

O DOMO SAPUCAIA E AS ROCHAS METASSEDIMENTARES DA SERRA DO RABO: REGISTRO DA EMERSÃO CONTINENTAL NA PROVÍNCIA CARAJÁS

Patrick Araujo dos Santos^{1,2}, Felipe Grandjean da Costa¹, Catarina Labouré B. Toledo²

¹Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM; ²Universidade de Brasília - UNB
patrick.santos@sgb.gov.br; felipe.costa@sgb.gov.br; catarinatoledo@unb.br

RESUMO

Na Província Carajás, Cráton Amazônico, o registro geológico do domo Sapucaia sugere uma evolução plutônica ao longo de ~120 Ma, com dois estágios de formação de crosta félsica/intermediária: (i) o magmatismo sódico (2,95–2,87 Ga) e o (ii) potássico (2,89–2,83 Ga). Todo este plutonismo provavelmente se desenvolveu por tectônica vertical (ex., sagdução), formando uma crosta continental estável (ca. 50 km) no final do mesoarqueano, quando possivelmente experimentou alta fluabilidade positiva e emergiu (por isostasia) sobre os oceanos ancestrais da Província Carajás. O registro metassedimentar da Serra do Rabo sugere uma sedimentação de margem continental anterior à colocação da LIP-*Large Igneous Province* neoarqueana e amplia as evidências para um importante período de estabilidade crustal e emersão continental na transição meso-neoarqueana. Aqui, sugerimos que a emersão continental ocorreu em torno de 2.83-2.76 Ga, acompanhada de erosão e sedimentação pericontinental, cuja evolução contribuiu com o aporte de “novos” nutrientes para os oceanos, incluindo o fósforo, e estimulou o desenvolvimento de cianobactérias fotossintetizantes e a emergência dos primeiros “oásis” de oxigênio na Província Carajás.

PALAVRAS CHAVES: Magmatismo; Sedimentação; Emersão Continental; Mesoarqueano

INTRODUÇÃO

Conhecer a história da crosta é fundamental para entender a evolução do planeta, desde a sua formação até o desenvolvimento da atmosfera e biosfera. Nesse sentido, a exposição subárea dos continentes é um marco na história da terra, pois acarretou mudanças significativas nos processos superficiais, contribuiu para o desenvolvimento da atmosfera e da habitabilidade terrestre (ex. Lee *et al.*, 2018). A maior questão é como e quando exatamente os primeiros continentes emergiram sobre os oceanos formando massas continentais estáveis? Sem consenso estabelecido, alguns autores sugerem o paleoproterozoico (>2.5 Ga) como o principal período de emersão continental, impulsionado pela ação da tectônica moderna (ex. Bindeman *et al.*, 2018). Outros, porém, defendem que este processo pode ter iniciado bem antes (~3,5–2,5 G.a), estimulado pela transição de uma crosta predominantemente máfica (oceânica) para félsica (continental), que emergiu por isostasia a partir de um volumoso magmatismo plutônico derivado de tectônica vertical (ex. Chowdhury *et al.*, 2021). Para explorar essa questão, nós

avaliamos a evolução magmática do domo Sapucaia e o registro metassedimentar da Serra do Rabo, a fim de discutir o mecanismo e o período estimado para a formação, estabilização e emergência da crosta continental na Província Carajás.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O registro magmático do domo Sapucaia (2.95 - 2.83 Ga.)

A compilação geoquímica e geocronológica dos granitoides arqueanos do domo Sapucaia (Fig. 1) mostrou um aumento na relação K/Na e no teor de Si ao longo do tempo. Essa variação evidencia a transição do magmatismo sódico para o potássico e pode ser discutida como uma maturação crustal (ex. Nebel *et al.*, 2018). Assim, dois estágios de geração de crosta félsica são observados: (i) o magmatismo sódico (2,95–2,87 Ga) e o (ii) potássico (2,89–2,83 Ga). No primeiro, as composições mais primitivas mostram enriquecimento em terras raras pesadas (ETRP) quando comparadas às mais evoluídas. Essa diferença pode indicar o aumento na proporção de granada no resíduo da fusão e, conseqüentemente, refletir um aumento de pressão durante a petrogênese. Isso é compatível com os modelos petrogenéticos que indicam a origem de líquidos TTG (tonalito-trondhjemito-granodiorito) a partir da fusão parcial da base de pilhas máficas em tectônica vertical e pode refletir a evolução do magmatismo sódico, de modo que o aumento da pressão é relacionado ao espessamento crustal progressivo (ex. Chowdhury *et al.*, 2021). No segundo estágio, a fusão de fontes máficas cessou gradativamente enquanto emergiam novas fontes de granitoides. A origem do magmatismo potássico pode ser relacionada à ação de plumas mantélicas que, ao encontrar uma crosta TTG espessa, favoreceram a sua reciclagem e anatexia. Isso é compatível com a petrogênese dos granitos potássicos que apontam fontes com resíduo rico em plagioclásio (Leite *et al.*, 2004), indicando processos de fusão a partir de crosta félsica/intermediária significativamente estabelecida. Essas observações sugerem que a crosta continental se desenvolveu a partir de um volumoso magmatismo TTG/granítico e alcançou sua estabilidade no final do mesoarqueano, quando possivelmente experimentou grande flutuabilidade positiva e uma maior elevação isostática em relação ao manto subjacente, conforme interpretado em outros terrenos arqueanos (ex. Chowdhury *et al.*, 2021), promovendo as primeiras exposições subaéreas de massa continental sobre os oceanos ancestrais da Província Carajás. Um novo magmatismo só é registrado ~70Ma mais tarde (LIP – *Large Igneous Province* neoarqueana - Rossignol *et al.*, 2022), evidenciando que a crosta atravessou um longo período de quiescência magmática na transição meso-neoarqueana com provável iniciação dos processos sedimentares (Costa *et al.*, 2020).

O registro metassedimentar da Serra do Rabo (2.83-2.76 Ga ?)

As rochas metassedimentares da Serra do Rabo são essencialmente formações ferríferas bandadas e xistos metapsamíticos/metapelíticos metamorfisados em fácies anfíbolito. Essas rochas são estratigraficamente pouco estudadas e sua idade deposicional é incerta. No entanto, as observações de campo atestam que estas rochas são seccionadas por granitos neoarqueanos (2.72 Ga.) e hospedam mineralizações de cobre do tipo IOCG, cujos fluidos mineralizantes foram concomitantes à granitogênese (Hunger *et al.*, 2021). Esses aspectos sugerem restrições

estratigráficas que podem indicar a idade mínima para a evolução dos protólitos e, somados à evolução magmática do domo Sapucaia, podem refletir a ação de processos sedimentares e a disponibilidade de fontes de detritos antes da colocação da LIP neoarqueana. Os dados geoquímicos contribuem com esta discussão. O contraste observado para o padrão dos elementos terras raras+ítrio (ETRY) entre os metassedimentos pode refletir a variação do sistema deposicional, partindo de precipitados marinhos puros até a sedimentação siliciclástica, possivelmente derivada da desintegração de fonte continental emersa. Adicionalmente, embora as formações ferríferas sejam precipitados marinhos puros, a diminuição de suas razões Y/Ho pode ser interpretada como resposta à contaminação terrígena (Bau and Dulski 1996). Do mesmo modo, o Al_2O_3 e os elementos comumente imóveis (Zr, Th, Hf,) são bons traçadores de componentes detríticos (Alexander *et al.*, 2009), e suas altas concentrações nos xistos ratificam a contribuição terrígena a partir de fontes continentais. Portanto, essas características sugerem uma sedimentação de margem continental na presença de soluções hidrotermais e fontes detríticas proximais, cuja evolução é compatível com a hipótese de estabilidade crustal e emergência continental na transição meso-neoarqueana. No entanto, estudos isotópicos de proveniência sedimentar são necessários para fortalecer ou refutar esta hipótese.

CONCLUSÃO

A evolução do domo Sapucaia é consistente com o padrão observado para a formação de crosta félsica/intermediária nos diferentes crátons arqueanos do mundo. Seus estágios evolutivos permitem sugerir que a emergência continental na Província Carajás pode ter iniciado no final do mesoarqueano, impulsionada por um volumoso magmatismo TTG/granítico. O registro metassedimentar da Serra do Rabo (idade mínima ca. 2.72 Ga), somado à evolução do domo Sapucaia, pode refletir o início dos processos sedimentares antes da colocação da LIP neoarqueana, reforçando as evidências para um importante período de estabilidade crustal e emersão continental na transição meso-neoarqueana. Estes processos possivelmente influenciaram a nutrição dos oceanos, incluindo o fluxo de fósforo (Hao *et al.*, 2020), estimulando a evolução de organismos fotossintetizantes (Luz e Crowley, 2012) e o surgimento dos primeiros “oásis” de oxigênio na Província Carajás (Martins *et al.*, 2022).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, B.W., Bau, M., Andersson, P. 2009. Neodymium isotopes in Archean seawater and implications for the marine Nd cycle in Earth's early oceans. *Earth Planet. Sci. Lett.* **283**, 144–155.
- Bau, M., Dulski, P. 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formation, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Res.* **79**, 37–55.
- Bindeman I. N., Zakharov D. O., Palandri J., Greber N. D., Dauphas N., Retallack G. J., Hofmann A., Lackey J. S., Bekker A. 2018. Rapid emergence of subaerial landmasses and onset of a modern hydrologic cycle 2.5 billion years ago. *Nature* **557**, 545–548.
- Chowdhury, *et al.*, 2021. Magmatic thickening of crust in non-plate tectonic settings initiated the subaerial rise of Earth's first continents 3.3 to 3.2 billion years ago. *Proc. of the National Academy of Sciences*, **118**.

- Costa L.P. 2007. Caracterização das Sequências Metavulcanossedimentares da Porção Leste da Província Mineral Carajás (PA). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Dissertação de Mestrado.
- Costa F.G., Santos P.A., Serafim I.C.C.O., Costa I.S.L., Roopnarain S. 2020. From Mesoarchean drips to modern-style tectonics in the Carajás Province, Amazonian Craton. *Jour. of South Amer. Earth Scienc.*, **104**.
- Douville, E., Bienvenu, P., Charlou, J.L., Donval, J.P., Fouquet, Y., Appriou, P., Gamo, T., 1999. Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems. *Geochim. Cosmochim. Acta* **63** (5), 627–643.
- Floyd, P.A., Leveridge, B.E. 1987. Tectonic Environment of the Devonian Gramscatho Basin South Cornwall: Framework Mode and Geochemical Evidence from Turbiditic Sandstones. *Journal of the Geological Society* (London), **144**, 531-542.
- Hao, J., Knoll, A.H., Huang, F., Hazen, R. M., Daniel, I. 2020. Cycling phosphorus on the Archean Earth: Part I. Continental weathering and riverine transport of phosphorus. *Geochim. et Cosmochimica Acta*, **273**.
- Laurent, O., Martin, H., Moyen, J.F., Doucelance, R., 2014. The diversity and evolution of Late-Archean granitoids: evidence for the onset of “modern-style” plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga. *Lithos* **205**.
- Lee, C.T.A., Caves, J., Jiang, H., Cao, W., Lenardic, A., N. Ryan McKenzie, Oliver Shorttle, Qingzhu Yin, Blake Dyer. 2018. Deep mantle roots and continental emergence: implications for whole-Earth elemental cycling, long-term climate, and the Cambrian explosion. *International Geology Review*, **60**:4, 431-448
- Leite A.A.S., Dall’Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara-PA e suas implicações na evolução do terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(4):447-458.
- Leite-Santos P.J., de Oliveira D.C. 2016. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas arqueanas da área de Nova Canadá: Província Carajás. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, **16**(2), 3-66.
- Luz, B.R., Crowley, J.K. 2012. Morphological and chemical evidence of stromatolitic deposits in the 2.75 Ga Carajás banded iron formation, Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*. Volumes **355–356**.
- McLennan, S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., McKay, G.A. (Eds.), *Geo-chemistry and Mineralogy of REE*, *Rev. Miner.* **21**.
- Nebel, O., Capitanio, F., Moyen, J.F., Weinberg, R., Clos, F., Nebel-Jacobsen, Y.J., Cawood, P.A., 2018. When crust comes of age: on the chemical evolution of Archaean, felsic continental crust by crustal drip tectonics. *Phil. Trans. R. Soc. A*. **376**.
- O’Connor, J.T. 1965. A classification of quartz rich igneous rock based on feldspar ratios. *USGS*, **525**.
- Martins, P.L.G., Toledo, C.L.B., Silva, A.M., Chemale Jr F., Archer C., de Assis, L.M. 2022. Chemostratigraphy of the Carajás banded iron formation, Brazil: A record of Neoproterozoic Ocean chemistry. *Gondwana Research*. Vol **105**. p 217-242.
- Profeta, L., et al., 2015. Quantifying crustal thickness over time in magmatic arcs. *Sci. Rep.* **5**, 17786.
- Rossignol, C., Antonio, P.Y.J., Narduzzi, F., Rego, E.S., Teixeira, L., Souza, R.A., Ávila, J.N., Silva, M.A.L., Lana, C., Trindade, R.I.F., Philippot, P. Unraveling one billion years of geological evolution of the southeastern Amazonia Craton from detrital zircon analyses. 2022. *Geosc. Frontiers*. Volume **13**, Issue **5**.

Santos P.A., Teixeira M.F.B., Dall'Agno R, Guimarães F.V. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica da associação tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG) do extremo leste do Subdomínio de Transição, Província Carajás, Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, 8, (3), 257-290.

Silva A.C., Dall'Agno R., Guimarães F.V., Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica de Associações Tonalíticas e Trondhjemíticas Arqueanas de Vila Jussara, Província Carajás, Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, v. 9, n. 1, p. 13-45.

Teixeira M.F.B., Dall'Agno R, Silva A.C., Santos P.A. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica do Leucogranodiorito Pantanal e dos leucogranitos arqueanos da área a norte de Sapucaia, Província Carajás, Pará: implicações petrogenéticas. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, v. 8, n. 3, p. 291-323.

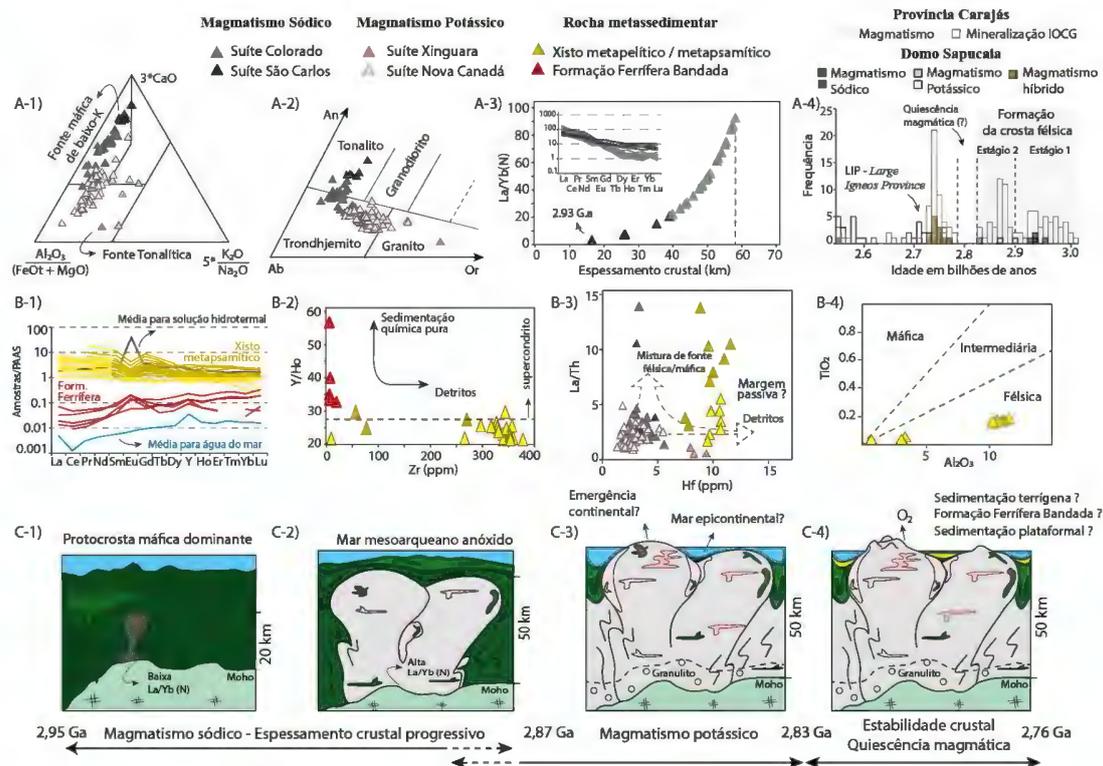


Figura 1. Compilação geoquímica e geocronológica do domo Sapucaia. A-1) Laurent et al., 2014; A-2) O'Connor 1965; A-3) Profeta et al., 2015. ETR normalizados para o condrito (Evensen et al., 1979); A-4) Depois de Costa et al., 2020; B-1) ETRY normalizados para PAAS (McLennan et al., 1989). Médias da água do mar e soluções hidrotermais de acordo com Bau and Dulski 1996 e Douville et al., 1999; B-2) Bau and Dulski 1996; B-3) Floyd e Leveridge 1987; B-4) Hayashi et al., 1977 C-1) Protocrosta e os primeiros pulsos do magmatismo sódico; C-2) Espessamento crustal; C-3) Magmatismo potássico, estabilização crustal e emergência continental; C-4) Início de erosão continental e os primeiros “oásis” de oxigênio. Fonte dos dados de geoquímica dos granitoides: Leite-Santos e Oliveira 2016, Silva et al., 2014, Teixeira et al., 2013 e Santos et al., 2013. Form. Ferrírefa: Costa 2007. Xistos: este trabalho.