



RESUMO EXPANDIDO

Autores: Hevelyn Eduarda da Silva Martins, Maria José Mesquita, Alberto Ruggiero.
Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal e Metalogênese. Instituto de Geociências Unicamp



RESUMO

A Província Mineral de Alta Floresta tem sido foco de diversos estudos nos últimos anos devido seu grande potencial metalogenético. Novas descobertas de depósitos do tipo pórfiro tem atraído a atenção de empresas multinacionais para a região leste da província, onde pórfiros de Cu-Mo e Au foram identificados. No entanto, as características geoquímicas do magmatismo responsável pelas mineralizações magmático-hidrotermais ainda não está totalmente estabelecidas, nem foram feitas caracterizações de fertilidade. Com base nisto, o objetivo deste trabalho foi comparar dados compilados de geoquímica de diversos eventos magmáticos da província com a geoquímica de sistemas pórfiros Fanerozoicos de classe mundial, de vários tamanhos e commodities ao redor do mundo. O magmatismo fértil Fanerozoico mundial evidencia altas razões Sr/Y, La/Yb, (Dy/Yb)_N que são atribuídos a alta hidratação e oxidação magmática. As altas razões (Dy/Yb)_N e Sm/Yb vs. Y são interpretadas como indicadores de alto espessamento crustal. Os granitóides da PMAF apresentaram altas razões Sr/Y, La/Yb, Sm/Yb e (Dy/Yb)_N que indicam fertilidade magmática para pórfiros de Cu-Mo e Cu-Au. Os dados da Suíte Intrusiva Pé Quente demonstraram semelhança significativa com pórfiros mineralizados de Cu-Mo (Gigantes) e Cu-Mo (Outros). As suítes próximas a região de União do Norte apresentaram razões Sr/Y mais baixas e assinaturas cálcio-alcálicas de alto K, o que coincide com pórfiros Au-Cu. A Suíte Matupá, apesar dos dados sugerirem pórfiros mineralizados, não é possível estabelecer relação geoquímica com nenhum sistema pórfiro específico. Por outro lado, o Granito Nhandu, Sienogranito João oficial e o Monzogranito Pé Quente apresentam duas populações geoquímicas distintas cada, indicando oportunidade de sub-classificação, especialmente devido ao fato de que uma das populações apresenta os melhores índices de fertilidade da PMAF. Os dados de fertilidade podem ser usados como guias prospectivos para as campanhas de exploração mineral de outras regiões.

Palavras Chaves: Geoquímica de granitóides, Fertilidade magmática de Cu-Au-Mo, Pórfiros, Província Mineral de Alta Floresta.

INTRODUÇÃO

A Província Mineral de Alta Floresta (PMAF) tem sido alvo de diversos estudos nos últimos anos (Paes de Barros 2007, Assis et al., 2011, Xavier et al., 2011, Ramos, 2011, Trevisan, 2012, Mesquita et al., 2015, Quispe 2016, Dezula, 2018, Moreira, 2019, entre outros) devido ao seu potencial metalogenético. Santos (2000) declara que o Serviço Geológico Brasileiro já registrou 38 locais de exposição de ouro primário. Entre 1970 e 1990, a região apresentou uma produção estimada entre 200 e 300 toneladas de ouro, explorada por mineração artesanal e de pequena escala (Dardenne & Schobbenhaus, 2001).

A descoberta de depósitos que se assemelham aos de tipo pórfiro na região tem tido destaque dado a magnitude desse tipo de depósito. Os depósitos como X1, Francisco, Ana, Jaca são exemplos de pórfiros paleoproterozóicos encontrados na área (Trevisan 2015; Assis 2015). Os sistemas de tipo pórfiro são economicamente significativos, pois fornecem aproximadamente 70% do cobre mundial, 50% do molibdênio e 25% do ouro (Sillitoe, 2010). Estes ocorrem em uma variedade de ambientes tectônicos, em sua maioria associados a zonas de subducção. Porém, existem diversos exemplos de pórfiros em ambientes de colisão e post-subducção (Sillitoe, 2010).

A fertilidade magmática tem sido um tema recorrente para descobrimentos de grandes sistemas tipo pórfiro no mundo. E alguns fatores são cruciais para identificação de magmatismo fértil para cobre e ouro pórfiro como: (1) quantidade de água dissolvida no magma (2) fugacidade de oxigênio, (3) atividade de enxofre e (4) pressão (Chiaradia, 2013; Loucks, 2014; Park, 2018). Estes parâmetros citados podem ser importantes para gerar *footprints* em depósitos de classe mundial. De acordo com Loucks (2014) existe uma forte correlação entre sistemas pórfiros férteis e hidratados. A presença de elevadas concentrações de água no magma pode interferir na ordem de cristalização de alguns minerais como plagioclásio e hornblenda fazendo com que a hornblenda se cristalize primeiro que o plagioclásio, causando um aumento nas razões Sr/Y, já que o Y tem maior afinidade por hornblenda e o Sr por plagioclásio. Além disso, de acordo com Chiaradia (2013) existe uma correlação entre os maiores depósitos de Cu do mundo e os altos índices de espessamento crustal. Assim, a razão (Dy/Yb)_N e Sm/Yb vs. Y é utilizada para indicar a cristalização da granada. O autor associa os episódios de mineralização e espessamento crustal à depleção em ETR pesadas. Com o espessamento crustal consequentemente aumento da pressão ocorre a cristalização da granada e a incorporação de ETR pesadas como Yb e Y. Como ETR pesadas tem coeficiente de partição (Kd) maior para granada que os ETR leves a intermediários como Sm e Dy, ocorre a depleção de Yb e Y e o enriquecimento de Sm e Dy no magma. Deste modo altas razões Sr/Y, (Dy/Yb)_N podem ser interpretados como *footprints*.

A compilação de dados geoquímicos dos granitóides da PMAF relacionados às mineralizações têm sido descritas por (Almeida, 2018). Entretanto, ainda não foram realizados trabalhos que comparem esses pórfiros mineralizados, descobertos na PMAF de idade paleoproterozóica com os pórfiros mineralizados de idades fanerozoicas que, atualmente, são mais compreendidos. Assim, o presente projeto teve como objetivo comparar os dados geoquímicos dos Granitóides da PMAF, de diferentes idades com dados geoquímicos de granitóides de importantes zonas de ocorrência de sistemas tipo Pórfiro no mundo. O intuito foi investigar parâmetros geoquímicos de fertilidade magmática (Ex: altos valores de Sr/Y, La/Yb, (Dy/Yb)_N) para pórfiros de Cu, Mo e Au já descritos na literatura e observar se estes parâmetros são encontrados nos granitóides da PMAF, contribuindo deste modo, para futuros estudos de fertilidade de magmática de Pórfiro Cu-Mo e Cu-Au na região de Alta Floresta.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa se baseou em quatro etapas:

- (1) Compilação de dados geoquímicos de tipos variados de pórfiros mineralizados (Au, Cu, Cu-Au, Cu-Mo, Cu-Au-Mo e Mo) em diferentes tamanhos de depósitos. Os maiores depósitos foram classificados como Largest e os depósitos médios e pequenos foram classificados como Others.
- (2) Implementação de dados geoquímicos de rocha total da PMAF ao Banco de dados já existente construído e apresentado em por Almeida (2018).
- (3) Revisão bibliográfica sobre fertilidade de sistemas do tipo pórfiro baseando-se na pressão, hidratação, fugacidade de oxigênio e enxofre, já que estes são os controles conhecidos de pórfiros mineralizados (Loucks, 2014; Park 2018, Oyarzun, 2001; Cooke et al., 2013 entre outros).
- (4) Aprendizado e utilização do software ioGAS, onde estudou-se e aplicou-se diferentes razões geoquímicas para comparar os dois bancos de dados construídos: o Banco de Dados chamado de Pórfiros do Mundo (construído neste trabalho, com base em artigos) e o banco de dados de rochas granitóides da PMAF (implementado a partir de Almeida, 2018). Os bancos de dados estão a disposição no relatório final.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A PMAF está localizada na região centro sul do Cráton Amazônico (C.A) e é limitada a oeste pelo Cinturão Orogênico dos Andes e a leste e sudeste pelo Cinturão Neoproterozóico de Araguaia Amaral (1974). O C.A é composto por rochas de idade arqueana-paleoproterozóica. O C.A formou-se a partir de sucessivas sequências de arcos magmáticos continentais insulares propiciando a formação de material rochoso juvenil derivado do manto superior (Cordani, 1979; Tassinari & Macambira, 1999; Santos et al., 2000).

A evolução da PMAF está relacionada à evolução de unidades plutônicas e vulcânicas cálcio-alcalina que variam de médio a alto K, interpretadas como de ambientes de arco magmático (Assis et al. 2017). As unidades estudadas têm características de granitos do tipo I pertencentes a série da magnetita, rochas vulcânicas e subvulcânicas e granitóides de tipo A (Assis, 2015).

Os granitos de tipo I incluem a Suíte Intrusiva Pé Quente I (1,97-1,91 Ga), Granito Novo Mundo (1,97 Ga), Granito Flor da Mata (idade indeterminada), Granito Nhandu (1,96 Ga), Suíte Intrusiva Matupá (1,87 Ga), Suíte Granítica União do Norte (Idade indeterminada), Suíte Granodiorítica União (1,85 Ga) e Granito Peixoto (1,78 Ga) (Moura, 1998); Assis, 2011); Rodrigues, 2012). Os granitóides tipo A incluem o Pórfiro União do Norte (1,77 Ga) e o Granito Aragão (1,93 Ga) que apresentam assinaturas geoquímicas correspondentes a ambiente pós-colisional (Paes de Barros, 2007); Vitória, 2010); Assis, 2011); Assis, 2015), Dezule et al., 2018; Santos 2000); Prado et al. 2013).

RESULTADOS

Para a comparação dos granitóides da PMAF com os dados do banco de dados chamado Pórfiros do Mundo foram elaborados dois grupos amostrais. O primeiro com depósitos de Cu-Mo, Cu e Cu-Au nas quais foram separados por tamanho sendo os maiores chamados Largest e os pequenos e médios chamados Others. Já nas unidades da PMAF foi elaborada a Tabela 1 contendo os grupos de granitóides analisados. Os depósitos do Enio e João Oficial são compostos por monzogranitos e sienogranitos. O depósito do Peru por sienogranitos.

Tabela 1: Divisão dos grupos usados para as análises no programa ioGAS da PMAF.

Grupos	Unidades
Suíte Matupá	Granito Matupá, Granodiorito X1, Depósito Enio
Suíte Pé Quente	Sienogranito João oficial, Monzonito Pé Quente, Tonalito Pé Quente e Peru
Região do União do Norte	Granodiorito UN, Pórfiro UM, Granito UN
Grupo 1 (Almeida, 2018)	Suíte Nhandu (Granito Nhandu, Granito Aragão) e Granito Novo Mundo

As rochas do banco de dados Pórfiros do mundo foram separadas quanto ao seu porte (reserva de minério) e commodity (Figura 1) Praticamente todas as amostras de depósitos de Cu-Mo e Cu são rochas tipo adakititas, independente do tamanho do depósito (Figura 1 A e C). Para Cu-Au (Figura 1B), ocorre um trend evolutivo de granitos de arco magmático para adakititas. De acordo com Loucks (2014), é esperado valores de Sr/Y menores para pórfiros de Cu-Au.

Para as amostras da PMAF, a grande maioria tem igualmente características de rochas adakiticas, conforme diagrama Y vs. Sr/Y (Figura 2). Na Figura 2A destaca-se o granodiorito X1, Enio e Peru com valores de referência para rochas adakiticas, enquanto que o quartzo-feldspato pórfiro X1 e o granito Matupá tem características de dacitos e andesitos de arco magmático não mineralizados. Somente três unidades ocorrem no campo das rochas adakiticas, O Granito Aragão, Novo mundo e Flor da Mata apresentam igualmente assinatura adakítica (Figura 2B), com o granito Aragão apresentando duas populações. As unidades da suíte Pé Quente, o Monzonito Pé Quente, o Sienogranito João Oficial e o Tonalito Pé Quente apresentam altas razões Sr/Y e pouca variação do Y (Figura 2C). A suíte granítica UN e o pórfiro UN apresentam trends semelhantes de rochas de arco normais a rochas adakíticas (Figura 2D). Este trend se assemelha ao trend encontrado no pórfiro Duobuza, Naruo e Baguio District dos depósitos de Pórfiro Cu-Au (Figura 1B). A Suíte granodiorítica UN tem características geoquímicas híbridas de adakíticos e rochas de arco magmático não mineralizado.

As altas razões $(Dy/Yb)_N$ vs La/Yb indicam os maiores depósitos de Cu-Mo (Figura 3A), sugerindo terem sido formados em regiões de espessamento crustal. A razão La/Yb individualiza os sistemas minerais Cu-Au (baixa) e Cu-Mo (alta). O estudo na PMAF (Figura 4) indica que quase todas as unidades apresentam pelo menos uma amostra no campo verde, com $(Dy/Yb)_N$ maior que 1,2, sugerindo magmas gerados em crosta espessada. A Suíte Intrusiva Nhandu (G. Aragão e G. Nhandu) apresenta correlação positiva $[(Dy/Yb)_N$ vs La/Yb] (Figura 4A). A Suíte Granodiorítica UN e a Suíte granítica UN apresentam razões $(Dy/Yb)_N$ acima de 1,2 (Figura 4B), sugerindo formação em ambientes de alta pressão. A Suíte Matupá apresenta correlação positiva $[(Dy/Yb)_N$ vs La/Yb] para o Peru, granito Matupá e granodiorito X1, enquanto o pórfiro X1 e o Enio apresentam baixas razões (Figura 3C). O granito João Oficial apresenta as mais altas razões de La/Yb, mas baixas $(Dy/Yb)_N$ (Figura 4D). As outras unidades do Pé Quente apresentam valores variados não sendo conclusivo quanto a interpretações.

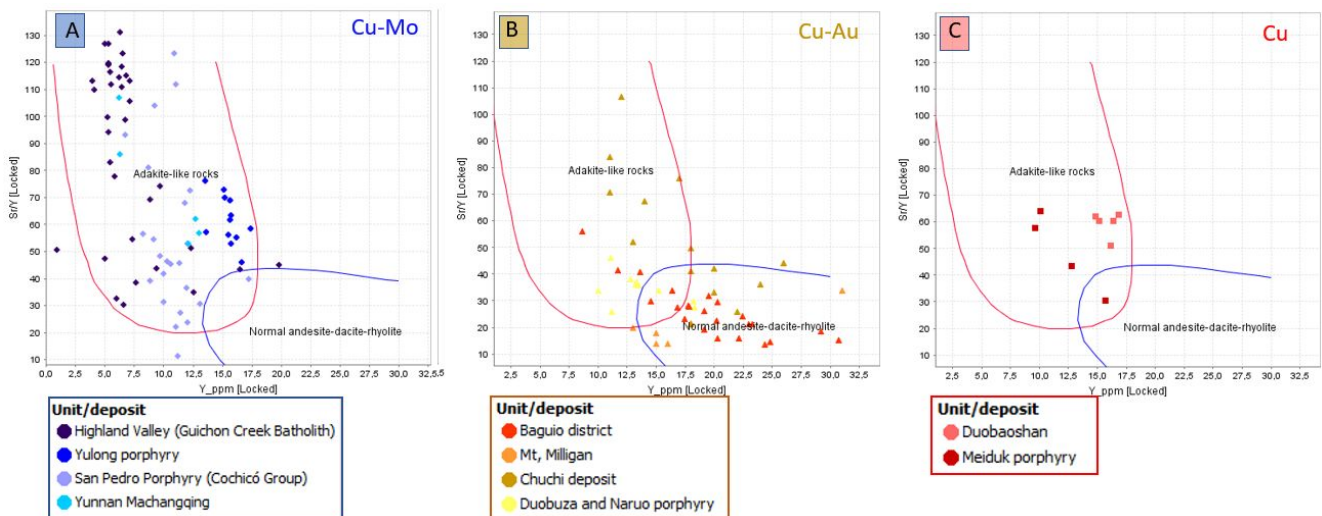


Figura 1: Diagrama Y vs Sr/Y: A: Depósitos de Cu-Mo, sendo 2 depósitos largest (Highland Valley e Yulong Porphyry) e outros 2 de tamanhos menores (San Pedro Porphyry e Yunnan). B: Depósitos de Cu-Au, sendo Baguio e Mt Milligan depósitos largest e Chuchi e Duobuza/Naruo menores. C: Cu um depósito largest é Duobaoshan e o outro menor Meiduk. Diagrama com campos de classificação de Drummond & Defant, (1990).

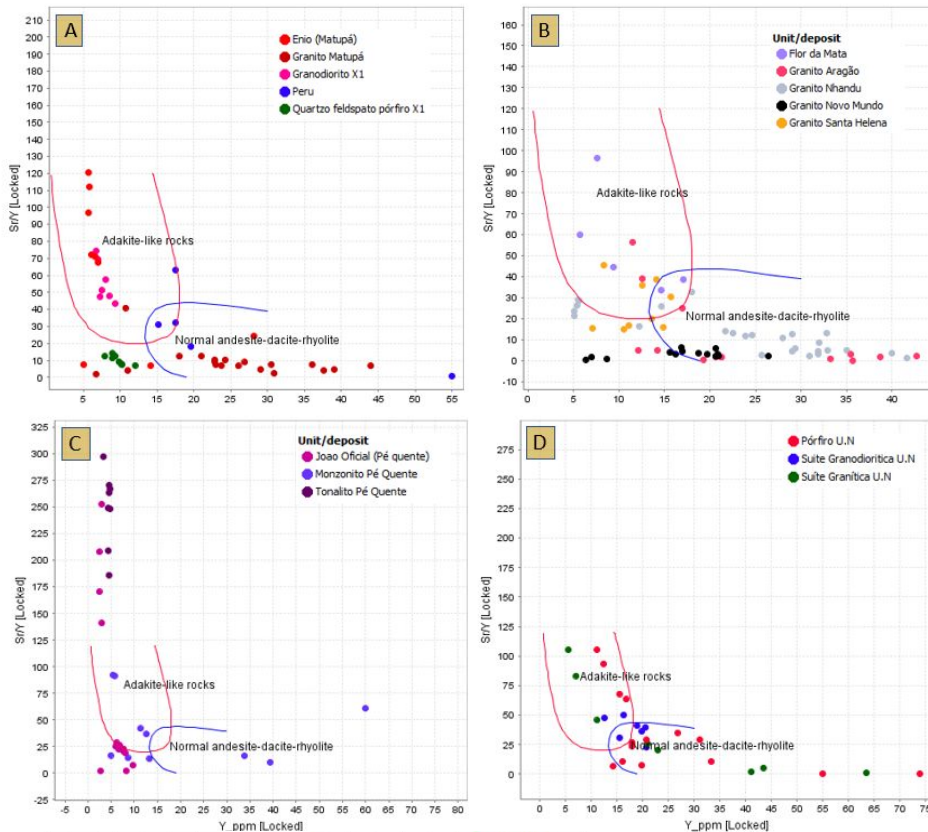


Figura 2: Diagrama Y vs Sr/Y das unidades intrusivas da Província Mineral de Alta Floresta. **A:** Unidades da Suíte Intrusiva Matupá. **B:** Suíte Nhandu (Granito Nhandu e Granito Aragão), granitos Novo Mundo, Flor da Mata e Santa Helena. **C:** Unidades da Suíte Pé Quente. **D:** Unidades Próximas a Região de União do Norte e Mina de União. Diagrama com campos de classificação de Drummond & Defant, (1990).

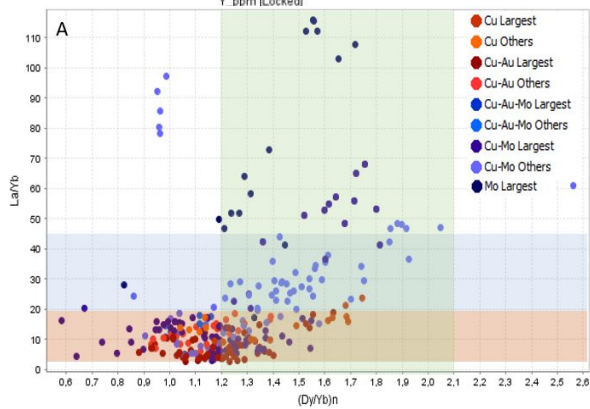


Figura 3: Diagrama $(Dy/Yb)_N$ vs La/Yb , indicando a distribuição de fertilidade magmática nas rochas do banco de dados Pórfiros do mundo. A razão relaciona-se, segundo o autor Tang et al. (2020), com variações de pressão, que correspondem a magmas formados em espessamento crustal. O campo verde corresponde a região de alta pressão. O campo vermelho indica a concentração dos depósitos de Cu-Au e o campo azul dos depósitos Cu-Mo tipo others.

As rochas hospedeiras dos depósitos de pórfiro (Pórfiros do Mundo), quando analisados nos diagramas de ambientes tectônicos de formação de Pearce et al. (1984), apresentam características de granitóides de arco vulcânico (Figura 5 A e B). As encaixantes dos depósitos de pórfiros Cu-Mo gigantes apresentam os menores valores de Rb e de $(Y+Nb)$, enquanto os depósitos de Cu-Mo (others, Figura 5A) e os depósitos de Cu-Au apresentam valores maiores (Figura 5A). Vale observar também que os pórfiros de Cu-Au (largest) apresentam trend com enriquecimento em $Y+Nb$, indicativos de granitos intraplaca (WPG), concordantes com sua formação em ambientes pós-colisionais e extensionais (Cooke et al., 2013).

As unidades da PMAF foram geradas por magmas com características geoquímicas de arcos vulcânicos (Figs. C-F). A suíte colíder, como é de se esperar, apresenta-se no campo dos granitos intra-placa (Figura 5C). As unidades do Pé Quente têm valores de Rb e $Nb+Yb$ mais baixos aproximando-se de sistemas minerais Cu-Mo (Figura 5D). Contudo o monzonito Pé Quente e o granito Nhandu apresentam dois grupos diferentes. Na Figura 5E, as unidades do UN podem indicar afinidade com as rochas encaixantes de depósitos Cu-Au pórfiros. Já na Figura 5F, o granito Enio apresenta baixos valores de Rb e $Y+Nb$, típicos de granitos cálcio-alcalinos médio K, enquanto as outras unidades da suíte intrusiva Matupá apresentam leve enriquecimento em $Y+Nb$.

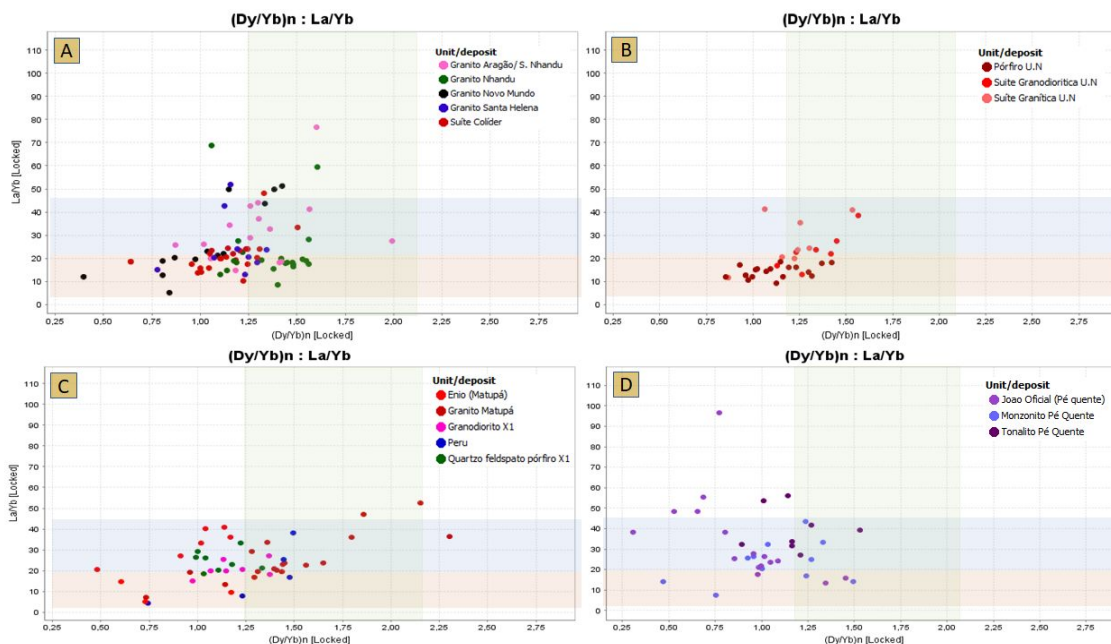


Figura 4: Diagrama $(Dy/Yb)_N$ vs. La/Yb de fertilidade magmática nas unidades da PMAF A razão relaciona-se, segundo o autor, com variações de pressão, que correspondem a magmas formados em espessamento crustal. A: granito Aragão, Nhandu, Novo Mundo, Santa Helena e Suíte Colíder. B: pórfiro UN, Suíte granodiorítica UN e Suíte granítica UN. C: Depósito do Enio, granito Matupá, granodiorito X1, Depósito Peru, quartz feldspato pórfiro X1. D: Depósito João oficial, Monzonito Pé Quente, Tonalito Pé Quente. Campos conforme Figura 3.

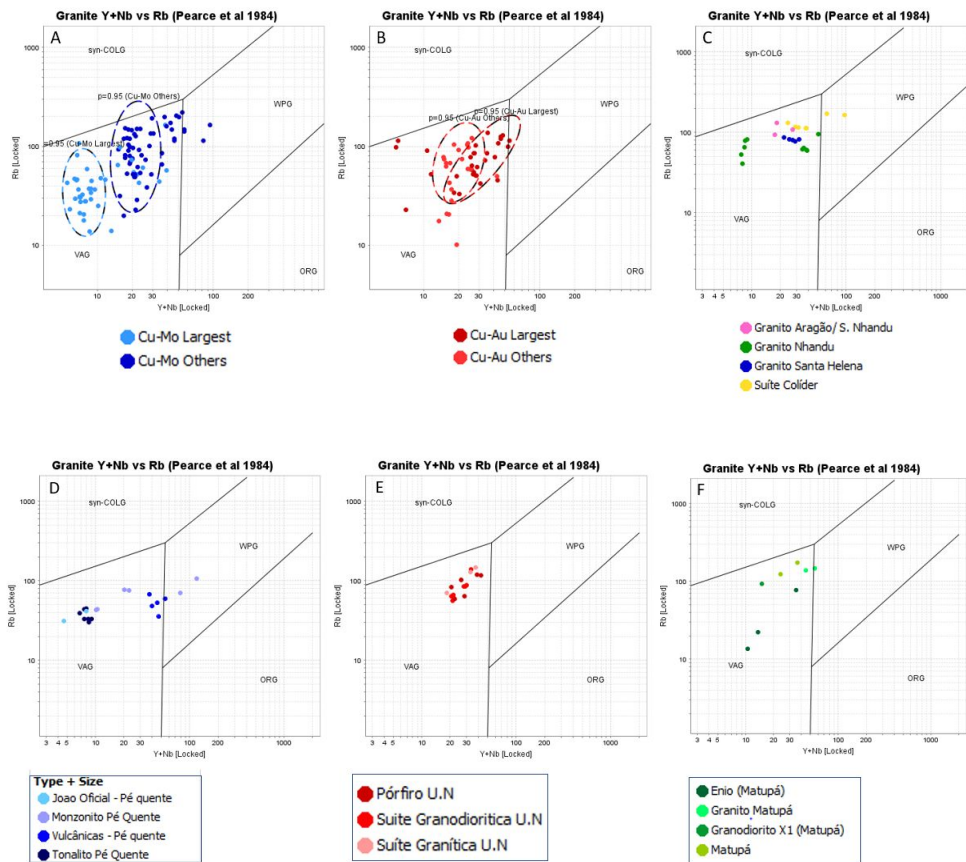


Figura 5: Diagrama Rb vs. Nb+Yb demonstra o comportamento de Pórfiros em depósitos Largest e Others de Cu-Mo (A) e Cu-Au (B). Granitoides PMAF (C-F) no Diagramas de Pearce et al. (1984). C: granito Aragão, Nhandu, Santa Helena e Suíte Colíder. D: Depósito João oficial, Monzonito Pé Quente, Tonalito Pé Quente e Vulcânicas do Pé quente (Medeiros, 2016). E: Porfiro UN, Suíte granodiorítica UN e Suíte granítica UN F: Depósito do Enio, granito Matupá, granodiorito X1.

DISCUSSÃO

Nos dados apresentados, nota-se que na PMAF existem unidades que apresentam indicadores de fertilidade para pórfiro de Cu, Au e Mo. As unidades com mais características geoquímicas relacionadas à fertilidade magmática são as da Região de União do Norte, Pé Quente e Suíte intrusiva Matupá.

Magmas férteis para Cu e Au em pórfiros apresentam via de regra assinatura adakítica, são hidratados e podem ser formados em ambientes de espessamento crustal. Os adakitos podem ser individualizados pelas altas razões de Sr/Y e La/Yb. Segundo Drummond e Defant (1990), os adakitos são produtos originados a partir da fusão parcial de crosta oceânica subductada com assinatura MORB (Middle Ocean Ridge Basalt) e podem se formar com ou sem envolvimento da cunha do manto. No entanto, esta premissa entra em conflito quando analisa-se diversos pórfiros formados em ambientes pós-subducção e colisão (Wang, 2005), no qual o magmatismo foi gerado pela fusão parcial de crosta continental modificada pela subducção. Desta forma, assinaturas adakíticas estão relacionadas não somente a fusão parcial da crosta oceânica subductada mas a outros processos como a hidratação do magma.

De acordo com Richards (2002) e Loucks (2014), a presença de elevadas concentrações de água no magma pode interferir na ordem de cristalização de alguns minerais como plagioclásio e hornblenda fazendo com que a hornblenda se cristalice primeiro que o plagioclásio, causando um aumento nas razões Sr/Y, já que o Y tem maior afinidade por hornblenda e o Sr por plagioclásio. Deste modo, a razão Sr/Y pode ser usada como *footprint* para fertilidade magmática em sistemas de tipo Cu e Cu-Au Pórfiro.

A Suíte Matupá contém algumas unidades com Sr/Y alto como o granodiorito X1, Depósito Enio e Peru indicam formação a partir de magmas hidratados e sugere-se que possam corresponder a depósitos férteis de Cu-Mo. O mesmo ocorre com os depósitos Pé quente, Granito Nhandu, Granito Flor da Mata e Novo Mundo. A suíte granítica UN e o Pórfiro UN apresentam um trend no sentido do campo adakítico, ou seja, com razões Sr/Y crescentes. Este trend, além de indicar formação a partir de magmas hidratados, se assemelha ao trend encontrado no pórfiro Duobuza, Naruo e Baguio District dos depósitos de Porfiro Cu-Au (Figura 2D). De acordo com Loucks (2014) os pórfiros de Cu-Au apresentam razões Sr/Y menores em relação aos pórfiros de Cu e isso pode ser evidenciado tanto na suíte granítica UN quanto no Pórfiro UN.

O outro parâmetro importante para formação de depósitos de tipo pórfiro é o espessamento crustal (Hou et al. 2008; Chiaradia, 2013; Tang et al. 2020). De acordo com Chiaradia (2013) existe uma correlação entre os maiores depósitos de Cu do mundo e os altos índices de espessamento crustal. Assim, a razão $(Dy/Yb)_N$ e Sm/Yb vs. Y é utilizada para indicar a cristalização da granada. O autor associa os episódios de mineralização e espessamento crustal à depleção em ETR pesadas. Esta mudança está relacionada a substituição da hornblenda pela granada na fonte, ou seja quando ocorre espessamento da crosta. O mesmo acontece com $(Dy/Yb)_N$ de acordo com Tang et al. (2020). Com o aumento da pressão, ocorre a fusão da hornblenda e os elementos como Y e Yb são liberados pela hornblenda e entram na estrutura de outros minerais como a granada. Com o espessamento crustal consequentemente aumento da pressão ocorre a cristalização da granada e a incorporação de ETR pesadas como Yb e Y. Como ETR pesadas tem coeficiente de partição (Kd) maior para granada que os ETR leves a intermediários como Sm e Dy, ocorre a depleção de Yb e Y e o enriquecimento de Sm e Dy no magma. Assim, devido a razão de $(Dy/Yb)_N$ estar associada ao espessamento crustal pode ser utilizada como um *footprints* para fertilidade de pórfiros.

Na Figura 4C, a Suíte Matupá apresenta altos valores da razão $(Dy/Yb)_N$ evidenciando que houve espessamento crustal no depósito do Peru, granito Matupá e granodiorito X1, depósito Enio. Além disso, o granito Matupá hospeda o Depósito Serrinha que é considerado um depósito de tipo ouro pórfiro Moura, (1998). A razão La/Yb individualiza os sistemas pórfiros por seu tamanho (Largest e Others) e commodities (Cu-Mo e Cu-Au) e o fato da Suíte Matupá estar presente nos dois campos

difficulta a compreensão de qual tipo de sistemas a suíte está inserida, se Cu-Mo ou Cu-Au. Entretanto fica evidente que nos parâmetros de fertilidade aqui estudados como: espessamento crustal e hidratação, estas unidades estão inseridas no campo correspondente a depósitos férteis.

O Monzonito Pé Quente e João oficial são adakitos, entretanto apresentam duas populações geoquímicas. Na *Figura 4D* grande parte das amostras da suíte Pé Quente se inserem no campo La/Yb correspondente aos Cu-Mo. Além disso, observa-se grandes valores $(Dy/Yb)_N$ que evidenciam espessamento crustal. Os valores de Rb são mais baixos nas unidades do Pé Quente que em outras unidades, indicando rochas cálcio-alcálicas médio K típicas de arco magmático (*Figura 5D*). O mesmo ocorre em sistemas Cu-Mo quando comparados aos Cu-Au. As unidades do Pé Quente portanto evidenciam altas razões de $(Dy/Yb)_N$ e Sr/Y vs. Y sugerindo assim sua formação da mineralização em arcos espessos e magmas hidratados. Além disso devido Sugere-se assim, que esta suíte assemelha-se mais aos sistemas de Cu-Mo. As unidades de União do Norte apresentaram razões intermediárias de $(Dy/Yb)_N$ e La/Yb e Sr/Y vs. Y (*Figura 2D*). Estas razões estão relacionadas a hidratação e espessamento crustal e os valores obtidos nestas unidades assemelham-se igualmente aos valores dos pórfiros de Au-Cu. As correlações positivas nas razões $(Dy/Yb)_N$ e La/Yb e Sr/Y vs. Y sugerem que este sistema assemelha-se aos sistemas Cu-Au.

Os Granitos Nhandu, Aragão e Novo mundo também apresentaram altas razões $(Dy/Yb)_N$ (*Figura 2B*) e Sr/Y (*Figura 4A*), sugerindo fertilidade porém sem distinção no metal. O fato destas unidades conterem altas razões $(Dy/Yb)_N$ poderia ter contribuído para gerar mineralizações para Cu-Mo, como é o caso das rochas intrusivas do Pé Quente, Granito Novo Mundo, Granito Nhandu, Granito Aragão. De acordo com Assis, (2011) e Paes de Barros (2007) é possível sintetizar os eventos metalogenéticos e magmáticos da PMAF em três, sendo o primeiro de idades de 1,98 Ga – 1,93 Ga com plútons Pé Quente, Granito Novo Mundo e Granito Aragão. Estas unidades citadas possuem altas razões $(Dy/Yb)_N$ e isso pode sugerir formação em crosta espessada.

CONCLUSÃO

Como mostrado, o espessamento crustal é uma variável importante na formação dos depósitos de tipo Pórfiro. Algumas unidades da PMAF apresentaram dados sugerindo que estas unidades poderiam ter passado por um intervalo de alta pressão e isso pode ser evidenciado pelas altas razões $(Dy/Yb)_N$ que refletem o espessamento crustal. Isso poderia ter contribuído para formação de depósitos minerais contidos nos plútons Pé Quente, Granito Novo Mundo e Suíte Nhandu com idades de 1,98 Ga – 1,93. Além disso, o Pluton Pé Quente demonstrou grande proximidade geoquímica com depósitos Cu-Mo. Já nas unidades próximas a UN estas aproximam-se aos depósitos de Cu-Au pórfiros tanto em parâmetros de fertilidade magmática para Cu e Au de hidratação e espessamento crustal.. depósitos de UN.

Além disso, as unidades do Granito Nhandu, Monzonito Pé quente e João Oficial apresentam duas famílias geoquímicas sendo que uma delas apresenta melhores índices de fertilidade magmática para Cu Mo e Au que a outras. O estudo detalhado destas suítes para individualização das famílias é de extrema importância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral G. 1974. *Geologia Pré-Cambriana da Região Amazônica*. Tese de Livre Docência, IG/USP, 212 p
- Almeida, N. T. *Análise geoquímica das rochas graníticas do setor leste da Província Aurífera de Alta Floresta, MT: caracterização de séries magmáticas e ambientes geotectônicos*. Congresso Brasileiro de Geologia, nº 49, 2018, Rio de Janeiro.
- Assis R.R. 2011. *Depósitos auríferos associados ao magmatismo granítico do setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Craton Amazônico: tipologia das mineralizações, modelos genéticos e implicações prospectivas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 428p.
- Assis R.R., Xavier R.P., Paes de Barros A.J., Barbuena D., Miguel-Jr E. 2012. *Contexto geológico e litogeoquímica das unidades plutônicas-vulcânicas da região de União do Norte, setor leste da Província Aurífera de Alta Floresta (MT)*. Revista Brasileira de Geociências, vol. 42, (1):130-161
- Assis R.R. 2015. *Depósitos auríferos associados ao magmatismo félsico da Província de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico: idade das mineralizações, geoquímica e fonte dos fluidos*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 363p
- Bartolomeu J. O., 2016 *Sistemas Au-(Cu) associados a intrusões de pórfiros na província aurífera de alta floresta, sul do craton amazônico: O caso do depósito Paraíba*. Instituto de Geociências; Trabalho de Conclusão de Curso, 63 pg.
- Chiaradia, M. 2013 *Porphyry Copper enrichment in arc magmas controlled by overriding plate thickness*. Nature Geoscience. Volume 7. Page 43-46., 2013
- Cooke D; Hollings P; Wilkinson J. Tosdal R.M. R. (2013). *Geochemistry of Porphyry Deposits*. Book: Treatise on Geochemistry: Second Edition. Pag 357-381. Volume 13
- Dardenne M.A., Schobbenhaus C. 2001. *O escudo do Brasil Central. In: Metalogênese do Brasil*. Ed. Univ. Brasília/CPRM, Brasília, pp.: 46-105.
- Dezula S. E. M.; Barros M. A. S. A.; Pierosan R.; Santos, J. O. S.; Assis, R. R. *Granito Aragão - Suíte intrusiva Nhandú - Um granito oxidado, tipo A2, de 1967 a 1964 Ma na Província Aurífera Alta Floresta — Cráton Amazônico*. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 18, n. 1, p. -20, Março 2018.
- HASTIE R. *, A. C. KERRI , J. A. PEARCEI AND S. F. MITCHELL *Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks using Immobile Trace Elements: Development of the Th-Co Discrimination Diagram*. Journal of Petrology. Vol. 48 n.12, 23412357p. 2007
- Hou, Zengqian; Yang, Qu, Xiaoming; Meng, Xiangjin; Li, Zhenqing;Beaudoin, G.; Rui, Zongyao; Gao, Yongfeng; Zaw, Khin. 2009. *The Miocene Gangdese porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan Orogen*. Vol.36. 25-51p. Ore Geology Reviews
- Lee, Li, E. M. Schwarzenbach, T. John, J. J. Ague, F. Huang, J. Gao, R. Klemd, M. J. Whitehouse, X.-S. Wang, *Uncovering and quantifying the subduction zone sulfur cycle from the slab perspective*. Nat. Commun. 11, 514 (2020).
- Loucks, R.R., 2014, *Distinctive composition of copper-ore-forming arc magmas*: Australian Journal of Earth Sciences, v. 61, p. 5–16..
- Mesquita M.J.; Trevisan V.G.; Teixeira R.; Assis R.R.; Xavier R.P.; Quispé P.; Moretto M.; Schmidt V. 2015. *Ductile Shear Zone-Hosted Gold Deposits in the Paleoproterozoic Alta Floresta Province(Brazil)*. Universidade de Campinas, 4p
- Moura M.A. 1998. *O Maciço Granítico Matupá e o Depósito de Ouro Serrinha (MT): Petrologia, Alteração Hidrotermal e Metalogenia*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 238p.
- Oyarzun R.; Alvaro M.; Javier L.; Ivan L. Sergio R. 2001 *Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism*. Mineralium Deposita.
- Paes de Barros A.J. 2007. *Granitos da região de Peixoto de Azevedo – Novo Mundo e mineralizações auríferas relacionadas – Província Aurífera Alta Floresta (MT)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 154p
- Park J. W; Suzanne M. K.; Ian H.C.; Sanjeewa P. K. M; Cocker H. 2018. *Chalcophile element fertility and the formation of porphyry Cu ± Au deposits* Mineralium Deposita.
- Pearce J.A.; Harris N.B.W.; Hindle A.G. 1984. *Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks*. Journal of Petrology, 25:956-983.
- Ramos G.S. 2011. *Características geoquímicas de plútons graníticos auríferos e estéreis da Província Aurífera de Alta Floresta (MT)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 82p
- Richards Jeremy P. *Discussion on “Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism”* by Oyarzun et al. (Mineralium Deposita 36: 794–798, 2001). Mineralium Deposita (2002) 37: 788–790.
- Rodrigues R.M. 2012. *Caracterização geológica e metalogenética do Depósito XI – Província Aurífera de Alta Floresta, Região de Matupá (MT)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil; 70p.
- Santos J.O.S., Groves D.I., Hartmann A., Moura M.A., McNaughton N.J. 2001. *Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil*. Mineralium Deposita, 36:278-299
- Santos J.O.S. et. al. 2006. *A Compartimentação do Cráton Amazonas em Províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006*. In: 9º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém, BG Núcleo Norte, p.1.
- Tang, Ming; Lee, Cin-Ty A; Ji, Wei-Qiang; Wang, Rui; Costin, Gelu; Crustal thickening and endogenic oxidation of magmatic sulfur. Science Advances Journal. Vol. 6
- Trevisan V.G. 2012. *Metalogênese do ouro no granito Novo Mundo, setor leste da Província de Alta Floresta (MT), Cráton Amazônico: alteração hidrotermal e petrografia do minério*. Instituto de Geociências; Trabalho de Conclusão de Curso, 110p.
- Vitório, J. A. (2010). *A Suíte Granítica Teles Pires da Província Aurífera Alta Floresta: Características Petrográficas, Geoquímicas e Implicações Metalogenéticas*. Iniciação Científica. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP. 21p.
- Zhang, Chan chan, Sun, Wei dong, Wang, Jin tuan, Zhang, Li peng, Sun, Sai jun, Wu., 2017. *Oxygen fugacity and porphyry mineralization: A zircon perspective of Dexing porphyry Cu deposit, China*. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 206. 343-363p