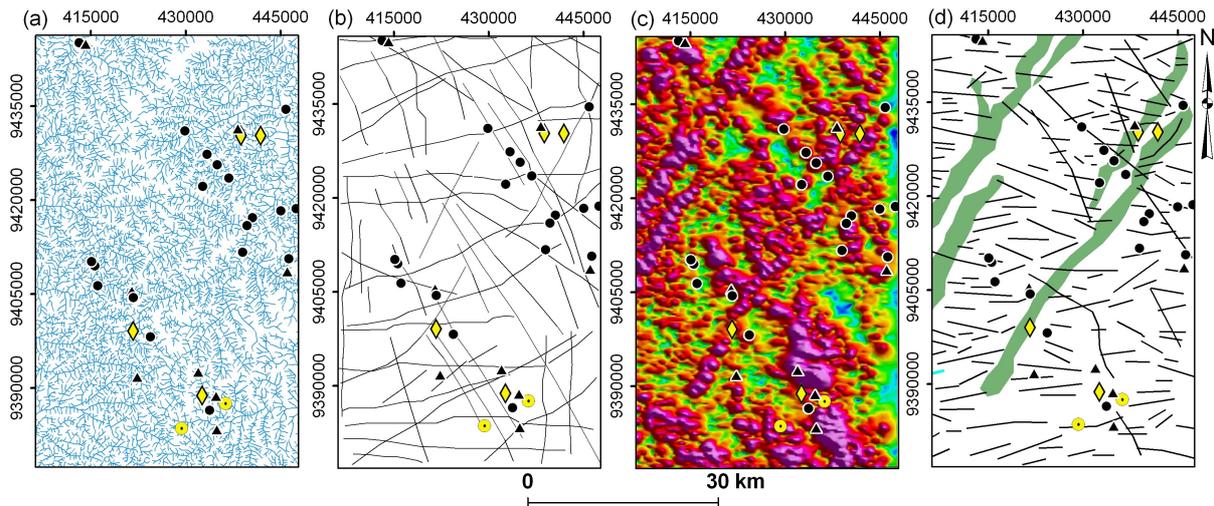


Figura 2. (a) Drenagem interpretada com base na banda 4 do sensor TM, e identificação dos principais alinhamentos de drenagem (b). (c) Imagem da amplitude do sinal analítico e (d) estruturas e principais diques de direção NE-SW (em verde) interpretados com base nas imagens da ASA e DZ.

A imagem do parâmetro F (Figura 3 (c)) foi produzida na tentativa de distinção de enriquecimento hidrotermal de K em relação à informação de *background* geológico. Este parâmetro consiste na relação de abundância de K associada à razão eTh/U e da abundância de eU relacionada à razão eTh/K. Trabalhos como o de Quadros et al. (2003) exemplificam com sucesso o uso do parâmetro F para a prospecção de ouro, uma vez que o K serve de *elemento-guia* para a localização de depósitos.

Outro recurso utilizado compreendeu a normalização dos elementos K, eTh, eU por meio da razão destes com a soma equivalente ( $=K+eTh+eU$ ). Este procedimento é usual a fim de gerar a abundância relativa dos radioelementos. A combinação colorida destas razões está apresentada na Figura 3 (e). A Figura 3 (f) foi produzida com base na composição colorida das imagens do parâmetro F (R), da razão K/eTh (G) e da razão K/U (B).

Todas as imagens gamaespectrométricas geradas foram re-escaladas ao formato 8 bits (256 níveis de cinza) para a extração das assinaturas de ocorrências de ouro mapeadas pela CPRM, conforme indicadas na Figura 4. O re-escalamento foi necessário a fim de manter a integridade das imagens originais, uma vez que as escalas de medidas destas imagens são diferentes. Este procedimento de quantificação da resposta geofísica compreende uma reprodução do processamento comumente utilizado no sensoriamento remoto multi e hiperespectral, que visa a extração de assinaturas espectrais de alvos para mapeamentos de diversos fins (e.g., Kruse, 1998).

A investigação dos dados gamaespectrométricos foi estendida por meio da aplicação da Análise por Principais Componentes (APC). Esta análise corresponde uma técnica estatística

multivariada que permite a decorrelação de informações em uma metodologia robusta e rápida, e que, no sensoriamento remoto, requer um conhecimento básico das propriedades espectrais de minerais, solos e vegetação (Loughlin, 1991, Tangestani e Moore, 2001). A APC, no entanto, não é apenas empregada no processamento de imagens multi e hiperespectrais, sendo usualmente utilizada para tratamento de dados geoquímicos e geofísicos, combinados ou não (e.g., Ranjbar et al., 2003, Rojas, 2003).

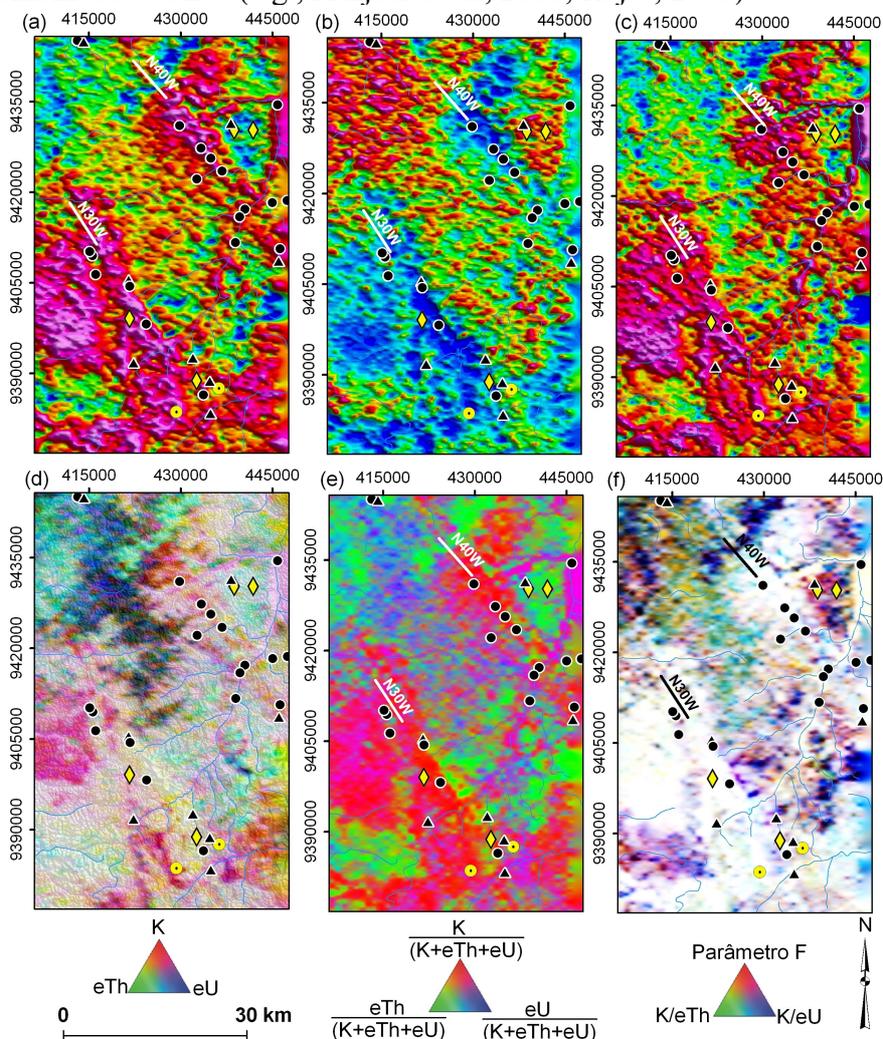


Figura 3. Imagens geofísicas: (a) razão  $K/eTh$ , (b) razão  $eU/K$ , (c) parâmetro F, (d) imagem ternária de K, eTh e eU sobreposta ao SRTM, e destes mesmos elementos normalizados (e). (f) Imagem ternária do parâmetro F e das razões  $K/eTh$  e  $K/eU$  em RGB.

Subáreas foram definidas nos arredores da falha Seta de Ouro e da zona de cisalhamento Chico Torres (cf., Figura 1), objetivando a definição de regiões mais afetadas pelo controle estrutural e, desta maneira, mais propícias a ocorrências de ouro. Este procedimento é importante para a aplicação da APC, já o tamanho da área a ser processada por tal técnica influencia a estatística e, conseqüentemente, a determinação dos autovetores.

As imagens gamaespectrométricas das razões  $K/eTh$  e  $eU/K$ , além do parâmetro F, em função do potencial significado atrelado à prospecção mineral, foram utilizadas como dados de entrada à aplicação da APC, resultando na geração de autovetores associados a três componentes principais (PCs). A partir da examinação da contribuição das imagens originais à cada PC, foram determinados os autovetores de maior peso relacionados ao contexto mineralizante. Para ambas as subáreas Seta de Ouro e Chico Torres, os autovetores significativos estão associados à PC2 e são os seguintes:

- subárea Seta de Ouro: -0,388596 (contribuição da imagem de K/eTh); 0,845144 (contribuição da imagem de eU/K); -0,367049 (contribuição da imagem do parâmetro F). Como observado pelas assinaturas gamaespectrométricas da Figura 4, a razão K/eU, neste contexto, é alta, e por tal, a PC2, que apresentou alta contribuição e positiva da imagem original de eU/K teve seu histograma invertido para realçar possíveis áreas hidrotermalizadas.

- subárea Chico Torres: -0,163325 (contribuição da imagem de K/eTh); 0,976795 (maior peso da imagem eU/K); -0,138850 (contribuição da imagem do parâmetro F). A razão eU/K é baixa na área mineralizada, o que justifica a inversão do histograma da PC2 para realce de alvos potenciais para ouro nesta subárea.

Os resultados da aplicação da APC estão mostrados na Figura 5, integrados com os principais alinhamentos de drenagem identificados (cf., Figura 2 (b)).

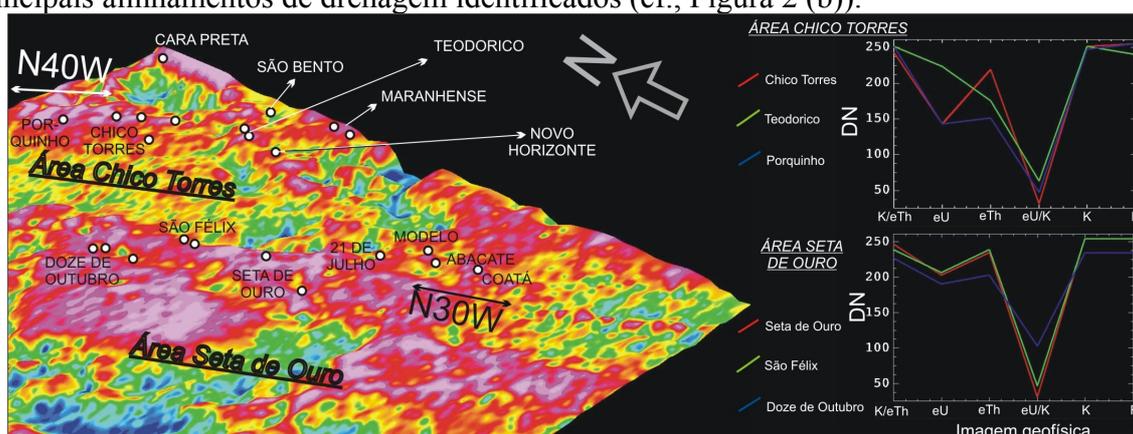


Figura 4. Imagem da razão K/eTh em 2,5D, com a indicação das mineralizações de ouro constatadas pela CPRM, e a orientação principal de alvos enriquecidos em potássio. À direita, assinaturas gamaespectrométricas representativas de algumas ocorrências mineralizadas nas abrangências das subáreas Chico Torres e Seta de Ouro.

## 5. Discussão dos resultados e conclusões

A interpretação da drenagem mostrada na Figura 2 (a) permitiu a extração dos principais alinhamentos de drenagem (Figura 2 (b)) e, com base na análise destes, foi possível determinar as seguintes características: (a) ocorrência de extensos lineamentos com orientação predominante E-W, NW-SE e NE-SW que estão relacionados a diferentes fases tectônicas paleoproterozóicas da província (cf., Klein et al., 2001); (b) no contexto das mineralizações auríferas das subáreas Seta de Ouro e Chico Torres, observam-se lineamentos extensos que seguem um *trend* NW-SE (em geral, N30-40W). Esta orientação é condizente com aquelas mapeadas pela CPRM como a falha Seta de Ouro e a zona de cisalhamento transcorrente Chico Torres (cf., Klein et al., 2001 e Figura 1).

Com base na análise das imagens da ASA e DZ, houve a caracterização de enxame de diques máficos de direção NE-SW, atribuídos, segundo Klein et al. (2001), a uma idade de ~180 Ma, e que afetam significativamente algumas regiões mineralizadas (cf., Figura 2 (c, d)). Também são observados lineamentos magnéticos majoritariamente de direção W-E e alguns NW-SE no contexto da subárea Chico Torres.

Dentre os processamentos aplicados aos dados aerogamaespectrométricos, simples procedimentos como as razões K/eTh e eU/K favoreceram a demarcação de dois *trends*, um com direção principal N40W e outro com orientação N30W, associados, respectivamente, com regiões mineralizadas das subáreas Chico Torres e Seta de Ouro (Figura 3 (a, b)). Observam-se altos valores provenientes da razão K/eTh e uma correspondência destas assinaturas com baixas respostas da razão eU/K nas áreas mineralizadas. Estas são as assinaturas típicas de regiões afetadas por hidrotermalismo (Figura 3 (a, b)). A imagem em dimensão 2,5D da razão K/eTh ilustra a disposição preferencial de altos valores relacionados

aos dois *trends* afirmados anteriormente às subáreas estudadas, e coerentes com a localização das ocorrências de ouro já mapeadas.

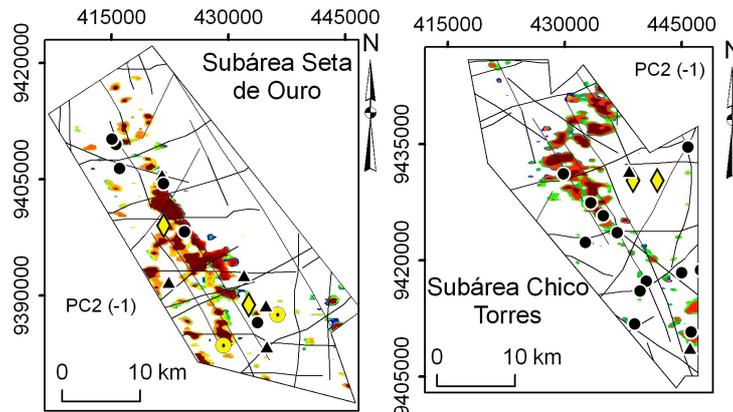


Figura 5. Principais componentes em pseudo-cor. Para ambas as subáreas, a PC2 foi selecionada. Cores vermelhas indicam alto potencial para mineralizações de ouro; cores frias consistem em baixa potencialidade.

As imagens do parâmetro F (Figura 3 (c)) e da normalização dos três radioelementos (Figura 3 (e)) também proporcionaram interessantes contribuições à prospecção aurífera. Altos valores da imagem do parâmetro F caracterizam as áreas com registros de ocorrências de ouro pela CPRM, indicando a potencialidade de áreas enriquecidas em K de origem hidrotermal, visto que esta é uma premissa de tal técnica. Com relação à normalização dos radioelementos, os dois *trends* assumidos às subáreas Chico Torres (N40W) e Seta de Ouro (N30W) foram realçados novamente, sendo caracterizados por valores altos de K normalizado, moderados de eTh normalizado, baixos de eU normalizado. É interessante observar que, em comparação à imagem ternária RGB de K, eTh e eU (Figura 3 (d)), os resultados das razões, do parâmetro F e da normalização de radioelementos destacaram, superiormente, as possíveis assinaturas associadas ao hidrotermalismo e dispostas em *trends* NW-SE já averiguados em campo por outros autores (cf., Klein et al., 2001). Da mesma forma, assinaturas gamaespectrométricas das ocorrências Chico Torres, Teodorico, Porquinho, Seta de Ouro, Doze de Outubro e São Félix (Figura 4), corroboraram a análise visual das imagens da Figura 3, caracterizando as abrangências mineralizadas por altos valores da razão K/eTh e parâmetro F, e valores muito baixos da razão eU/K.

Em função das respostas gamaespectrométricas da Figura 4, o uso das imagens de K/eTh, eU/K e parâmetro F para a aplicação da APC resultou na escolha da PC2 para ambas as subáreas, uma vez que tal imagem significou alta contribuição da imagem de eU/K em detrimento ao menor peso proveniente das imagens de K/eTh e parâmetro F. A examinação dos sinais e pesos dos autovalores segue a resposta esperada com base na verificação das assinaturas gamaespectrométricas apresentadas na Figura 4. As PCs 2 invertidas por meio de ajuste de histograma além da aplicação de pseudo-cor (Figura 5) evidenciaram áreas potenciais para ouro dispostas em *trends* NW-SE, o que, por sua vez, são condizentes com as observações anteriores (e.g., Figura 3), com os alinhamentos de drenagem integrados nesta figura, com a disposição das ocorrências de ouro conhecidas e observações de campo pré-existent (cf., Klein et al., 2001).

As conclusões apresentadas neste artigo por meio de processamentos simples de dados gamaespectrométricos, como da interpretação da imagem TM, além da aplicação da APC, resultaram em importantes contribuições acerca da caracterização das duas subáreas mineralizadas (Seta de Ouro e Chico Torres), reafirmando-se o controle estrutural NW-SE e realçando alvos potenciais para ocorrências auríferas (Figura 5). Utilizando-se outros processamentos comumente empregados na prospecção mineral, como a técnica do potássio

anômalo, novos resultados deverão ser produzidos e integrados com dados multifonte a fim de complementar o estudo aqui proposto.

### **Agradecimentos**

Thais Andressa Carrino agradece à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e ao Laboratório de Geofísica Aplicada-UnB pelo suporte técnico. Agradecemos à CPRM-DIGEOF pela cessão dos dados aerogeofísicos.

### **Referências bibliográficas**

- Blum, M.L. **Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral**. 1999. 229 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 1999.
- Faraco, M.T.L.; Carvalho, J.M.A.; Klein, E.L. Carta metalogenética da Província Aurífera do Tapajós. In: Costa, M.L.; Angélica, R.S. (Orgs.) **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 1997, v. 1, p. 423-437.
- Klein, E.L.; Almeida, M.E.; Vasquez, M.L.; Bahia, R.B.C.; Santos, M.L.E.; Ferreira, A.L. **Geologia e recursos minerais da Província Mineral do Tapajós. Folhas Vila Mamães Anã (SB.21-V-D), Jacareacanga (SB.21-Y-B), Caracol (SB.21-X-X), Vila Riozinho (SB.21-Z-A) e Rio Novo (SB.21-Z-C)**. Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001, 81 p.
- Kruse, F.A. Advances in hiperespectral remote sensing for geologic mapping and exploration. In: 12th JPL Airborne Geoscience Workshop, Jet Propulsion Laboratory Publication, 12., 1998, **Proceedings...**: JPL, 1998, p. 149-156.
- Loghlin, W.P. Hydrothermal alteration mapping for mineral exploration using Principal Component Analysis. **National Remote Sensing Centre**, 1991, p. 1-25.
- Nabighian, N.M. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: its properties and use for automated anomaly interpretation, **Geophysics**, 1972, v. 37, p. 507-517.
- O'Leary, D.W.; Friedman, J.D.; Pohn, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for olds terms. **Geological Society of America Bulletin**, 1976, v. 87, n. 10, p. 1463-1469.
- Ranjbar, H.; Honarmand, M.; Moezifar, Z.; Shakoori, M. Integration and analysis of remote sensing, airborne geophysics and geochemical data of Sar Cheshmeh area, using directed principal component analysis. In: Remote sensing for environmental monitoring, GIS applications, and geology, 2., 2002, Agia Pelagia (Greece). **Proceedings...** Agia Pelagia: 2003, v. 4886, p. 429-437.
- Rojas, A.S. Predictive mapping of massive sulphide potencial in the western part of Escambray terrain, Cuba. 2003. 62 p. Dissertação (Mestrado) – International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Enschede-Holanda. 2003.
- Santos, J.O.S.; Groves, D.I.; Hartmann, L.A.; Moura, M.A.; McNaughton, N.J. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. **Mineralium Deposita**, 2001, v. 36, p. 278-299.
- Silva, A.A.C. **Processamento, interpretação e integração de dados geológicos e geofísicos da Província Mineral do Tapajós**. 2003. 137 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF. 2003.
- Tangestani, M.H.; Moore, F. Comparison of three principal component analysis techniques for porphyry copper alteration mapping: a case study in Meiduk area, Kerman, Iran. **Canadian Journal of Remote Sensing**, 2001, v. 27, p.176-182.
- Quadros, T.F.P.; Koppe, J.C.; Strieder, A.J.; Costa, J.F.C.L. Gamma-ray data processing and integration for lode-Au deposits exploration. **Natural Resources Research**, 2003, v. 12, n. 1, p. 57-65.