

## **Determinação de vetores de exploração aurífera nos prospectos Maués, 12 de Outubro, Rosa de Maio e Bandeirante (Província Mineral do Tapajós) a partir da integração de dados de campo, geofísicos, geoquímicos e de radar**

Thais Andressa Carrino <sup>1</sup>  
Adalene Moreira Silva <sup>1</sup>  
Nilson Francisquini Botelho <sup>1</sup>  
Marcelo Pinto <sup>2</sup>  
Luiz Carlos Pinheiro Clerot <sup>2</sup>  
Sérgio Sacani Sancevero <sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> MAPEX - Mineração, Importação e Exportação Ltda.  
Av. Constantino Nery, 2552, Manaus-AM  
marcelopinto@mapex.com.br; lclerot@yahoo.com.br

<sup>3</sup> ROXAR  
Rua Costa, 31, ap-20, 01304010, São Paulo-SP, Brasil  
sacani@gmail.com

**Abstract.** Airborne geophysics, geochemistry data and synthetic aperture radar images were utilized for analysis of prospective patterns in four gold regions of the Tapajós Mineral Province (Brazil), named Maués, Rosa de Maio, Bandeirante and 12 de Outubro prospects. These regions are characterized by different host rocks of paleoproterozoic gold mineralization. Data collected in fieldwork also were used, including data obtained with portable gamma-ray spectrometer that were interpreted and associated with different hydrothermal alterations. As final result, a frame of prospective guides for each study prospects of Tapajós Mineral Province was proposed.

**Palavras-chave:** Tapajós, dados multifonte; guias para prospecção de ouro, Tapajós, multisource data, guides for gold prospecting.

### **1. Introdução**

A necessidade de geração e detalhamento de mapas geológicos, além do aprimoramento de pesquisas geocronológicas, geoquímicas entre outras, é crescente nas regiões do Amapá, Roraima, Amazonas e grande parte do Estado do Pará, a fim de proporcionar a seleção de alvos minerais potenciais. Estas regiões, inseridas no Cráton Amazônico, estão inclusas, majoritariamente, na categoria de áreas do tipo *greenfield*, onde o baixo conhecimento geológico atual contrapõe-se ao alto potencial mineral existente e associado com diferentes contextos tectônicos e estilos mineralizantes. O uso da aerogamaespectrometria, da aeromagnetometria e de sensores remotos ópticos e radares de abertura sintética vem, crescentemente, revelando novos *insights* associados ao contexto geológico regional destas áreas de baixo conhecimento da Amazônia, além de possibilitar o realce de alvos favoráveis a mineralizações de diferentes tipos de jazimentos.

Inclusa neste contexto, a Província Mineral do Tapajós (PMT) (Figura 1) ainda carece de maiores investimentos exploratórios e caracterização indireta por meio de sistemas sensores eletro-ópticos, SAR e geofísicos. Diante de tal desafio, este artigo aborda o uso de dados geofísicos de alta resolução, combinados com informações geológicas e gamaespectrométricas coletadas em quatro prospectos da PMT, além de

imagens SAR-R99B para a determinação de guias exploratórios (ou vetores) a serem empregados em áreas caracterizadas por distintos contextos geológicos e alterações hidrotermais. Os prospectos estudados compreendem o 12 de Outubro, Rosa de Maio, Bandeirante e Maués (Figura 1). Esta proposta de trabalho visa dar os primeiros subsídios para programas de exploração de ouro, em termos da definição das respostas petrofísicas, já que a caracterização da gênese de ouro não está bem definida nos prospectos abordados, assim como em quase toda a PMT.

A PMT está inserida na Província Tapajós-Parima ou Ventuari-Tapajós, e compreende uma associação de terrenos paleoproterozóicos (Klein et al., 2001) localizada na divisa dos Estados do Amazonas e Pará (Figura 1).

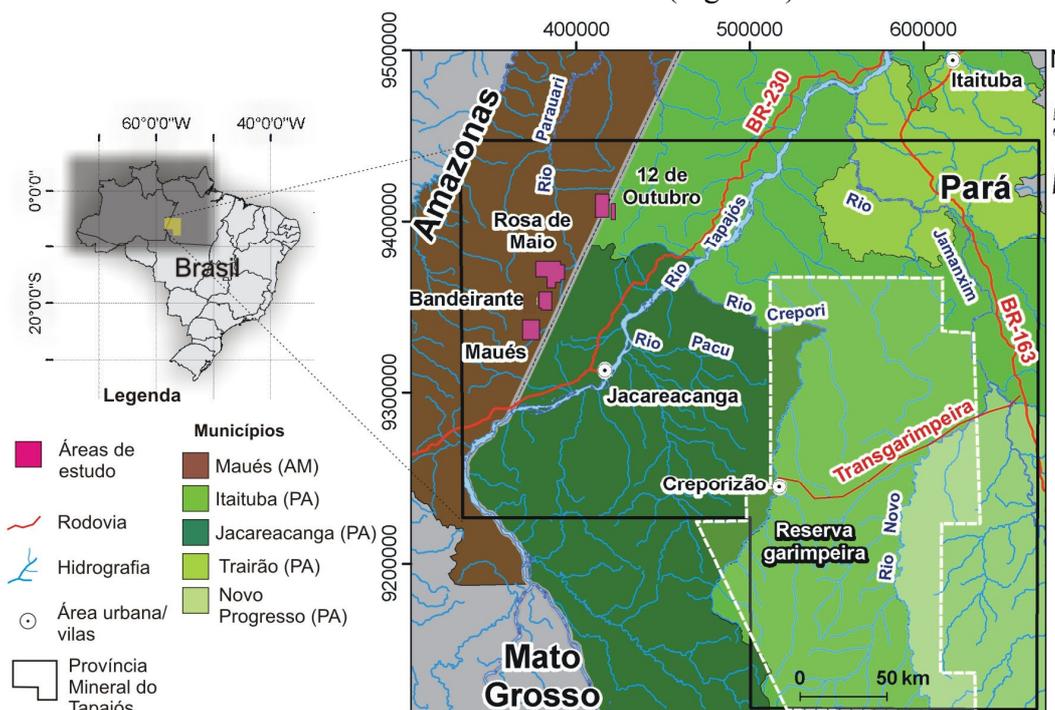


Figura 1. Localização da Província Mineral do Tapajós, incluindo principais vias de acesso, rede de drenagem e as áreas dos prospectos investigadas (Modificado de Klein et al., 2001; CPRM, 2004).

## 2. Materiais

Os materiais empregados consistem em:

- dados aerogamaespectrométricos e aeromagnetométricos gradiométricos de alta resolução adquiridos em 2006: a altura de vôo foi mantida constante em 100 m e as linhas de vôo (N-S) e de controle (E-W) variaram, respectivamente, da seguinte maneira: para o bloco 12 de Outubro consistiram em 100 m e 2300 m; para o bloco Maués compreenderam 400 m e 4500 m; para o bloco Bandeirante equivaleram a 400 m e 4000 m; para o bloco Rosa de Maio consistiram em 75 m e 750 m (Lasa Engenharia e Prospecções S.A., 2006a, b);
- dados geológicos coletados em campo e gamaespectrométricos: foi usado o gamaespectrômetro portátil GRS-500 da SCINTREX, caracterizado por um detector de cristal de iodeto de sódio ativado à tálio e com volume de 124 cm<sup>3</sup>. As leituras, em cps, foram realizadas nos canais de K (entre 1,35 e 1,59 MeV), eU (entre 1,65 e 1,87 MeV), eTh (entre 2,45 e 2,79 MeV) e CT (contagem total acima de 0,40 MeV), considerando-se um tempo de amostragem de cerca de 2 minutos;
- imagens SAR-R99B, da Missão Terra do Meio Oeste: segmentos imageados em banda L, polarização HH, com resolução espacial em alcance e azimute de 18 m e tamanho de

pixel de 15 m. Foram empregados 8 *looks* e ângulo de incidência (*near ao far range*) variando de 45° a 81,10° (com visada para oeste);

- dados de geoquímica de ouro: foram cedidos pela empresa Mapex Mineração, Importação e Exportação Ltda. para as áreas dos prospectos Maués (594 amostragens para ouro em solo), Rosa de Maio (7323 amostragens para ouro em solo) e 12 de Outubro (739 amostragens para ouro em solo). Análises para ouro em solo foram realizadas pelo método *Fire Assay* e os dados geoquímicos de rocha foram obtidos a partir de análises no Laboratório ACME – Analítica Laboratórios Ltda., Canadá. As análises foram realizadas segundo as rotinas 4a e 4b.

### 3. Relações entre dados geológicos e gamaespectrométricos terrestres

Entre 05 e 14 de Setembro de 2008, foi realizada campanha de campo nos prospectos 12 de Outubro, Rosa de Maio, Bandeirante e Maués, num esforço conjunto do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e da empresa Mapex Mineração, Importação e Exportação Ltda. As seguintes características foram observadas:

- prospecto 12 de Outubro: riolitos e brechas hidrotermais são hospedeiros de ouro. Tais rochas são consideradas como pertencentes ao Grupo Iriri (~1,8 Ga), e a alteração hidrotermal predominante é a silicificação, sendo observada a presença de *stockworks* (*vide* Figura 2);

- prospectos Rosa de Maio e Bandeirante: verificação de granitos pertencentes à Suíte Intrusiva Parauari (~1,8 Ga), como o biotita-monzogranito porfirítico indicado na Figura 2. A feldspatização está comumente associada às mineralizações de ouro;

- prospecto Maués: poucos afloramentos foram verificados. As rochas hospedeiras de ouro compreendem quartzo-muscovita xistos pertencentes ao Grupo Jacareacanga (~2,1 Ga) (Figura 2). Blocos rolados de quartzo sulfetado (pirita) foram constatados em campo, conforme apresentado na figura 2.

Medidas gamaespectrométricas foram efetuadas com o instrumento GRS-500 nos prospectos acima citados. A partir destes dados medidos em campo, realizou-se a aplicação de estatística multivariada, selecionando-se 18 amostragens de K, Th, U e CT. A Análise por Principais Componentes (APC) foi aplicada, seguindo-se do emprego do classificador não-supervisionado K-médias (MacQueen, 1967) nos dados de escores gerados da APC. Com base nos autovetores produzidos (Figura 2), observa-se que a primeira componente principal (PC1) é caracterizada por variância total de 91.916% além de alta contribuição positiva (>0.9) de todas as quatro variáveis (K, eTh, eU e contagem total). Optou-se pela produção do gráfico da PC1 *versus* materiais geológicos medidos (Figura 2). No eixo da PC1 é possível analisar um domínio referente às medidas gamaespectrométricas com menores escores que está associado a rochas com baixas contagens da radiação gama e que perfazem rochas máficas e solos provenientes de rochas metassedimentares, graníticas e vulcânicas; outro domínio no gráfico é marcado por maiores valores de escores, abrangendo rochas félsicas mineralizadas e aquelas félsicas não mineralizadas e menos afetadas pelo intemperismo. Nota-se que as contagens da radiação gama vão aumentando dos granitos Parauari não-mineralizados (e.g., RM-MAG02 – K = 8 cps, eTh = 5 cps, eU = 6 cps, contagem total = 140 cps), passando para o quartzo-muscovita xisto do Grupo Jacareacanga (MA-MAG01 - K= 8 cps, eTh= 6 cps, eU= 7.5 cps, contagem total = 142 cps), os riolitos brechados mineralizados e silicificados do Grupo Iriri (DO-MAG01, DO-MAG02, DO-MAG03 – K=10 cps, eTh = 8 cps, eU = 10 cps, contagem total = 200 cps), granitos Parauari mineralizados (e.g., RM-MAG04 - K=13 cps, eTh = 10 cps, eU = 10 cps, contagem total = 235 cps), riolitos Iriri não-silicificados (e.g., R001-071 – K=13 cps, eTh = 10

cps,  $eU = 11$  cps, contagem total = 245 cps), até o granito Parauari feldspatizado constatado no Prospecto Bandeirante, o qual é caracterizado pelos maiores valores gamaespectrométricos (BD-MAG04 -  $K = 18$  cps,  $eTh = 14$  cps,  $eU = 15$  cps, contagem total = 220 cps) (Figura 2). De forma geral, o gráfico da PC1 (Figura 2) torna possível analisar características pontuais que diferenciam rochas hidrotermalizadas e aquelas que não foram afetadas por tal processo.

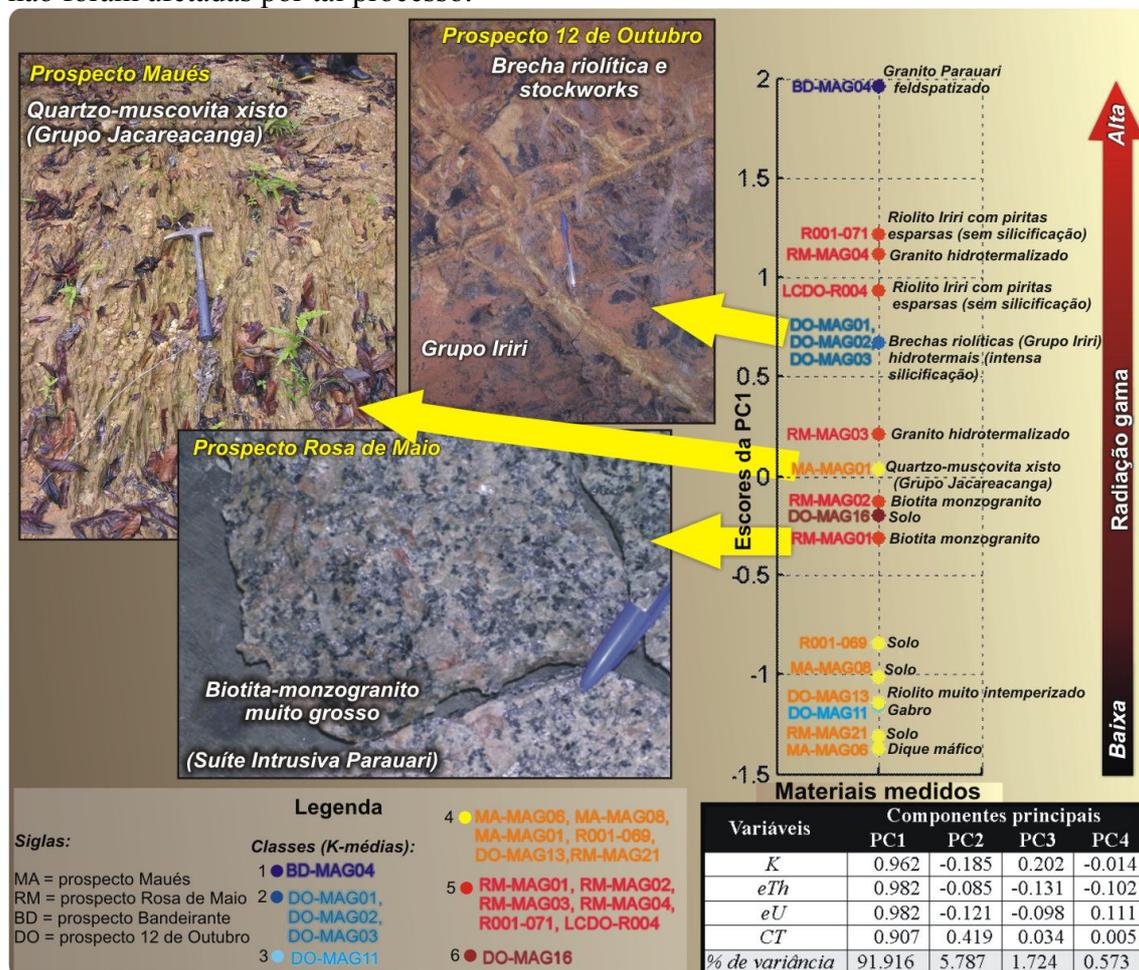


Figura 2. Gráfico de escores da PC1 vs. materiais medidos e individualização de classes geológico-gamaespectrométricas a partir de dados pontuais medidos pelo GRS-500. Exemplos de materiais geológicos medidos estão apresentados.

#### 4. Processamento de imagens e integração de dados

Os dados aerogamaespectrométricos foram, inicialmente, analisados quanto a possíveis existências de dados espúrios. Valores negativos foram corrigidos e, posteriormente, os dados foram interpolados por meio da aplicação da técnica curvatura mínima e micronivelados a partir da metodologia de Minty (1991). Os dados aeromagnetométricos gradiométricos foram analisados por meio dos métodos Parâmetro P e Diferença Quarta (Blum, 1999) para identificação de possíveis inconsistências. Em todos os levantamentos, não foram observadas inconsistências não justificáveis. O método bi-direcional foi escolhido para interpolação dos dados e o micronivelamento foi realizado segundo Minty (1991). Os seguintes tamanhos de células foram selecionados: 15 m para o Prospecto Rosa de Maio; 100 m para o Prospecto Maués; 80 m para o Prospecto Bandeirante; 25 m para o Prospecto 12 de Outubro. Foram geradas as seguintes imagens: dos canais de  $K$  (%),  $eTh$  (ppm),  $eU$  (ppm), contagem total ( $\mu R/h$ ) e razão  $K/eTh$ ; imagens do campo magnético anômalo (CMA), das derivada horizontais

e vertical de primeira ordem do CMA, da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e dos gradientes horizontais medidos nas direções x e y ( $G_x$  e  $G_y$ ).

As imagens SAR-R99B foram corrigidas quanto ao padrão de antena, utilizando uma função de correção de ordem 5. O formato multivisada tornou dispensável o emprego de filtros adaptativos para redução de *speckle*. Pontos de controle (82) foram usados para correção geométrica, resultando num erro quadrático médio de 17,58 m.

Os dados de geoquímica de ouro em solo dos prospectos Rosa de Maio e 12 de Outubro foram processados por meio da simulação indicatriz sequencial (SIS), uma técnica que objetiva a reprodução das características globais a partir da produção de modelos ilimitados, onde cada um é uma representação da realidade (Goovaerts, 1997). Após a determinação de variogramas experimentais e da modelagem dos variogramas, esta simulação estocástica foi aplicada por meio da determinação de 500 imagens equiprováveis, a partir das quais, foi produzida a imagem da média das simulações. Por fim, optou-se pela geração da imagem de corte de 25% de probabilidade de ocorrência de anomalias de ouro maiores ou iguais a 50 ppb.

As imagens geradas foram interpretadas e/ou integradas por meio da fusão IHS. Um quadro resumindo os principais produtos multifonte integrados e os vetores de exploração aurífera estabelecidos a cada prospecto está apresentado nas figuras 3 e 4. A partir das mesmas, verifica-se que:

- com relação ao Prospecto 12 de Outubro, as ocorrências de ouro e os pits estão associados a baixos gradientes magnéticos mapeados a partir das imagens dos gradientes horizontais medidos  $G_x$  e  $G_y$ , com direção dominante ENE-WSW, e com respostas médias a altas da ASA. Em imagem SAR-R99B, este padrão estrutural também é visível. Estas feições ENE-WSW devem representar um sistema de fraturas ou falhas rúpteis associado com o contexto das mineralizações de ouro. Por tal, constituem uma importante zona de influência metalogenética para a prospecção aurífera nesta região. Riólitos Iriri são caracterizados por altos valores de K, eTh, eU e contagem total. A ocorrência de riólitos brechados, mineralizados e caracterizados por intensa silicificação reduz sutilmente as contagens de radiação gama, o que é facilmente visível em dados pontuais coletados em campo pelo GRS-500 (vide Figura 2). Nas imagens aerogamaespectrométricas, tal padrão torna-se difícil de verificação, e respostas de alto eTh (com baixos de K e eU) são dominantes e associados a rególitos;
- na região do prospecto Maués, as feições estruturais mais importantes foram observadas nas imagens gamaespectrométricas e SAR-R99B, compreendendo lineamentos quilométricos de direção NW-SE, inclusos no *trend* aurífero Patrocínio-Espírito Santo, que já foram destacados na literatura como um importante sistema transcorrente que atuou como conduto de fluidos hidrotermais (e.g., Klein et al., 2001). Muitas das anomalias de ouro em solo (> 50 ppb) estão relacionadas com a influência regional de tais estruturas. Em função de poucos dados coletados em campo, principalmente em referência a alterações hidrotermais, há uma resposta de altos valores no canal do K que, sem arriscar-se em analogias a tipos de alteração hidrotermal, deve estar relacionada ao *background* dos metassedimentos paleoproterozóicos que são hospedeiros das mineralizações de ouro;
- a área do Prospecto Rosa de Maio é marcada por forte atenuação da radiação gama por conta da presença de espessa cobertura de solos e ausência de bons afloramentos (Figura 4). Este fato, nas imagens aerogamaespectrométricas, tornou dificultoso observar com acurácia, respostas de enriquecimento potássico (em analogia às observações feitas em campo, como a existência de feldspatização), visto que aluviões são caracterizados, analogamente, por enriquecimento de K. Isto exemplifica bem que o método aerogamaespectrométrico compreende uma ferramenta cuja utilidade mostrou-se, em

parte, afetada em função das condições ambientais na PMT, como a existência de espessos solos e aluviões que reduzem a detecção das respostas gamaespectrométricas (IAEA, 2003). A mobilidade dos radioelementos K e eU é intensamente favorecida pela presença de relevo suave em platôs, além do clima quente e úmido associado. Assinaturas de alto K e de médio a alto U estão comumente relacionadas com aluviões na PMT, por constituírem elementos mais móveis que o eTh. Estruturas E-W, NE-SW e NNE-SSW são observadas na imagem SAR-R99B (Lhh) as quais configuram as principais direções de zonas de alteração hidrotermal mapeadas pela MAPEX. Anomalias de ouro em solo estão espacialmente associadas com a presença de diques máficos, conforme analisado na imagem do gradiente medido em y (Gy). Tal fato pode implicar num papel destes diques em uma possível remobilização do ouro paleoproterozóico, visto que tais diques foram considerados por Santos et al. (2002) como pertencentes ao Diabásio Piranhas, de idade de ~507 Ma, ou seja, posteriores à gênese do ouro. Com relação ao Prospecto Bandeirante, há a necessidade de aquisição de levantamento aeromagnetométrico gradiométrico com espaçamento das linhas de vôo similar àquele empregado no Prospecto Rosa de Maio (75 m). O *trend* aurífero Patrocínio-Espírito Santo é observado na região do Prospecto Bandeirante (Figura 4), além de estruturas E-W e NNE-SSW e NE-SW (similar ao verificado no Prospecto Rosa de Maio). O papel dos diques máficos também é ainda preliminar, a respeito de uma possível remobilização do ouro paleoproterozóico, assim como aparentemente parece ocorrer no Prospecto Rosa de Maio. Além disso, é necessário maior adensamento de dados de geoquímica de rocha e de solo, visto que o reconhecimento geológico neste prospecto está em fase inicial. Os dados medidos pelo GRS-500, caracterizando o enriquecimento potássico do granito Parauari feldspatizado, compreendem a melhor caracterização indireta realizada neste prospecto no presente trabalho. Entende-se que o uso de metodologias que realçam o K, como o Parâmetro F e razões de radioelementos (e.g., K/eTh), facilitam a identificação de granitos hidrotermalizados nos dois prospectos, principalmente, considerando-se dados pontuais medidos em campo ou em laboratório.

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos (Figuras 2, 3 e 4) indicam a grande variedade associada às assinaturas geofísicas características de rochas hospedeiras metassedimentares, vulcânicas e graníticas da PMT, somando-se as respostas esperadas para as alterações hidrotermais predominantes em cada prospecto, assim como diferentes feições geofísicas e estruturais que possam estar relacionadas a cada setor abordado.

Neste trabalho conclui-se que a metodologia que pode ser utilizada com sucesso para a caracterização de ambientes mineralizados na PMT compreende a determinação de propriedades petrofísicas, etapa esta que deve ser empregada nos primeiros estágios de estudo de prospectos, uma vez que auxilia de maneira mais robusta a identificação das principais características de um depósito e posterior seleção dos métodos geofísicos mais adequados a se empregar. Desta forma, um banco de dados consistente derivado da extração de respostas gamaespectrométricas terrestres e de susceptibilidade magnética, por exemplo, poderá ser analisado conjuntamente com os aspectos mineralógicos e outros dados geológicos intrínsecos às rochas mineralizadas em diferentes contextos nesta província. Adicionalmente, a análise conjunta de dados coletados em campo (geológicos, geoquímicos, geofísicos) e imagens de sensores remotos e aerogeofísicas, por exemplo, proporciona o refinamento interpretativo para a cartografia geológica e análise prospectiva em terrenos de baixo conhecimento geológico. Esta integração de dados permitiu a determinação de vetores de exploração aurífera nos quatro prospectos aqui

abordados da PMT (Figuras 3 e 4), numa tentativa inicial de seleção de guias prospectivos num ambiente do tipo *greenfield*. A presença de solos e aluviões afetou as respostas gamaespectrométricas esperadas para rochas *in situ*, devendo haver cautela na interpretação destes dados, principalmente aqueles adquiridos em plataformas aéreas.

### Agradecimentos

Agradecemos à UnB pelo suporte técnico, ao CNPq pelo projeto CT-Mineral (nº. 555063/2006-2), e à CAPES pela bolsa de mestrado. A.M. Silva e N.F. Botelho agradecem ao CNPq pelas respectivas bolsas de produtividade em pesquisa.

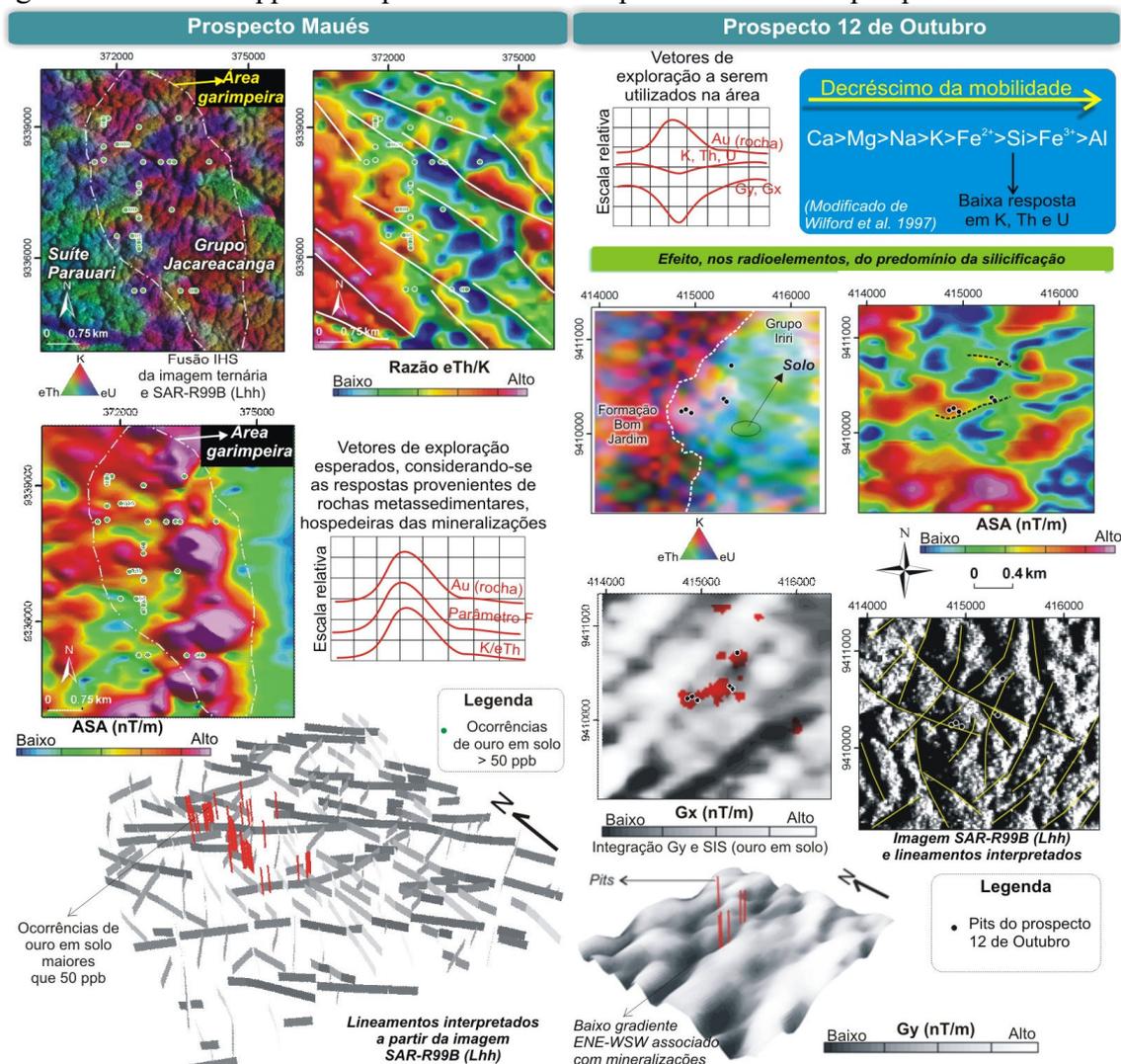


Figura 3. Interpretação de dados multifonte e vetores de exploração aurífera determinados aos prospectos Maués e 12 de Outubro.

### 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. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 229 p, 1999.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Carta geológica do Brasil ao milionésimo (em CD-ROM), 2004.

Goovaerts P. Geostatistics for natural resources evaluation. London, Oxford University Press, 483 p, 1997.

IAEA (International Atomic Energy Agency) Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. Viena, IAEA-TECDOC, 173p, 2003.

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, 2001.

Lasa Engenharia e Prospecções S.A. Levantamento aeromagnetométrico gradiométrico e aerogamaespectrométrico. Blocos Bandeirante, Maués e Doze de Outubro: relatório final de aquisição e processamento de dados. Volume 1. Textos técnicos e anexos. 41 p, 2006a.

Lasa Engenharia e Prospecções S.A. Levantamento aeromagnetométrico gradiométrico e aerogamaespectrométrico. Bloco Rosa de Maio: relatório final de aquisição e processamento de dados. Volume 1. Textos técnicos e anexos. 37 p, 2006b.

MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: University of Blerkely, Blerkely Symposium on Mathematical Statistics and Probability, 5<sup>th</sup>, Blerkely, 325-350, 1967.

Minty B.R.S. Simple micro-levelling for aeromagnetic data. Exploration Geophysics, v. 22, 591-592, 1991.

Wilford P.N., Bierwirth P.N., Craig M.A. Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, v.17, n.2, 201-216, 1997.

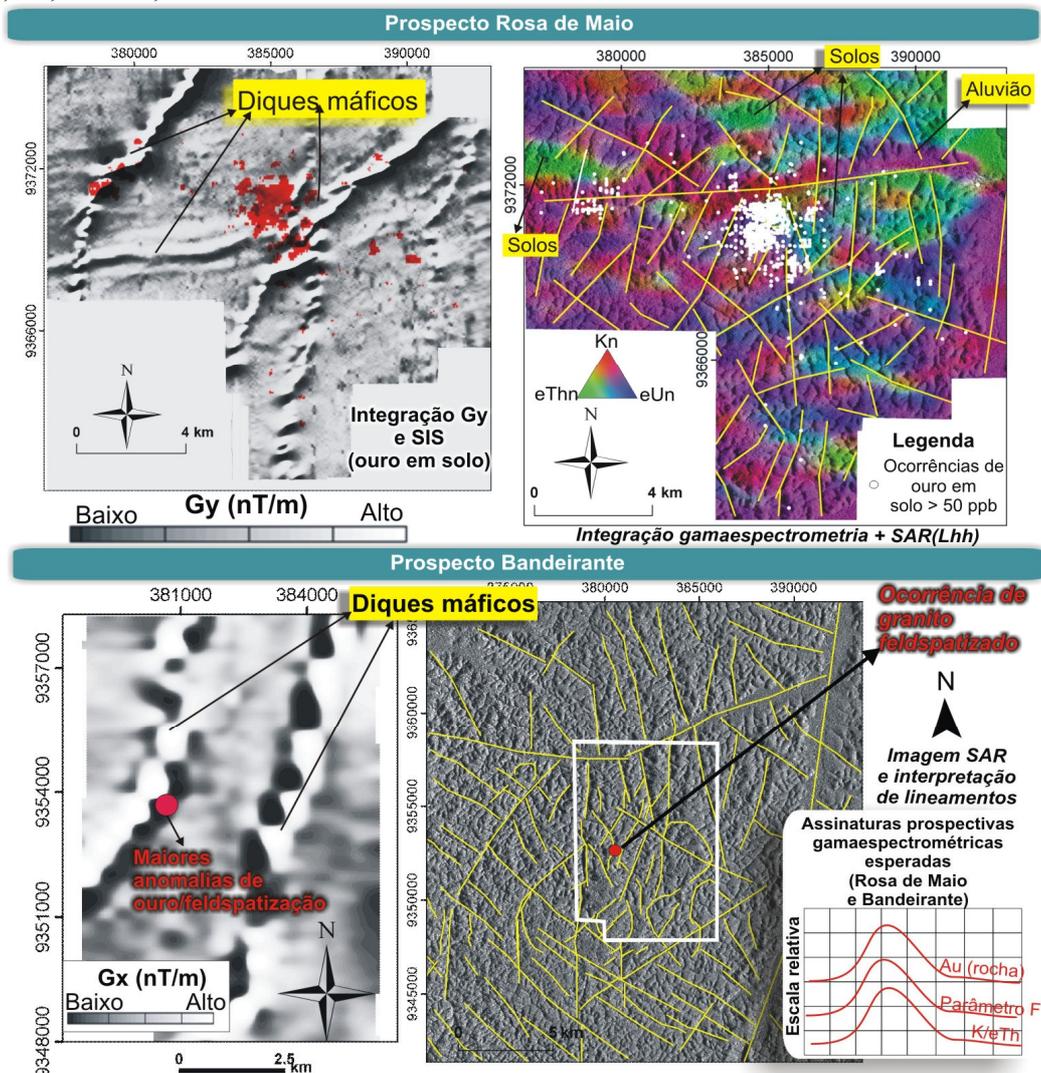


Figura 4. Interpretação de dados multifonte e vetores de exploração aurífera determinados aos prospectos Rosa de Maio e Bandeirante.