17º SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA
GEOTECNOLOGIAS E SUSTENTABILIDADE:
A GEOLOGIA NA AMAZÔNIA ATUAL
23 a 25 de outubro de 2023 – Santarém-Pará
SBG-NO – DEGEO/UFOPA – CPRM/Pará

QUARENTA ANOS DE CONTRIBUIÇÃO DO LABORATÓRIO PARÁ-ISO À GEOLOGIA ISOTÓPICA DA AMAZÔNIA

Moacir Macambira

Universidade Federal do Pará - UFPA
(moamac@ufpa.br)

RESUMO

O Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso) produziu seu primeiro resultado em 1983. Iniciou com uma equipe pequena e apenas um espectrômetro de massas, infraestrutura que se multiplicou e modernizou ao longo das décadas. Atualmente conta com cinco espectrômetros e seis professores-pesquisadores. Em relação à geologia do Cráton Amazônico, o Pará-Iso contribuiu fornecendo resultados por diversos métodos isotópicos para várias regiões do cráton, que permitiram detalhar propostas de compartimentação anteriormente apresentadas e introduzir modificações. Destaca-se a proposta de entendimento do cráton como tendo evoluído a partir de províncias geocronológicas-estruturais com base nos princípios da tectônica de placas. Elas iniciaram com núcleos arqueanos, que formam parte da Província Amazônia Central ou foram aglutinadas na Província Maroni-Itacaiúnas, no Riaciano. Na sequência, na borda sudoeste do proto-cráton, foram acrescidas as províncias Ventuari-Tapajós, Rio Negro-Juruena (ambas de natureza juvenil), Rondoniana-San Ignácio e Sunsas (essas, produto de retrabalhamento crustal), com a conclusão da evolução do Cráton Amazônico se dando em cerca de 1,0 Ga. Esse resumo é uma contribuição ao projeto PRONEX/FAPESPA/CNPq, termo de outorga 062/2020. O autor é detentor de Bolsa de Produtividade em Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

Palavras-chave: Laboratório Pará-Iso; Geologia Isotópica; Amazônia; Pré-cambriano.

1. INTRODUÇÃO

Em 2023, o Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso) completa quarenta anos de produção, como o segundo laboratório de sua natureza na América do Sul. O objetivo deste resumo, além de historiar a criação e evolução do Pará-Iso, é relatar a sua contribuição para o conhecimento da Amazônia, em especial do Cráton Amazônico. Embora seu primeiro equipamento (espectrômetro de massa TIMS *VG-54E*, FNDCT) tenha sido instalado em 1981, que ficou sob a supervisão do professor Koji Kawashita/USP, somente com a chegada do professor Ariel Provost/França, que veio se juntar ao professor Thomas Scheller/Alemanha, foi possível dar início às atividades analíticas integralmente realizadas no laboratório. Com a inclusão do bolsista de DCR/CNPq, Moacir Macambira, oriundo da UFPA, o grupo deu início à produção de dados pelo método Rb-Sr em colaboração com pesquisadores da UFPA e de outras instituições, iniciando pela datação do Granito Serra do Acari (Jorge João et al. 1985). O grupo se fortaleceu com a entrada na equipe do professor Candido Moura e, em seguida, do professor visitante Jean-Michel Lafon/França, que instalou o método Pb-Pb em rocha total, enquanto Macambira e Moura partiam para o doutorado na França e EUA, respectivamente. Com o regresso dos dois em

1992, foi possível instalar o método de evaporação de Pb em zircão, com o auxílio do professor Henri Gaudette/EUA. Em 1996, adquiriu-se um novo TIMS (*Finnigan MAT262*, FINEP), que permitiu evoluir com a datação de zircão e implantar o método Sm-Nd. O laboratório ampliou com um espectrômetro de isótopos estáveis *Finnigan MAT 252* (CTPETRO) em 2000, que veio abrir o espectro analítico e atender um maior número de usuários. Em 2003, o laboratório recebeu a visita do pesquisador visitante Robert Krymsky/Rússia que, dispondo de salas de química ultra-limpas, implantou o método U-Pb em minerais acessórios (zircão, apatita, rutilo e badaleita), além do método de evaporação de Pb em partículas de ouro. A aquisição, em 2009, com verba da Rede Geochronos, do MC-ICP-MS *Neptune* com uma sonda laser acoplada, permitiu um avanço para análises *in situ* (U-Pb e Lu-Hf) em minerais acessórios, como zircão. Em seguida, dois outros equipamentos foram adquiridos: um TIMS *Triton Plus* e um Q-ICP-MS *iCAP Q*, esse com uma sonda laser. Um conjunto de salas ultra-limpas com diversos equipamentos acessórios completam a infraestrutura do Pará-Iso, que conta hoje com mais dois professores especialistas em geologia isotópica (Marco Galarza e João Milhomem Neto).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o nível atual de conhecimento sobre a geologia do Cráton Amazônico inúmeros pesquisadores, instituições e empresas têm se dedicado ao longo de décadas. Merece destaque os estudos feitos pelo Projeto RADAM, que realizou o primeiro levantamento sistemático cobrindo a parte brasileira do cráton, com esparsas datações pelos métodos Rb-Sr e K-Ar realizadas no CPGeo/USP. A partir delas, Amaral (1974) esboçou a primeira compartimentação do cráton, seguida de Cordani et al. (1979), que interpretaram tectonicamente o quadro.

Na sequência, um número significativo de dados isotópicos foi adicionado ao cráton, por variadas metodologias, produzidos em diversos laboratórios nacionais e do exterior. Seguiram-se os dados Pb-Pb e Sm-Nd em rocha total. Depois, os métodos U-Pb e evaporação de Pb em zircão e outros minerais acessórios além de, mais raramente, Ar-Ar e Re-Os. Por fim, nos últimos anos, dados Lu-Hf em zircão têm sido produzidos de forma crescente.

3. RESULTADOS

Os dados isotópicos produzidos no Pará-Iso ao longo dos seus 40 anos vieram contribuir, de forma significativa, para o modelo de evolução tectônica proposto para o Cráton Amazônico, inicialmente por Cordani et al. (1979), seguidos por Teixeira et al. (1989), Tassinari e Macambira (1999, 2004) e Macambira et al. (2020). Neste capítulo, serão apresentados alguns desses resultados distribuídos ao longo do cráton, das regiões mais antigas para as mais jovens. Logicamente, para sua adequada interpretação, esses dados necessitaram do apoio de informações obtidas por outras disciplinas, como geologia regional, tectônica, geofísica, petrologia, bem como dados de geologia isotópica obtidos por outros autores.

As três regiões dominantemente arqueanas do Cráton Amazônico são os domínios Carajás, Amapá (Brasil) e Imataca (Venezuela). Na região de Rio Maria, sul do domínio Carajás, Macambira e Lancelot (1996) estabeleceram o período de ca. 150 M.a. (3,00 a 1,86 Ga) para a formação do embasamento o que, posteriormente, foi comprovado para a parte norte do domínio. Na mesma região, dados Sm-Nd mostraram que os granitos do Orosiriano,

como o Granito Jamon, são produto da fusão de rochas sanukitoides de cerca de 2,87 Ga (Dall'Agnol et al. 2005). Enquanto a parte sul ficou estável no Neoarqueano, a região da Serra dos Carajás foi palco da deposição de sequências vulcanosedimentares portadoras de Fe, Cu e Au, posteriormente afetadas por cisalhamento oblíquo. Análises isotópicas de zircão, sulfetos e ouro permitiram comprovar que os minérios são contemporâneos ao vulcanismo em ca. 2,75 Ga (Galarza et al. 2008). No Amapá, o bloco arqueano mostrou uma evolução diferente da de Carajás, mas que, da mesma forma, foi circundado por terrenos paleoproterozoicos (Rosa-Costa et al. 2006; Milhomem Neto e Lafon 2019).

A Província Maroni-Itacaiúnas abrange as regiões norte e nordeste do Cráton Amazônico e tem, como evento principal, o ciclo Transamazônico, do Riaciano. No domínio Bacajá, esse ciclo englobou rochas do Meso, Neoarqueano e Sideriano (Macambira et al. 2009).

A Província Amazônia Central apresenta um conjunto vulcano-plutônico orosiriano predominante félsico. A assinatura arqueana indicada pelos isótopos de Nd levou Tassinari e Macambira (1999) a separar dessa província, a Província Ventuari-Tapajós. Adjacente, a oeste, ocorre a Província Rio Negro-Juruena, de natureza dominantemente juvenil seguida, no extremo sudoeste do cráton, pelas províncias Rondoniana-San Ignácio e Sunsas, essas produto de retrabalhamento crustal (Tassinari e Macambira 1999). Na evolução dessas províncias, blocos mais antigos foram englobados, como o terreno Paraguá (p.ex. Nalon et al. 2013).

4. DISCUSSÃO

A tectônica de placas, como mecanismo de nucleação e crescimento do Cráton Amazônico, foi proposta pela primeira vez por Cordani et al. (1979), seguidos por Almeida et al. (1981), que introduziram o termo *Amazonian craton*, que une os escudos das Guianas e Brasil Central, bem como o terreno Rio Apa, no extremo sul do último escudo. Contudo, não se tem certeza se esse regime tectônico agiu durante toda a história do cráton, especialmente porque os grandes blocos arqueanos estão bastante afetados por eventos posteriores. Exceção é a região de Rio Maria, sul do domínio Carajás. Nessa região, durante o Mesoarqueano, parece ter dominado uma tectônica vertical, típica da sagdução (Leite et al. 2004), feição que na região de Carajás foi obliterada por cisalhamentos e deformação durante o Neoarqueano.

Na sequência, durante o Riaciano e o Osoriano, volumosos cinturões acreacionários foram soldados ao proto-cráton, por vezes aglutinando micro-continentes arqueanos, mas que apresentam uma significativa proporção de material juvenil. O mais importante está representado pela Província Maroni-Itacaiúnas, cujo principal evento é o ciclo Transamazônico, mas que engloba também cinturões mais jovens (Orocaima, Cauarane-Curuni e Rio Urubu) (Macambira et al. 2020). Essa província circunda a Província Amazônia Central em suas bordas norte e nordeste e tem continuidade com os terrenos birimianos da África. Em seguida, a Província Ventuari-Tapajós margeia a Província Amazônia Central em sua borda oeste e, juntamente com parte dessa (o domínio Iriri-Xingu), tem seu embasamento coberto e cortado por uma importante associação vulcano-plutônica denominada de SLIP Uatumã. Com o acúmulo de dados Sm-Nd observou-se que a parte norte da Província Amazônia Central (domínio Erepecuru-Trombetas) apresenta idades modelo menores que 2,5 Ga, à semelhança da Província Ventuari-Tapajós e diferente da parte sul dessa província. Tal evidência levou Macambira et al. (2020) a propor que o domínio Erepecuru-Trombetas represente uma continuidade da Província Ventuari-Tapajós.

No Estateriano, formou-se a Província Rio Negro-Juruena, que circunda a borda oeste da Província Ventuari-Tapajós. Novos dados Sm-Nd confirmam a natureza juvenil de seu embasamento e sua aglutinação à borda sudoeste da Província Maroni-Itacaiúnas. Encerando o crescimento do cráton, em sua borda sudoeste, se aglutinaram as províncias Rondoniana-San Ignácio e Sunsas, com grande proporção de material crustal retrabalhado. Por fim, magmatismos fissurais entre 1,4 e 1,0 Ga marcaram o final da evolução do Cráton Amazônico (Lima et al. 2019).

5. CONCLUSÕES

Apesar do enorme progresso no conhecimento geológico do Cráton Amazônico, várias e importantes questões permanecem;

Contudo, é consenso que o cráton cresceu pela soldagem de várias províncias, do Arqueano ao Mesoproterozoico;

Os terrenos mais antigos estão em Carajás, Imataca e Amapá, enquanto os mais jovens estão no sudoeste do cráton, marcando o sentido da acrescão;

Algumas áreas-chave devem ser selecionadas para estudo e, assim, ajudar no entendimento da evolução geológica do cráton;

Isótopos são muito úteis nesses estudos, mas métodos de investigação tradicionais não podem ser esquecidos para uma interpretação integrada dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: An Introduction. *Earth-Science Reviews*, 17:1-29.

Amaral G. 1974. *Geologia Pre-Cambriana de Região Amazônica*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 212 p.

Cordani U.G., Tassinari C.C.G., Teixeira W., Basei M.A.S., Kawashita K. 1979. Evolução Tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. *II Cong. Geol. Chileno*, Arica, 4:137–148.

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajas metallogenic province, Brazil. *Lithos*, 80: 101-129.

Jorge João X.S., Santos C.A., Provost A. 1985. Granito Serra do Acari – geologia e implicação metalogenética (Folha Rio Mapuera – NW do estado do Pará. *II Simp. Geol. da Amazônia*, Belém, p. 73-92.

Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitóides 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**: 447-458.

Lima, G.A., Macambira M.J.B., Souza M.Z.A., Ruiz A.S., D'Agrella-Filho M.S. 2019. Fissural mafic magmatism on southwestern Amazonian Craton: Petrogenesis and 40Ar-39Ar geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, **93**: 214-231.

Macambira M.J.B., Lancelot J.R. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria Crust, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Int. Geol. Rev.*, **38**:1134-1142.

Macambira M.J.B., Vasquez M. L., Silva D.C.C., Galarza M.A., Barros C.E.M., Camelo J.F. 2009. Crustal growth of the central-eastern Paleoproterozoic domain, SE Amazonian craton: Juvenile accretion vs.

reworking. *Journal of South America Earth Sciences*, **27**:235-246. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.02.001.

Macambira, M.J.B., Teixeira W., Vasquez M. L. 2020. O Cráton Amazônico e suas províncias geocronológicas: o legado de Umberto Cordani. In: Bartorelli A., Teixeira W., Brito Neves B.B. (Org.). *Geocronologia e Evolução Tectônica do Continente Sul-Americano: a contribuição de Umberto Giuseppe Cordani*. São Paulo, Solaris, p. 47-62.

Milhomem Neto J.M., Lafon J.M. 2019. Zircon U-Pb and Lu-Hf isotope constraints on Archean crustal evolution in Southeastern Guyana Shield. *Geoscience Frontier*, **10**: 1477-1506.

Nalon P.A., Sousa M.Z.A., Ruiz A.R., Macambira M.J.B. 2013. Batólito Guaporeí: uma extensão do Complexo Granitoide Pensamiento em Mato Grosso, SW do Cráton Amazônico. *Brazilian Journal of Geology*, **43**(1): 85-100.

Rosa-Costa L.T., Lafon J.M., Delor C. 2006. Zircon geochronology and Sm-Nd isotopic study: further constraints for the geodynamical evolution during Archean and Paleoproterozoic in the Southeast of Guiana Shield, north of Brazil. *Gondwana Research*, **10**:277-300.

Tassinari C.C.G. e Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**(3):174–182.

Tassinari C.C.G. e Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B (Eds.). *Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca, p. 471-485.

Teixeira W., Tassinari C.C.G., Cordani U.G., Kawashita K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. *Precambrian Research*, **42**:213–227. https://doi.org/10.1016/0301-9268(89)90012-0.