

Espectroscopia de reflectância na identificação de assembleias minerais de alteração hidrotermal associadas a depósitos auríferos orogênicos no Cinturão Gurupi (MA/PA) - Brasil

Mônica Mazzini Perrotta¹
Evandro Luiz Klein¹

¹ Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM
Setor Bancário Norte - Quadra 02, Bloco H - Edifício Central Brasília, Brasília - DF, Brasil
{monica.perrotta, evandro.klein}@cpqm.gov.br.br

Abstract. The Rhyacian Chega Tudo Formation and the Tromai Intrusive Suite, in the basement of the Neoproterozoic Gurupi Orogenic Belt, host several shear-zone related hydrothermal gold mineralizations considered as mesozonal orogenic gold deposits (Klein et al., 2005). Reflectance spectroscopy data, acquired by the ASD-FieldSpec-3 Hi-Resolution spectrometer in laboratory measurements applied to samples of predominantly felsic to intermediate volcanic rocks from the Chega Tudo Formation, and intermediate plutonic rocks from the Tromai Intrusive Suite, were analyzed for the characterization of hydrothermal alteration mineralogical assemblages. The results demonstrate the efficiency of spectral analysis in identifying the typical mineral assemblages of the three main alteration zones related to orogenic gold systems. In the rocks of the Chega Tudo Formation volcanosedimentary sequence Fe/Mg-chlorite (+/- minor carbonate +/- minor sericite) were recognized in the distal or Chlorite zone; Fe-carbonate (+/- potassic to phengitic sericite +/- chlorite) in the intermediate or Carbonate zone; and phengitic or tending to phengitic sericite (+/- minor carbonate) in the proximal or White Mica-Pyrite zone. In the Chega Tudo volcanic sequence the distal zone is characterized by Fe or Fe/Mg-chlorite (+/- minor potassic sericite); the intermediate zone mineralogy includes muscovite associated to Fe-chlorite and rare carbonate; and the proximal zone is characterized by phengite (+/- minor Fe-chlorite). In the Tromai Suite, hornblende and epidote from original or metamorphic paragenesis were recognized in association with Fe/Mg-Chlorite and tending to phengitic sericite in more unaltered rocks and distal zones while hornblende is absent in the more proximal zones dominated by phengitic sericite.

Palavras-chave: spectral analysis, orogenic gold mineralisation, hydrothermal alteration mineralogy, análise espectral, ouro orogênico, mineralogia de alteração hidrotermal.

1. Introdução

Análises espectroscópicas geram assinaturas espectrais sob a forma de curvas da variação da intensidade da reflectância ou emissividade conforme o comprimento de onda do espectro eletromagnético. No intervalo entre o visível e o infravermelho de ondas curtas, estas assinaturas delineiam feições resultantes da absorção da radiação da luz, em comprimentos de onda específicos, devido a processos eletrônicos e vibracionais no nível atômico ou molecular na estrutura dos minerais, permitindo a identificação de determinadas fases e suas variações composicionais (Clark, 1999), com destaque para óxidos, silicatos, sulfatos e carbonatos de ferro e/ou magnésio e/ou cálcio; argilominerais; filossilicatos; óxidos e carbonatos de cobre; silicatos hidroxilados; sulfatos; hidróxidos de alumínio e carbonatos.

Neste estudo, a interpretação de assinaturas espectrais de rocha teve como foco a obtenção de informações sobre o conteúdo mineral desenvolvido pela alteração hidrotermal responsável pela concentração do minério de ouro no Cinturão Orogrênico Gurupi. Dentro do contexto do programa de investigação em "Áreas de Relevante Interesse Mineral" (ARIM), desenvolvido pela CPRM, foram abordadas as unidades estratigráficas aflorantes na ARIM Gurupi (Figura 1), mas serão discutidos os resultados obtidos na Formação Chega Tudo e na Suíte Intrusiva Tromai, unidades que hospedam a maioria das mineralizações auríferas.

1.1 Geologia e Modelo Metalogenético

A Formação Chega Tudo (Figura 1), de idade riaciana, ocorre no Cinturão Orogrênico Gurupi em duas unidades, uma de origem vulcanossedimentar, predominante, e outra essencialmente vulcânica. A unidade vulcanossedimentar é constituída de uma associação de

rochas metavulcânicas félsicas e máficas, associadas a xistos máficos e rochas sedimentares clásticas. A unidade vulcânica consta principalmente de rochas metavulcânicas de composição ácida a intermediária. Metamorfismo de grau fraco a médio afeta todo o conjunto. Mais de 50 jazimentos de ouro estão hospedados nesta unidade, incluindo os depósitos Cachoeira e Chega Tudo. Klein et al. (2005) descreveram no depósito de ouro Cachoeira alteração hidrotermal em quatro estágios. O primeiro consta de quartzo em veios com ou sem sulfetos; no segundo, de alteração do tipo pervasiva, penecontemporâneo a outro de venulações, ocorre uma associação de quartzo, carbonato (dolomita), albita e sulfetos, além de clorita e mica branca nos termos félsicos. A última fase é caracterizada por venulações de calcita.

A Suíte Intrusiva Tromai (Figura 1), de idade riaciana e afinidade calcialcalina, com termos tonalíticos a monzograníticos, hospeda o depósito aurífero Cipoeiro e mais de duas dezenas de garimpos. Klein et al. (2007) descrevem a paragênese hidrotermal pós-metamórfica como composta de quartzo, calcita, clorita (Fe-clinocloro), mica branca fengítica, pirita e subordinadamente albita.

Devido às características geológicas, químicas e isotópicas os depósitos do Cinturão Gurupi foram considerados por Klein et al. (2005, 2007) como compatíveis com depósitos de ouro orogênico, similares aos encontrados em terrenos do tipo *greenstone-belt* do Arqueano e do Paleoproterozoico (Groves et al., 1998).

Tratando de depósitos de ouro associados a terrenos do tipo *greenstone*, Pontual et al. (2008a) abordam as associações mineralógicas reconhecidas pelas análises por espectroscopia de reflectância relativas a três zonas de alteração hidrotermal que demarcam a intensificação dos efeitos sobre as encaixantes até a recristalização final dos corpos mineralizados. A zona da clorita, distal, é caracterizada pela assembleia de alteração composta de clorita e carbonato (calcita e/ou ankerita); mica branca (de composição paragonítica ou muscovítica), presente nos termos félsicos e metassedimentos; e talco, presente nas rochas ultramáficas. A zona do carbonato, intermediária, tem como mineral distintivo o Fe-carbonato (siderita ou ankerita), mas que geralmente ocorre com outros minerais tais como mica branca, essencialmente muscovítica ou tendendo a fengítica, e clorita. A presença de um ou outro marcaria também as zonas de transição clorita-carbonato e carbonato-mica branca. Finalmente, a zona da mica branca-pirita, proximal com relação às concentrações minerais, tem a mica branca de composição fengítica como principal mineral micáceo. Secundariamente, Fe-carbonato (ankerita ou siderita) pode estar presente, e pirita é o principal sulfeto.

2. Método de trabalho

Análises espectrais de 43 amostras de rocha coletadas em afloramento ou em testemunhos de sondagem foram realizadas por meio do espectrorradiômetro ASD-FieldSpec-3 Hi-Resolution, que tem 2.151 bandas espectrais distribuídas nos comprimentos de onda entre 0,350 μm e 2,500 μm . Cento e uma medidas foram feitas utilizando-se sonda de contato, com fibra óptica acoplada e luz artificial própria, de forma a se obter uma assinatura espectral para cada categoria de face da amostra conforme a variação do tipo (exposta, quebra natural ou serrada); grau de intemperismo; cor; relação angular com a foliação ou bandamento; e relação matriz-megacristais. Estas análises encontram-se disponíveis no GEOBANK - CPRM.

A interpretação mineralógica das assinaturas espectrais foi realizada por meio dos softwares ENVI® 5.2 e TSG (*The Spectral Geologist*). Utilizou-se tanto os espectros de reflectância como os espectros com o contínuo removido para realce das feições de absorção. As bibliotecas espectrais de referência utilizadas na identificação mineral foram as do *United States Geological Survey* (USGS) (Clark et al., 1993), e do *GMEX Spectral Library Handbook* (Pontual et al., 2008a, b), além da biblioteca incorporada no *software* TSG. Nesta interpretação utilizaram-se as análises petrográficas como apoio e validação ao método.

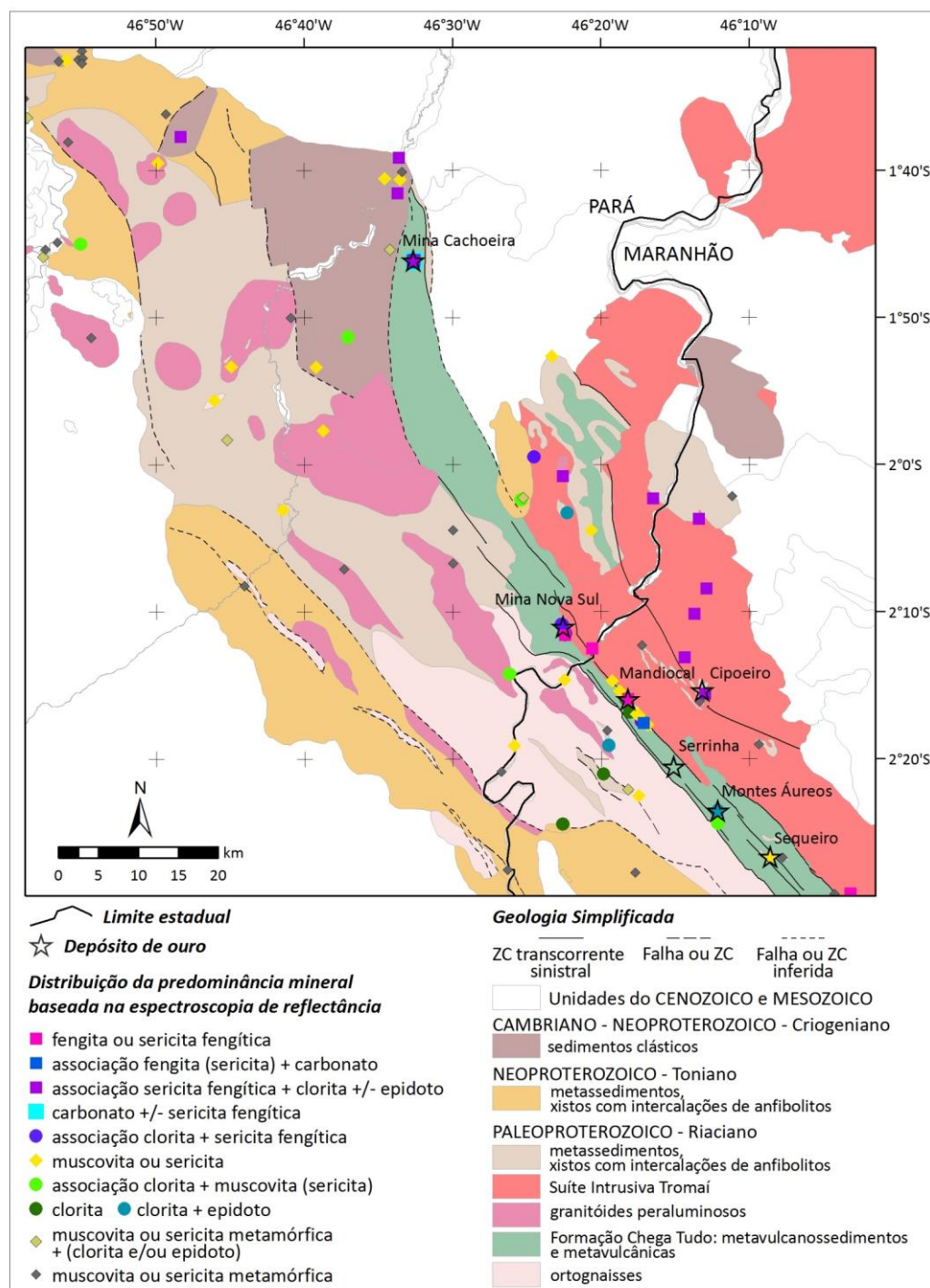


Figura 1. Mapa geológico simplificado do Cinturão Gurupi na área de estudo com localização dos principais depósitos auríferos e distribuição da predominância mineral baseada na espectroscopia de reflectância (Fonte: Projeto ARIM Gurupi - Klein et al., inédito).

3. Resultados e Discussão

Assinaturas espectrais de amostras da unidade vulcanossedimentar da Formação Chega Tudo (Tabela 1), coletadas em afloramentos nas proximidades do depósito Cachoeira, são mostradas na Figura 2A. Representam misturas minerais e foram identificadas assembleias típicas das zonas de alteração desde a mais distal (da clorita) até a mais proximal (da mica branca fengítica), com transição pela zona carbonática. Os espectros foram organizados de

baixo para cima acompanhando a intensificação da alteração hidrotermal com o objetivo de se reconhecer possíveis vetores na direção de corpos mineralizados.

Tabela 1. Classificação litológica das amostras analisadas. Formação Chega Tudo unidade vulcanossedimentar: superfície (1326-EK-R-0065-B a 0069-B), testemunhos de sondagem (4047-EK-R-0110-A a 0113-G). Formação Chega Tudo unidade vulcânica: superfície (2119-EK-R-0201 a 0221), testemunhos de sondagem (4047-EK-R-0107-A a 0107-C). Suíte Intrusiva Tromai: superfície (2119-EK-R-0095-A a 2119-EL-R-0056), testemunhos de sondagem (4047-EK-R-0109-A e 0109-B). hb: hornblenda, bt: biotita, qzo: quartzo.

Formação Chega Tudo: unidade vulcanossedimentar		Formação Chega Tudo: unidade vulcânica	
Amostra	Rocha	Amostra	Rocha
1326-EK-R-0065-B	metavulcânica félsica	2119-EK-R-0201	metadacito
1326-EK-R-0065-E	metavulcânica félsica	2119-EK-R-0214	metandesito/dacito
1326-EK-R-0065-F	milonito	2119-EK-R-0216-B	metadacito
1326-EK-R-0066-A	tufo riolítico	2119-EK-R-0218	metandesito/dacito
1326-EK-R-0067-A	hidrotermalito	2119-EK-R-0219	metadacito pórfiro
1326-EK-R-0067-B	hidrotermalito	2119-EK-R-0220	metatufo ácido
1326-EK-R-0068-A	brecha hidrotermal	2119-EK-R-0221	metadacito/tonalito
1326-EK-R-0069-B	hidrotermalito	4047-EK-R-0107-A	metadacito
4047-EK-R-0110-A	metadacito/andesito	4047-EK-R-0107-B	metadacito
4047-EK-R-0110-B	metabásica	4047-EK-R-0107-C	metadacito
4047-EK-R-0110-C	metatufo carbonoso	Suíte Intrusiva Tromai	
4047-EK-R-0110-D	metadacito/andesito	Amostra	Rocha
4047-EK-R-0110-E	metadacito/andesito	2119-EK-R-0095-A	hb-metatonalito
4047-EK-R-0112-A	metadacito/andesito	2119-EK-R-0109	monzogranito
4047-EK-R-0112-B	veio de quartzo	2119-EK-R-0124	bt-granodiorito
4047-EK-R-0112-C	metadacito/andesito	2119-EK-R-0134	hb tonalito
4047-EK-R-0112-D	metadacito/andesito	2119-EK-R-0187-A	hb-granodiorito
4047-EK-R-0113-A	metabasalto	2119-EL-R-0033-A	hb qzo-monzodiorito
4047-EK-R-0113-B	metabasalto	2119-EL-R-0056	hb qzo-monzodiorito
4047-EK-R-0113-C	metabasalto	4047-EK-R-0109-A	microtonalito
4047-EK-R-0113-D	metadacito/andesito	4047-EK-R-0109-B	tonalito
4047-EK-R-0113-E	metadacito/andesito		
4047-EK-R-0113-F	metarriolito/dacito		
4047-EK-R-0113-G	metatufo félsico		

Nas assinaturas espectrais em que clorita foi identificada como mineral principal, feições diagnósticas de absorção típicas da ligação Fe-OH entre 2,253 μm e 2,258 μm , e da ligação Mg-OH em aproximadamente 2,348 μm , além de feição em 2,000 μm , permitem concluir por composição ferromagnésiana. Também típica do ferro ferroso é a rampa negativa entre 1,7 μm e 1,3 μm . A partir da amostra 1326-EK-R-0067-B em direção ao topo do gráfico da Figura 2A a feição de absorção mais relevante para identificação da mica branca, associada à ligação Al-OH, se torna evidente, variando em posição de 2,214 μm , de composição entre muscovítica e fengítica, até a posição em 2,224 μm de composição francamente fengítica. Nos espectros das amostras 1326-EK-R-0065-E e 1326-EK-R-0068-A, feições conjugadas em aproximadamente 1,060 μm e 1,270 μm , típicas do Fe²⁺ em Fe-carbonato, associadas à feição de absorção ligada ao CO₃ posicionada respectivamente em 2,350 μm e 2,344 μm , permite estimar como siderita o Fe-carbonato presente.

As assinaturas espectrais das amostras extraídas de testemunhos de sondagens realizadas no depósito Cachoeira (Tabela 1) estão organizadas nas Figuras 2B, 2C e 2D de cima para baixo conforme sua profundidade a partir da superfície, buscando-se avaliar possível sentido

de vetores da alteração hidrotermal na direção ascendente ou descendente dos testemunhos. No gráfico da Figura 2B verifica-se a presença de Fe-carbonato predominante nas amostras mais profundas até 107,5 m. Em 61,5 m a assinatura espectral de um metatufos carbonoso não é conclusiva, mas feição possivelmente associada à ligação Al-OH pode ser observada em 2,220 μm , das composições de mica branca fengítica. Em 49,5 m predomina clorita ferromagnésiana em associação com sericita em amostra de metabásica e em 47 m a mica branca de composição tendendo à fengítica predomina associada a carbonato e/ou clorita. Na profundidade de 47 m feição profunda e assimétrica em 1,905 μm , diagnóstica de argilomineral, provavelmente montmorilonita, pode estar associada à alteração supergênica ou à presença de fratura como duto para percolação de fluidos superficiais.

Nas amostras mais profundas do testemunho representado na Figura 2C, até 111,5 m, os espectros mostram a coexistência entre sericita tendendo a fengítica, com feição diagnóstica associada à ligação Al-OH em torno de 2,219 μm , e carbonato de ferro, com feição associada ao CO_3 variando entre 2,336 μm (de Fe-dolomita ou ankerita) a 2,346 μm (mais característica da siderita, apesar da superposição com a feição secundária da fengita). Na profundidade de 87 m identifica-se feição possivelmente associada à Al-OH em 2,220 μm , das composições de mica branca fengítica, em espectro de baixa qualidade obtido em veio de quartzo com sulfeto disseminado. Mas, a associação destas características parece indicar o auge da alteração hidrotermal neste ponto. Na profundidade de 84,5 m o mineral predominante é o Fe-carbonato associado à esmectita, indicando a atuação de fluidos superficiais.

No testemunho representado na Figura 2D, clorita ferromagnésiana associada a carbonato está presente na zona mais profunda, a 109 m. A partir de pelo menos 102 m até 98,3 m ocorre uma associação de sericita de composição tendendo a fengítica (feição diagnóstica principal da ligação Al-OH em aproximadamente 2,219 μm) e carbonato de ferro com feição de absorção do CO_3 em até 2,347 μm , mais característica de siderita. A partir de 96,15 m até a profundidade mais rasa amostrada do testemunho, a clorita ferromagnésiana volta a predominar em amostras de metabasalto, acompanhada de sericita e carbonato neste ponto, e de esmectita de alteração supergênica desde 84,9 m até 67,9 m.

A distribuição espacial das associações minerais identificadas é mostrada na Figura 2E. Os testemunhos de sondagem foram incluídos considerando-se a mineralogia identificada na amostra mais superficial, que sempre apresenta argilominerais. Percebe-se neste mapa que, em superfície, seria possível estimar-se uma tendência de progressão nas zonas de alteração hidrotermal grosseiramente de sul para norte e de nordeste para sudoeste. Em subsuperfície o testemunho de amostras de código 4047-EK-0110 indica condições mais intensas de alteração nas porções superficiais, até no mínimo 61 m, mas não atingindo a profundidade de 100 m, onde estaria presente a zona carbonática. Já nos testemunhos representados por amostras de códigos 4047-EK-0112 e 4047-EK-0113 as associações minerais mais proximais às condições de concentração do ouro se encontram em profundidades mais elevadas, a partir de 87 m e 98 m, respectivamente, sendo que no último até pelo menos 102 m, mas não ultrapassando os 109 m onde ocorre a associação de clorita e carbonato. Representou-se neste mapa também a posição da feição principal de absorção das ligações Al-OH e Fe-OH, que tem a variação no posicionamento associadas, nas amostras analisadas, à composição da mica branca e da clorita, respectivamente. Observa-se que as composições mais fengíticas da mica branca (feição Al-OH entre 2,220 μm e 2,225 μm , segundo Pontual et al., 2008b) ocorrem nas amostras da Mina Cachoeira (1326-EK-0065) e nos pontos 1326-EK-0067 e 1326-EK-0068. Estas observações corroboram e complementam as estimativas de tendência da progressão hidrotermal indicadas pela análise das associações minerais. No caso da feição associada à ligação Fe-OH, observa-se que a clorita nas amostras da Mina Cachoeira (1326-EK-0065) aparece em composições mais ricas em ferro (feição em 2,258 μm) enquanto composições caracteristicamente ferromagnésianas ocorrem nos pontos 1326-EK-0068 e 1326-EK-0069.

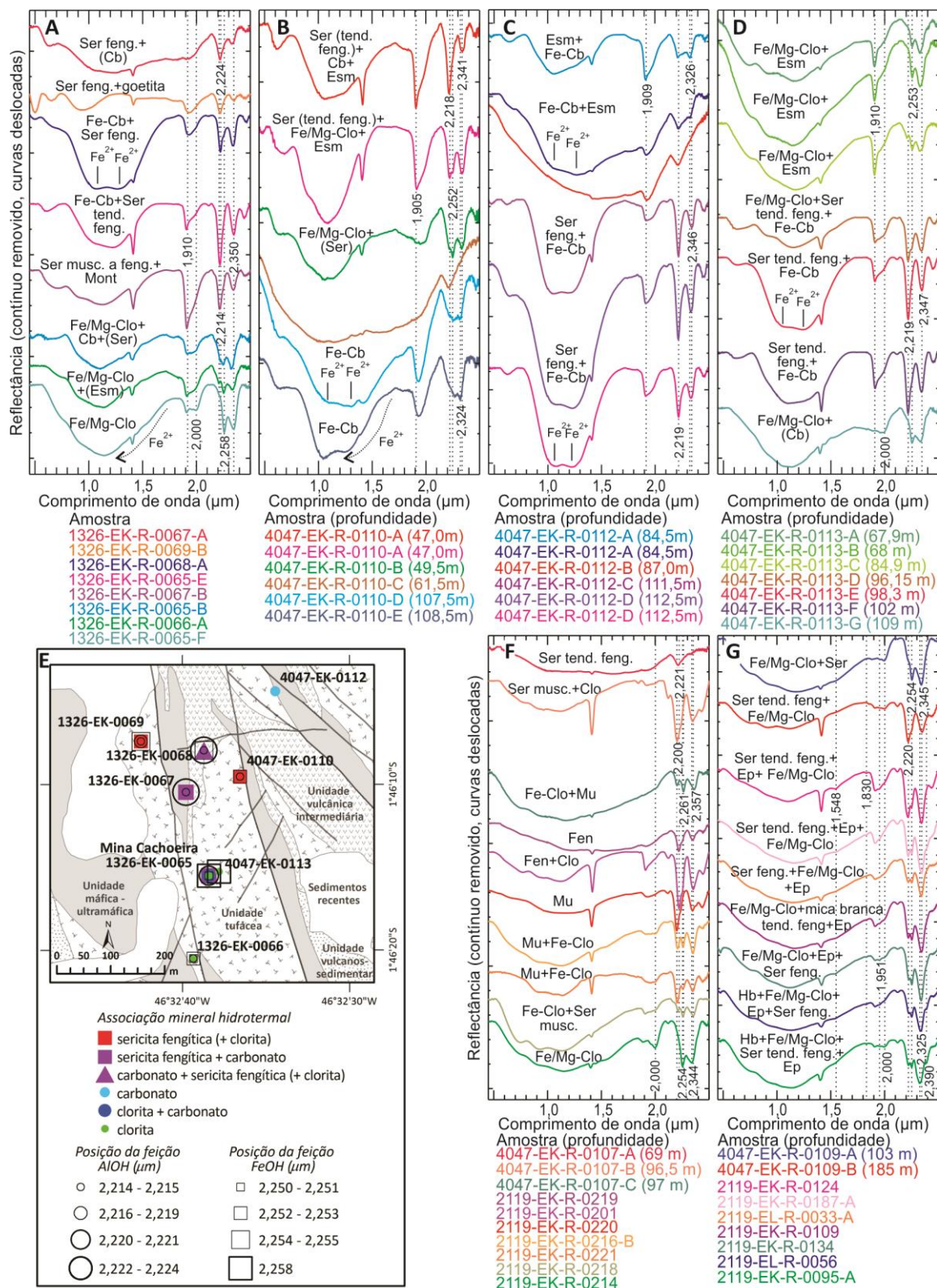


Figura 2. Gráficos das assinaturas espectrais estudadas: A, B, C, D - Formação Chega Tudo, unidade vulcanossedimentar; F - Formação Chega Tudo, unidade vulcânica; G - Suíte Intrusiva Tromai. Cb: carbonato, Clo: clorita, Ep: epidoto, Esm: esmectita, Fen: fengita, feng.: fengítica, Hb: hornblenda, Mon: montmorilonita, Mu: muscovita, musc.: muscovítica, Ser: sericita. E: Mapa de localização das amostras, unidade vulcanossedimentar da Formação Chega Tudo com referência à associação mineral e à posição das feições de absorção associadas às ligações Al-OH e Fe-OH. (Base geológica: Cachoeira Project Geology, Luna Gold. Corp., 2010 in: <http://brazilresources.com/projects/cachoeira/>)

A unidade metavulcânica da Formação Chega Tudo hospeda o corpo mineralizado Mandiocal e desta unidade dez amostras foram analisadas (Tabela 1). As análises resultaram nos espectros representados no gráfico da Figura 2F. Incluíram-se três amostras (códigos 4047-R-EK-0107A, B e C) de testemunho de sondagem realizada nas proximidades do corpo mineralizado, cujos espectros podem ser visualizados na porção superior do gráfico. Na base do mesmo as amostras de superfície foram organizadas de baixo para cima conforme possível incremento nas condições hidrotermais. Assim, o predomínio da clorita ferromagnésiana (feição diagnóstica do Fe-OH em 2,254 μm , e do Mg-OH em 2,344 μm), das zonas mais distais, dá lugar à associação entre mica branca, de composição muscovítica (feição do Al-OH entre 2,200 μm e 2,209 μm), e clorita, no geral rica em ferro (feição do Fe-OH acima de 2,258 μm , e do Mg-OH acima de 2,350 μm). Em direção às zonas mais proximais, como é o caso da amostra 2119-EK-R-0201, coletada no corpo Mandiocal, a mica branca passa a uma tendência fengítica (feição do Al-OH em 2,221 μm). No testemunho de sondagem, o vetor hidrotermal cresce em direção às menores profundidades.

No gráfico da Figura 2G estão representadas as assinaturas espectrais de nove amostras da Suíte Intrusiva Tromaí (Tabela 1), incluindo, no topo do gráfico, duas amostras coletadas num testemunho de sondagem realizada no depósito. Os demais espectros foram organizados de baixo para cima conforme o aumento da profundidade da feição em aproximadamente 2,220 μm , que caracteriza a mica branca. A hornblenda, comum na composição original das rochas da Suíte Tromaí, pôde ser reconhecida pela espectroscopia devido a duas feições diagnósticas associadas à ligação Mg-OH, uma, principal, posicionada entre 2,320 μm e 2,330 μm , e outra, secundária, posicionada entre 2,390 μm e 2,400 μm . Outro mineral comumente reconhecido nas assinaturas foi o epidoto que possui duas feições principais associadas às ligações Fe-OH e Mg-OH que se superpõem a feições semelhantes e mais persistentes de outros minerais ferromagnésianos, podendo ser identificado em misturas por meio de suas feições secundárias em aproximadamente 1,545 μm , 1,830 μm e 1,947 μm (Pontual et al., 2008b). Apesar do epidoto também constituir um mineral reconhecido em paragêneses de alteração hidrotermal em condições mesotermiais (e.g., Corbett e Leach, 1998), este mineral não foi descrito como da associação mineral hidrotermal do depósito de Cipoeiro em Klein et al. (2007), de forma que deve estar associado à desestabilização das paragêneses ferromagnésianas magmáticas pelo metamorfismo regional de grau fraco a médio. A clorita, de composição ferromagnésiana, pôde ser identificada em todos os espectros medidos (Figura 2G), principalmente devido à feição em aproximadamente 2,254 μm , da ligação Fe-OH, que persiste mesmo em pequenas proporções deste mineral. Quando a clorita predomina na associação mineral esta feição ocorre associada àquela posicionada em aproximadamente 2,345 μm da ligação Mg-OH, além da feição em 2,000 μm , também é comum na clorita ferromagnésiana. Quanto à mica branca, sempre presente nas amostras, no geral na forma de sericita, sua composição tende à fengítica com feição típica do Al-OH variando na posição entre 2,213 μm até 2,224 μm , da composição francamente fengítica.

3. Conclusões

A espectroscopia de reflectância permitiu a obtenção de informações mineralógicas sobre o conteúdo mineral desenvolvido pela alteração hidrotermal em ambiente orogênico mesozonal nos litotipos associados ao minério de ouro e suas encaixantes no Cinturão Gurupi. Foi capaz também de fornecer informações não muito simples de se obter a partir de análises petrográficas, tais como composição da mica branca, da clorita e do carbonato. No caso da principal unidade mineralizada da área estudada, a Formação Chega Tudo, as amostras analisadas, essencialmente de rochas vulcânicas e hidrotermalitos, mostraram que as assembleias típicas da zona mais distal à mineralização são dominadas por clorita, preferencialmente ferromagnésiana, associada a algum carbonato e pouca mica branca, no

caso da unidade vulcanossedimentar, e, preferencialmente mais rica em ferro e associada com mica branca muscovítica, no caso da unidade vulcânica. Na unidade metavulcanossedimentar a zona intermediária tem Fe-carbonato como principal mineral, em associação com clorita ferromagnésiana e mica branca muscovítica, principalmente no limite com a zona distal, e mica branca fengítica no limite com a zona mais proximal. Nas amostras da unidade vulcânica o carbonato é raro, sendo que misturas entre clorita e muscovita parecem marcar esta zona. A zona proximal é marcada nos espectros pela presença predominante da mica branca de composição tendendo à fengítica, no geral associada a quartzo e/ou sulfetos, minerais sem feições espectrais diagnósticas. Outra unidade importante do ponto de vista metalogenético, a Suíte Intrusiva Tromai, hospeda as concentrações de ouro em litotipos de origem plutônica. Análises nestas rochas resultaram em assinaturas espectrais em que se reconhece hornblenda e epidoto, minerais associados à mineralogia original e ao metamorfismo regional; clorita ferromagnésiana, em parte metamórfica e em parte de origem hidrotermal nas zonas mais distais; e mica branca com variação composicional entre muscovítica e fengítica, a última típica das zonas mais proximais.

Finalmente, no mapa da Figura 1 resumiu-se a distribuição mineral na área da ARIM Gurupi considerando-se as associações de interesse para o estudo da alteração hidrotermal. Percebe-se a distribuição preferencial das associações em que ocorre a mica branca de tendência fengítica, importante marcador das zonas mais proximais aos depósitos, na porção leste do mapa, a partir da zona de cisalhamento que controla a área de afloramento da Formação Chega Tudo. É nesta região que se encontram os principais depósitos de ouro.

Agradecimentos

Juliano A. Senna, Carlos R. Souza Filho, Jaqueline L Rodrigues, Elem C. S. Lopes, Sulsiene M. de Souza.

Referências Bibliográficas

- Clark R. N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: Rencz A. (ed.) **Manual of Remote Sensing**, 3, New York, Wiley and Sons Inc, 1999. p. 3–58.
- Clark, R. N.; Swayze, G. A.; Gallagher, A.; King, T. V. V.; Calvin, W. M. **The U. S. Geological Survey Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 mm**. [EUA]: USGS, 1993. 1326 p. (Open File Report, 592).
- Corbett, G.J.; Leach, T.M. Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. [EUA]: **Society of Economic Geologists**, 1998. 237 p. (Special Publication, 6).
- Groves, D.I.; Goldfarb, R.J.; Gebre-Mariam, M.; Hagemann, S.G.; Robert, F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. **Ore Geology Reviews**. v. 13, n. 1-5. p. 7 – 27. 1998.
- Klein, E.L.; Harris, C.; Giret, A.; Moura, C.A.V.; Angélica, R.S. Geology and stable isotope (O, H, C, S) constraints on the genesis of the Cachoeira gold deposit, Gurupi belt, northern Brazil: **Chemical Geology**, v. 221, n. 3-4. p. 188–206, 2005.
- Klein, E.L.; Harris, C., Giret, A.; and Moura, C.A.V. The Cipoeiro gold deposit, Gurupi belt, Brazil: Chlorite geochemistry, and stable isotope study. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 23, p. 242–255. 2007.
- Luna Gold Corporation. **Cachoeira Project Geology**. 2010. Disponível em: <<http://brazilresources.com/projects/cachoeira/>>. Acesso em: 10 nov. 2016.
- Pontual, S.; Merry, N.; Gamson, P. Archean Greenstone Gold. 3.ed. [Austrália] : AusSpec International, 2008a. 64 p. (**GMEX Guides for Mineral Exploration**, 6).
- Pontual, S.; Merry, N.; Gamson, P. Spectral Interpretation Field Manual. 3.ed. [Austrália] : AusSpec International, 2008b. 189 p. (**GMEX Guides for Mineral Exploration**, 1).