

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

EVIDENCE OF ANCIENT GLACIATIONS IN THE NORTHEASTERN

SERTÃO

Afonso César Rodrigues Nogueira^{1*}; Ana Maria Góes², José Bandeira³, Ivan Alfredo Romero Barrera⁴, Renato Sol Paiva de Medeiros⁵; Renan Fernandes dos Santos⁶; Pedro A Silva⁷; Joelson Lima Soares⁸

^{1*} Universidade Federal do Pará – UFPA; anogueira@ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5225-9255

² Universidade de São Paulo - USP; amgoes@usp.br; ORCID: 0000-0001-8575-1935

³ Universidade Federal do Pará – UFPA; jbandeira@ufpa.br; ORCID:0000-0002-9483-1897

⁴ Universidade Federal do Pará – UFPA; ivan.barrera@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0002-5598-9181

⁵ Universidade Federal do Pará – UFPA; renato.solgeo@gmail.com; ORCID:0000-0002-1202-0143

⁶ Universidade Federal do Pará – UFPA; renan.santos@ig.ufpa.br; ORCID: 0000-0002-6068-3814

⁷ Universidade Federal do Pará – UFPA; pedrogeologia8@hotmail.com; ORCID: 0000-0002-7177-3778

⁸ Universidade Federal do Pará – UFPA; jlsoares@ufpa.br; ORCID 0000-0003-3683-523X

RESUMO: O sertão nordestino quente atual já foi um cenário gelado no passado geológico da Terra quando fazia parte de um gigantesco continente que estava próximo ao polo sul. Como o gelo do passado não se preserva no registro geológico, sobra apenas os sedimentos compostos de grãos de cascalho, areia e argila que esse gelo transportava. Esses sedimentos ao virarem rocha durante o soterramento representam as evidências da passagem de geleiras pela atual região do sertão a milhões de anos atrás. Pelo menos duas glaciações estão documentadas nas rochas do sertão ocorridas em 440-430 milhões de anos e 360-425 milhões de anos, respectivamente, os períodos Siluriano e Devoniano. As evidências dessas glaciações estão em depósitos rochosos da Bacia do Parnaíba, representados por conglomerado com matriz argilosa rico em clastos de diferentes tipos de rochas, sem estrutura, estratificados ou deformados denominados de diamictitos. Após o avanço das geleiras que depositaram os diamictitos, ocorreu a fase de degelo marcada pelos folhelhos marinhos, ricos em matéria orgânica, sendo que alguns deles contém detritos advindos do derretimento de *icebergs*. Esses intervalos glaciais são geralmente intercalados por depósitos fluvio-deltaicos desenvolvidos durante fase interglacial e servem como importante marcos estratigráficos para a correlação global desta parte do nordeste.

Palavras-chave: Geleira. Bacia do Parnaíba. Diamictito. Gondwana. Paleozoico.

ABSTRACT: The current hot northeastern sertão in Brazil was once a scenario in the Earth's geological past close to the south pole and included in the part of a giant continent, the Gondwana. The ancient ice that covers this region in the past was not preserved in the geological record. Sediment remains composed of gravel, sand, and clay transported by the ice were the unique record documented throughout the time. During the burial, these sediments become a rock

succession, evidence from the passage of glaciers in the sertão once upon millions of years ago. At least two glaciations are documented in these Sertão rocks in 440-430 and 360-425 million years ago, during the Silurian and Devonian periods. The glaciation evidence is recorded in the Parnaíba Basin as a matrix-supported conglomerate with clasts of different rocks named diamictite. After the glacier advance that deposited the diamictite, the succession is underlain by organic matter-rich-marine shales, sometimes containing debris from the melting of icebergs. These glacial deposits are usually sandwiched by fluvial-deltaic succession and are considered stratigraphic marks for the global correlation of this part of the Brazilian northeast.

Keywords: Glaciers. Parnaíba Basin. Diamictite. Gondwana. Paleozoic.

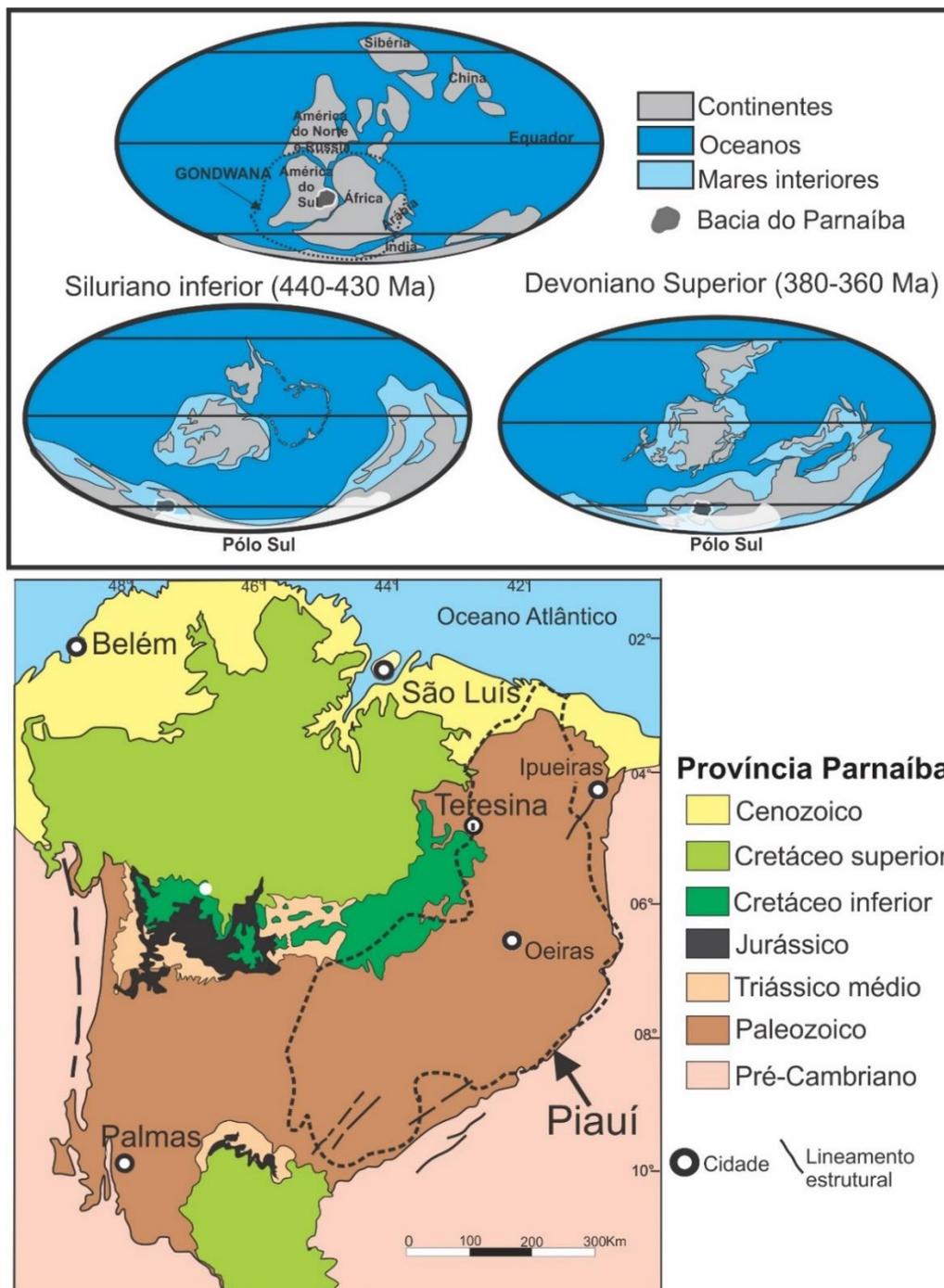
1 Introdução

Passear atualmente pelo sertão nordestino é uma experiência que necessita de muita água para refrescar a cabeça do sol quente de derreter o solado do sapato. Este cenário, no entanto, já foi bem diferente no passado e nem de longe se parecia com a atual paisagem seca e rochosa dominada por cactos como o mandacaru. Pelo menos em duas oportunidades no passado geológico, em 440-430 e 360-425 milhões de anos atrás, o gelo dominava essa parte do nordeste do Brasil que integrava um aglomerado composto pela América do Sul, África, Oceania, Antártica e parte da Ásia, confinado ao polo sul, o extinto continente Gondwana (Fig. 1). Neste artigo, revisitamos os registros glaciais da borda leste da Bacia do Parnaíba, que inclui os depósitos do Siluriano da Formação Ipu (Assis et al. 2019, Caputo e dos Santos 2019, Barrera et al., 2020) e do Devoniano da Formação Cabeças (Barbosa et al., 2015) expostos, respectivamente, em afloramentos de rochas em cortes de estradas na região de Ipueiras, Estado do Ceará, e próximo a Oeiras, Estado do Piauí (Fig. 1). A análise estratigráfica e de fácies baseada em afloramentos, combinada com estudos geométrico-estruturais destes depósitos, possibilitou identificar pelo menos um ciclo de avanço-recuo de geleira nas sucessões estudadas e a ocorrência de feições geradas pelo peso e movimento das geleiras ou glaciectônicas. Este procedimento permitiu construir um modelo de evolução sedimentar contribuindo para a compreensão do papel das sucessões glaciais no entendimento paleogeográfico da região. Estas informações ampliam a compreensão do desenvolvimento de sistemas petrolíferos nessas bacias sedimentares instaladas no Gondwana Ocidental. As novas interpretações melhoraram a correlação destes depósitos com outras sucessões no mundo, além de compreender o papel dos mantos de gelo e das transgressões marinhas pós-glaciais que caracterizam o Paleozoico inferior (485 a 358 milhões de anos) da Bacia do Parnaíba.

Figura 1. Cenários paleogeográficos do Gondwana Oeste com destaque para a localização da Bacia do Parnaíba. O globo de cima da figura ilustra o Gondwana, num cenário mais recente que Siluriano e Devoniano, o foco deste trabalho. Nos períodos Siluriano e Devoniano, o Gondwana estava confinado no polo sul e com

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

predomínio das geleiras. A parte inferior da figura mostra o mapa geológico da Bacia do Parnaíba com destaque para os locais com evidências glaciais nos estados do Piauí e Ceará, o sertão nordestino.



Fonte: Reconstruções Paleogeográficas baseadas em Scotese (1999), modificado. E em CPRM (2004).

2. O registro glacial na Bacia do Parnaíba

Sucessões glaciogênicas do Gondwana têm sido o foco de vários estudos estratigráficos recentes, principalmente devido ao seu potencial como possíveis sistemas

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.144 – 146, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-9

de petróleo. A geração de hidrocarbonetos está associada à presença de folhelhos negros ricos em matéria orgânica depositados durante a transgressão marinha pós-glacial, considerados possíveis rochas geradoras. Além disso, os arenitos intercalados aos folhelhos glacio-marinhos podem representar possíveis rochas reservatórios de petróleo (Vesely et al. 2007, Assine & Vesely 2008, Fielding et al. 2012). Os depósitos glaciais no Gondwana Ocidental estão bem preservados nas bacias paleozoicas da América do Sul (Cunha et al. 1994, Loboziak et al. 2000, Streef et al. 2000, Isaacson et al. 2008). O Paleozoico inferior foi caracterizado pelas condições climáticas de efeito estufa, com alto teor de CO₂ na atmosfera, cinco vezes maior que o atual (Brenchley et al., 1994). A migração do supercontinente Gondwana em direção ao Pólo Sul foi concomitante a fatores astronômicos como mudanças na rotação da Terra e diminuição da radiação solar que favoreceu o crescimento das camadas de gelo (Brenchley et al., 1994). A transição entre os períodos Siluriano, Devoniano e Carbonífero no Gondwana Ocidental é marcada por longos períodos glaciais (Ghienne, 2003; Saltzman, 2003; Davydov et al., 2010, 2012) (Fig. 1). O final das glaciações paleozoicas foi marcado pelo o mais expressivo aumento glacio-eustático do nível do mar mais considerável na história da Terra, gerando transgressões marinhas significativas marcadas pela deposição de folhelhos ricos em matéria orgânica (Haq & Schutter, 2008).

No Norte do Brasil, rochas do Siluriano (440-430 milhões de anos) e do Devoniano (380 a 350 milhões de anos) são hospedeiros de depósitos glaciais e pós-glaciais e representam as principais unidades de reservatório de sistemas petrolíferos na Bacia do Parnaíba (Fig. 1). Esta bacia classificada como intracratônica, está localizada ao norte do continente sul-americano, nordeste do Brasil, com área de aproximadamente 600.000 km² e pode atingir de 3,4 a 3,5 km de espessura nos depocentros (Caputo, 1984; Vaz et al., 2007; Daly et al., 2014). O embasamento da bacia representado principalmente por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, com idades variando do Arqueano ao Ordoviciano, formadas ou retrabalhadas durante o ciclo Brasileiro-Pan-Africano (Vaz et al., 2007). A origem e evolução da Bacia do Parnaíba estão principalmente relacionadas aos eventos tectono magmáticos (Daly et al., 2014), que produziram o início da sedimentação durante o Paleozoico a partir de uma depressão ordoviciana, causada por ajustes isostáticos e resfriamento após a fusão do Gondwana (Brito Neves et al., 1984; De Castro et al., 2014).

Em relação as evidências glaciais obtidas por dados de superfície e subsuperfície, a ocorrência de conglomerados com muita matriz e com clastos facetados de diferentes

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

composições mineralógicas denominados tilitos, e raros pavimentos estriados têm sido a principal base para apoiar uma influência/natureza glacial em unidades das bacias paleozoicas intracratônicas brasileiras (Caputo et al. 1971, Carozzi et al. 1973, Carozzi et al. 1975, Caputo 1985, Caputo & Crowell 1985, Grahn 1991, Grahn e Caputo 1992, Grahn e Paris 1992). Por outro lado, deformações glacioteclônicas resultantes do estresse produzido pelo peso e movimento de uma geleira sobre os sedimentos subjacentes são incipientemente registradas (Costa et al. 1994, Rocha-Campos et al. 2000, Soares et al. 2005). As estruturas glacioteclônicas são comparáveis às estruturas tectônicas de cinturões de cisalhamento, embora sejam geralmente muito menores em escala, são intraformacionais e de nível crustal superficial (Banham 1977, Nielsen 1988).

4. Resultados

Os trabalhos de campo foram realizados em afloramentos da Formação Ipu, localizados na rodovia CE-257, que cruza a Serra da Ibiapaba, no estado do Ceará, enquanto as exposições da Formação Cabeças ocorrem em cortes da rodovia BR-230 próximo a Oeiras, Estado do Piauí (Fig. 1). Em geral os diamictitos que são conglomerados com mais de 15% de matriz, arenitos e argilitos com estruturas e texturas glaciais (Paleoambientes 2A e 2B da figura 2) estão intercalados com sucessões de espessura métrica de conglomerados e arenitos fluviais e deltaicos (Paleoambiente 1 da Figura 2). Os diamictitos glaciais silurianos são mais espessos com cerca de 40m de espessura enquanto os devonianos alcançam apenas 3m sendo que a maior parte dos depósitos com influência glacial são interpretados como delta de degelo com até 10m de espessura dentro do paleoambiente 1 (ver perfil de Oeiras na figura 2). A sucessão glacial nos perfis estudados é recoberta por depósitos marinhos rasos com a ocorrência na base dos folhelhos de arenitos grossos e seixos atribuídos como detritos advindos de *icebergs*. Estes detritos quando isolados são denominados de seixo caído (*dropstone*) e quando composto por um cascalho arenoso é chamado de *dumpstone* (Fig. 2).

Figura 2. Perfis compostos dos depósitos silurianos da Formação Ipu (A) e Devoniano-carbonífero da Formação Cabeças (B), respectivamente na região de Ipueiras (CE) e Oeiras (PI).

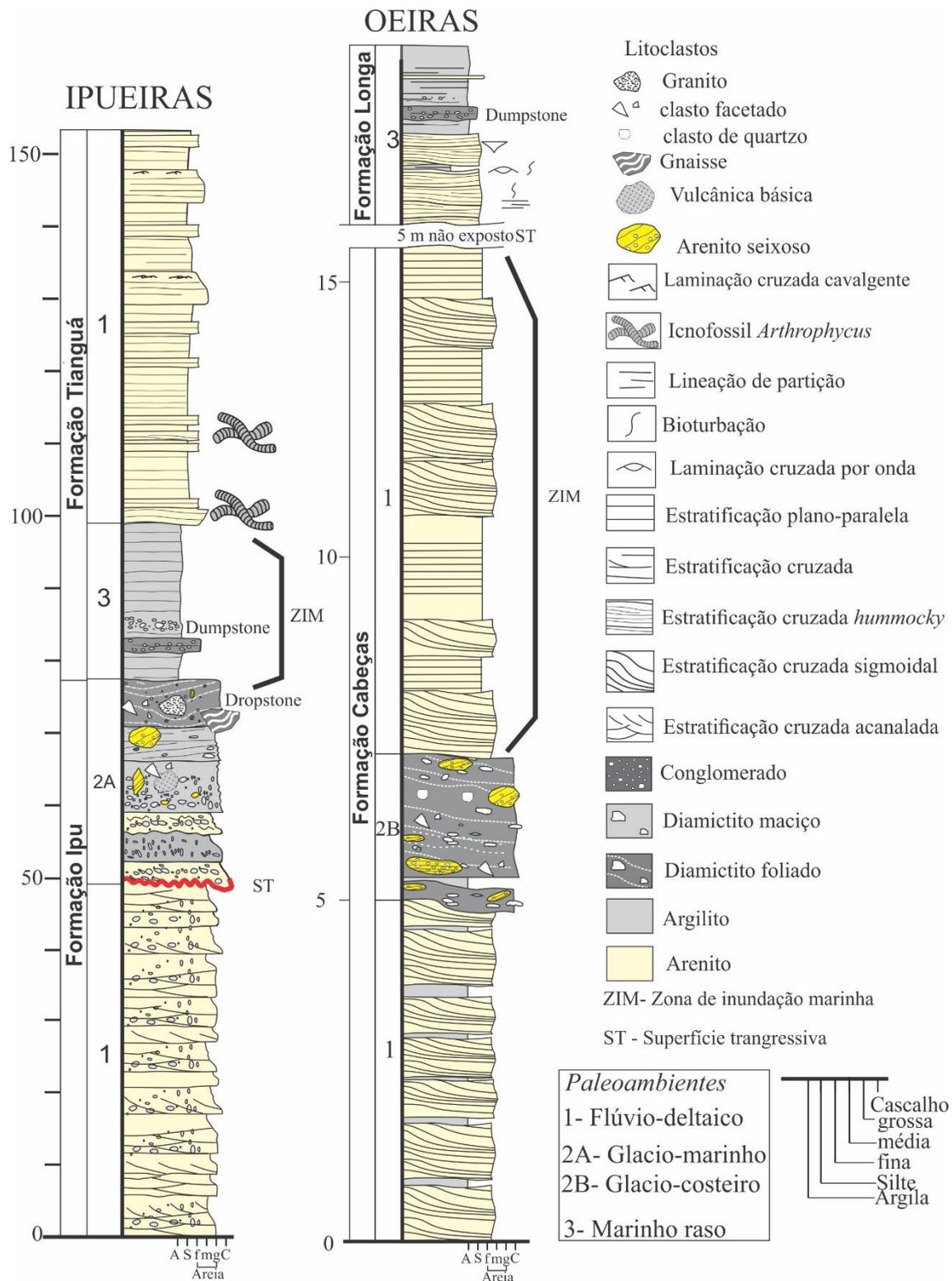
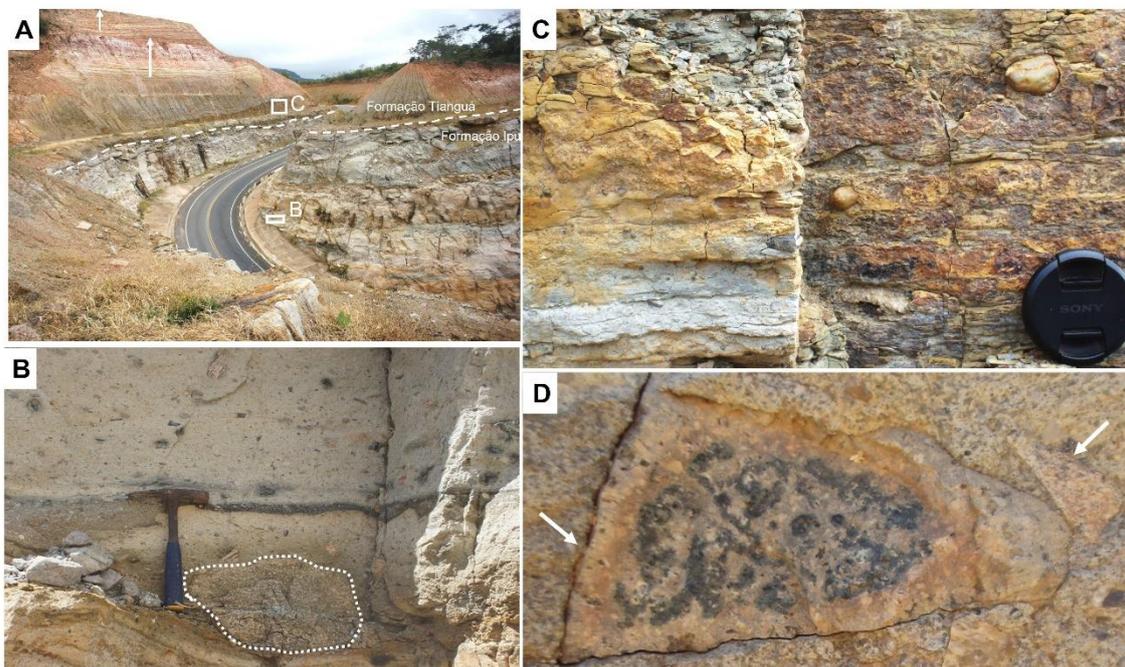


Figura 3. Seção de Ipueiras (CE), exibindo litotipos e estruturas glaciais das formações IPU e Tianguá. A) Seção panorâmica da sucessão glacio-marinha mostrando o contato entre as formações Ipu e Tianguá, exibindo ciclos métricos de folhelho e arenito para o topo (setas brancas). B) Megaclasto de granito na base de

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

diamictito maciço (detalhe de A). C) Folhelho com detritos e seixos isolados interpretados respectivamente como *dumpstone* e *dropstone* (detalhe de A). D) Clastos facetados em diamictito.



Os diamictitos maciços são interpretados como depósitos glaciogênicos subaquáticos de fluxo de detritos coesos, depositados próximo da frente de derretimento do gelo (Le Heron et al., 2012). Os diamictitos estratificados são interpretados como sedimentos depositados também em ambiente proglacial (glaciomarinho), transportados por fluxo de detritos com uma maior entrada de silte e argila, durante o recuo da margem de gelo (Visser, 1997). Tais estratificações foram geradas durante altas taxas de derretimento do gelo e fluxo de gravidade de sedimentos (Visser, 1997).

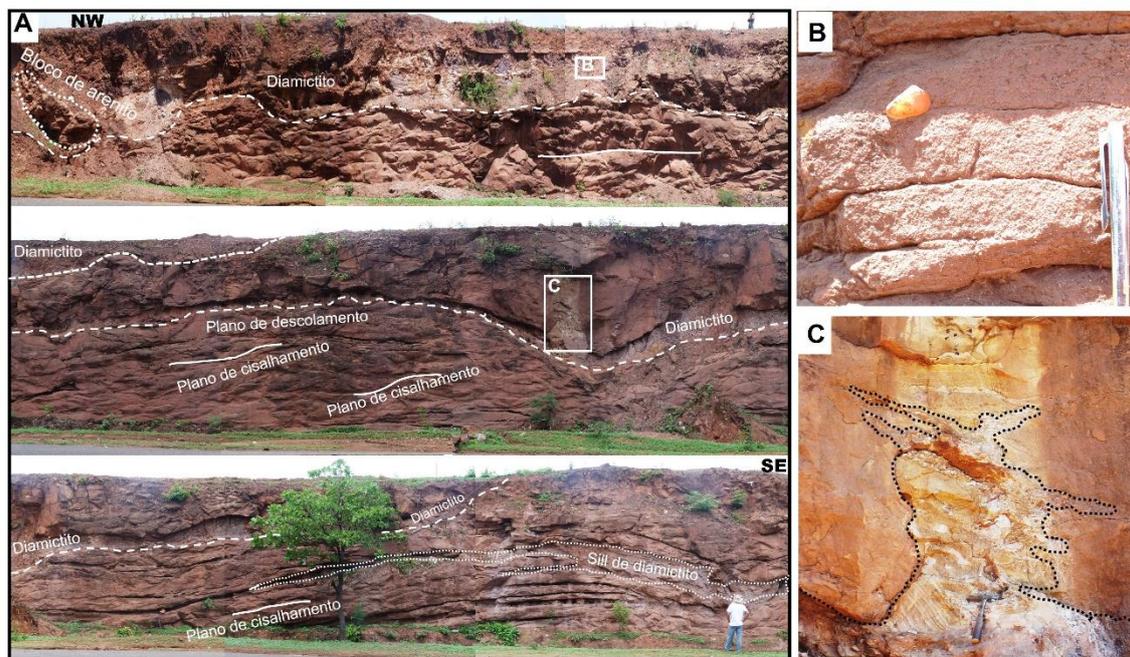
Os folhelhos negros com detritos provavelmente foram depositados na zona de transição offshore. Concomitante ao derretimento da capa de gelo (pós-glacial), eventos transgressivos se tornaram cada vez mais intensos, aumentando a área continental recoberta pelo mar e favorecendo a deposição de espessas camadas de folhelhos negros orgânicos, produto da sedimentação de argila e silte por suspensão em ambiente de baixa energia de águas profundas, influenciada pela elevação progressiva do nível do mar em uma transgressão de longo prazo.

O perfil de Oeiras se caracteriza pela ocorrência de uma zona de deformação limitada por um plano de descolamento marcado por diamictitos maciços sobre depósitos flúvio-deltaicos parcialmente deformados com a formação de planos de cisalhamento (Fig. 2, 4). Os diamictitos maciços são compostos por clastos de arenito, argilito e

Revista da Academia de Ciências do Piauí, Volume 3, Número 3, p.144 – 146, Janeiro/Junho, 2022. ISSN: 2675-9748 DOI:10.29327/261865.3.3-9

fragmentos vulcânicos, polidos e facetados, imersos em uma matriz argilosa. As principais estruturas deformacionais, são brecha intraformacional, dobras abertas e falhas normais, diques injeção sub-verticais preenchidos por arenito de granulação fina a média. A frente deltaica de degelo é constituída por arenitos de camadas tabulares, lenticulares de granulação fina a média, e recobrem os depósitos subglaciais e incluem arenito maciços, com laminação plano- paralela e estratificação cruzada sigmoidal. Estrutura de escape d'água estão associados ao arenito maciço.

Figura 4. Seção de Oeiras (PI), exibindo litotipos e estruturas glaciais da Formação Cabeças. A) Seção panorâmica da sucessão glacio-costeira mostrando camadas tabulares deformadas e parcialmente deformadas com planos de cisalhamento, separada por plano de descolamento (linha branca tracejada) sobreposto por diamictito. B) Diamictito com clasto de quartzo isolado (detalhe de A). C) dique clástico de injeção (detalhe de A).



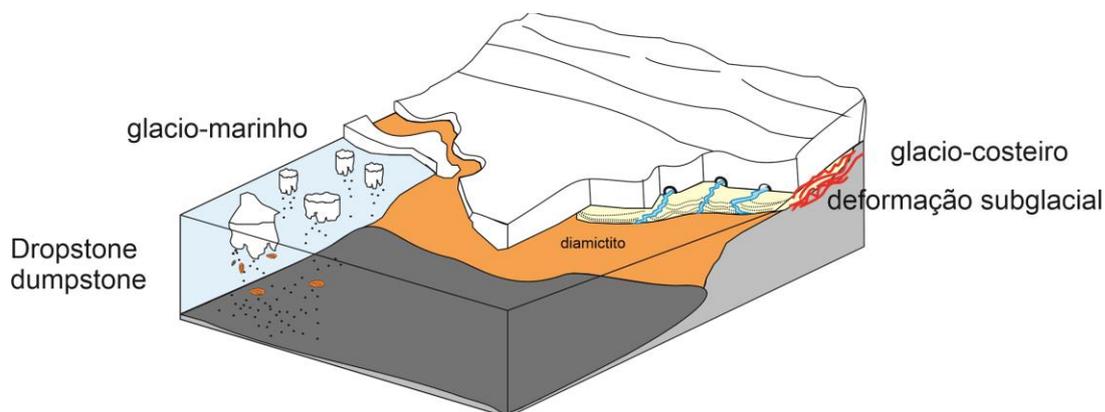
O transporte glacial é caracterizado pela capacidade de carregar sedimentos com tamanhos e formas variadas, incorporando camadas do substrato parcialmente consolidados que são submetidos a intenso estresse durante o avanço da geleira formando planos de cisalhamento, falhas e dobras (paleoambiente 2B da figura 2, Fig. 4). A natureza dos diamictitos texturalmente imaturos com clastos facetados, polidos e estriados, é compatível com a interação das tensões impostas por uma geleira em movimento e processo de atrito abrasivo (paleoambiente 2B da figura 2). O par formado por diamictito com estruturas deformacionais sobrepostos por depósitos lobados de delta de degelo

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

reflete um ciclo de avanço-recuo da geleira. A superfície de descolamento é preferencialmente desenvolvida no contato entre diamictitos e lobos arenosos sigmoidais, devido a diferença de reologia que permitiu a propagação de movimento induzido pelas geleiras, gerando um plano de cisalhamento que separa estratos deformados de não deformados (van der Wateren 1986, Fernlund 1988; Kessler et al. 2012). Falhas normais sugerem o alívio das tensões pela retirada da geleira do substrato deltaico. A presença de corpos de arenito com geometrias planas e lobadas sugerem mudanças no padrão de sedimentação pós-glacial, influenciada pela variação de energia da descarga da água de degelo formando um sistema de frente deltaica (Eyles & Eyles 2010).

O registro glacial do Siluriano tem como principal depósitos diamictitos arenosos e argilosos intercalados com argilitos com predominância de clastos caídos (*dropstone*) e *dumpstone* em ambiente subaquático no ambiente marinho. Por outro lado, o registro glacial do Devoniano sugere contato direto da geleira com o substrato rochoso e sedimentar costeiro, geralmente deformado pelo avanço da geleira sucedido por deltas de lavagem durante a fase de recuo ou degelo. A figura 5 ilustra esses dois ambientes que estão em consonância com a paleogeografia dos dois intervalos de tempo mostrados na figura 1.

Figura 5. Bloco diagrama dos ambientes glaciais interpretados para as sucessões siluriana e devoniana da Bacia do Parnaíba. O lado esquerdo do bloco ilustra o desprendimento da geleira na água marinha com predomínio de detritos liberados no derretimento dos icebergs na porção distal da bacia. O lado direito do bloco exhibe ambientes costeiros como rios, praias e deltas formados durante o recuo da geleira e posteriormente deformados durante a fase de avanço do gelo.



5 Considerações finais

Diamictitos com clastos de diferentes tipos de rochas sem estruturas, estratificados ou foliados são os principais depósitos reconhecidos como de origem glacial na borda leste da Bacia do Parnaíba. Estes depósitos pertencem as formações Ipu na região de Ipueiras/CE do Siluriano e Cabeças do Devoniano nas proximidades de Oeiras/PI. Tais unidades apresentam assinaturas distintas de glaciação. No Siluriano ocorreram grandes incursões marinhas e um gradual degelo no Oeste do Gondwana, o que favoreceu a deposição de sucessões glacio-marinhas com predominância de camadas de folhelhos intercaladas com horizontes ricos em detritos advindo da chuva de terrígenos durante o degelo de *icebergs*. A unidade devoniana apresenta uma maior influência continental com o avanço de geleiras sobre regiões costeiras causando deformação glacioteclônica do substrato rochoso ou sedimentar. Os eventos pós-glaciais são representados pela instalação de delta de degelo no Devoniano e de ambiente marinho raso com influência de fluxo detritos de *icebergs* durante a transgressão pós-glacial (formações Tianguá e Longá). O entendimento das assinaturas glaciais na Bacia do Parnaíba favorece correlações estratigráficas com outros depósitos glaciais ao redor do mundo, possibilitando a elaboração de modelos paleogeográficos e paleoclimáticos globais.

Referências bibliográficas

ASSINE M.L. & VESELY F.F. Ambientes Glaciais. In: Silva A.J.C.L.P., Aragão M.A.N.F., Magalhães A.J.C. (org.). Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil. Beca, p. 24-51. 2008.

ASSIS A.P., PORTO A.L., SCHMITT R.S., LINOL B., MEDEIROS S.R., CORREA MARTINS F., SILVA D.S. The Ordovician-Silurian tectono-stratigraphic evolution and paleogeography of eastern Parnaíba Basin, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. **95**: 102241. 2019.

BANHAMP.H. Glacitectonics in till stratigraphy. **Boreas**. 6:101-106. 1977.

BARBOSA R.,C.,M., NOGUEIRA A.,C.,R., GARCIA F.,H.,D. Famennian glaciation in the eastern side of Parnaíba Basin, Brazil: evidence of advance and retreat of glacier in Cabeças Formation. **Brazilian Journal of Geology**. 45. 13-27. 2015.

BARRERA, I. A. R., NOGUEIRA, A. C., BANDEIRA, J. The Silurian in the eastern Parnaíba Basin, Brazil: paleoenvironment, sequence stratigraphy and insights for the evolution and paleogeography of West Gondwana. **Sedimentary Geology**. 406. 105714. 2020.

BRENCHLEY P.J., MARSHALL J.D., CARDEN G.A.F., ROBERTSON D.B.R., LONG D.G.F., MEIDLA T., HINTS L., ANDERSON T.F. Bathymetric and isotopic

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

evidence for a short lived Late Ordovician glaciation in a greenhouse period. **Geology**. 22: 295-298. 1994.

BRITO NEVES B.B., FUCK R.A., CORDANI U.G., THOMAZ F. A. Influence of basement structures on the evolution of the major sedimentary basins of Brazil: a case of tectonic heritage. **Journal of Geodynamics**. 1: 495–510. 1984.

CAPUTO M. V. & DOS SANTOS R. O. Stratigraphy and ages of four Early Silurian through Late Devonian, Early and Middle Mississippian glaciation events in the Parnaíba Basin and adjacent areas, NE Brazil. **Earth-Science Reviews**. 103002. 2019.

CAPUTO M.V. Late Devonian Glaciation in South America. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 51:291-317. 1985.

CAPUTO M.V., RODRIGUES R., VASCONCELOS D.N.N. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas, Belém. Relatório Interno, 641-A PETROBRÁS. 92 p. 1971.

CAPUTO, M.V. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. PhD Thesis. University of California. Santa Barbara. 583p. 1984.

CAPUTO, M.V., & CROWELL, J. Migration of glacial centers across Gondwana during Paleozoic Era. **Geological society of America Bulletin**. 96:1020-1036. 1985.

CAROZZI A.V., FALKENHEIN F.U.H., CARNEIRO R.G., ESTEVES F.R., CONTREIRAS C.J.A. Análise ambiental e evolução tectônica sin-sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão. Exploração de Petróleo – PETROBRAS 7. 1975.

CAROZZI A.V., PAMPLONA H.R.P., CASTRO J.C., CONTREIRAS C.J.A. Ambientes deposicionais e evolução tectono-sedimentar da seção clástica paleozóica da Bacia do Médio Amazonas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27, São Paulo, Anais, SBG, v. 3, p. 279-314. 1973.

COSTA J.B.S., NOGUEIRA A.C.R., GÓES A.M., TRUCKENBRODT W. Evidências de tectônica glacial na Formação Cabeças, Devoniano Superior, SW da Bacia do Parnaíba. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Belém, Boletim de resumos expandidos, p. 51-53. 1994.

CUNHA P.R.C., GONZAGA F.G., COUTINHO L.F.C., FEIJÓ F.J. Bacia do Amazonas, **Boletim de Geociências da Petrobras**. 8:47-55. 1994.

DALY M.C., ANDRADE V., BAROUSSE C.A., COSTA R., MCDOWELL K., PIGGOTT N., POOLE A.J. Brasileiro crustal structure and the tectonic setting of the Parnaíba basin of NE Brazil: results of a deep seismic reflection profile. **Tectonics**. 33: 2102–2120. 2014.

DAVYDOV, V. KORN, D. SCHIMITZ, M. The Carboniferous periods. In Gradstein, F. Ogg, J. Schmitz, M. Ogg, G. (eds). Geological time scale. Amsterdam. Elsevier. p. 603-651. 2012.

DAVYDOV, V.I., CROWLEY, J.L., SCHMITZ, M.D., POLETAEV, V.I. High precision U-Pb zircon age calibration of the global Carboniferous time scale and Milankovitch-band cyclicity in the Donets Basin, eastern Ukraine. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11 Q0AA04. 2010.

DE CASTRO D.L., FUCK R.A., PHILLIPS J.D., VIDOTTI R.M., BEZERRA F.H.R., DANTAS E.L. Crustal structure beneath the Paleozoic Parnaíba Basin revealed by airborne gravity and magnetic data. Brazil. **Tectonophysics**. 614: 128–145. 2014.

EYLES C.H. & EYLES N. Glacial Deposits. In: James N.P. & Dalrymple R.W. (eds.). *Facies Model 4*. Geological Association of Canada, p. 73-104. 2010.

FERNLUND J.M.R. The Halland coastal moraines: are they end moraines or glaciotectonic ridges? In: Croot D.G. (ed.). *Glaciotectonics: forms and processes*, A.A Balkema/Brookfield, p. 77-90. 1988.

FIELDING C.R., BLACKSTONE B.A., FRANK T.D., GUI Z. Reservoir potential of sands formed in glacio-marine environments: an analogue study based on Cenozoic example from McMurdo Sound, Antarctica. In: Huuse M., Redfern J., Le Heron D., Dixon R.J., Moscariello A., Craig J. (eds). *Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems*. Geological Society, London, Special Publication, 368, p. 211-228. 2012.

GHIENNE J.F. Late Ordovician sedimentary environments, glacial cycles, and postglacial transgression in the Taoudeni Basin, West Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 189: 117–145. 2003.

GRAHN Y. & CAPUTO M.V. Early Silurian glaciations in Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 99: 9–15. 1992.

GRAHN Y. & PARIS F. Age and correlation of the Trombetas Group, Amazonas Basin. **Revue de Micropaléontologie**. 35:197-209. 1992.

GRAHN Y. Ordovician chiyinozoa and biostratigraphy of Brazil. **Geobios**. 6:703-723. 1991.

HAQ, B. & SCHUTTER, S. A chronology of Palaeozoic sea level changes. **Science**. 322. 64-68. 2008.

ISAACSON P.E., DÍAZ-MARTÍNEZ E., GRADER G.W., KALVODA J., BABEK O., DEVUYSTF.X. Late Devonian-earliest Mississippian glaciation in Gondwanaland and its biogeographic consequences. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 268:126-142. 2008.

KESSLER T.C., KLINT K.E.S., NILSSON B., BJERG P.L. Characterization of sand lenses embedded in tills. **Quaternary Science Reviews**, 53:55-71. 2012.

LE HERON D., BUSFIELD M., KAMONA F. An interglacial on snowball Earth? Dynamic ice behaviour revealed in the Chuos Formation, Namibia. **Sedimentology**. 60: 411-427. 2012.

LOBOZIAK S., CAPUTO M.V., MELO J.H.G. Middle Devonian – Tournaisian miospore biostratigraphy in the southwestern outcrop belt of the Parnaíba Basin, north-central Brazil. **Revue de Micropaléontologie**. 43(4):301-318. 2000.

EVIDÊNCIAS DE ANTIGAS GLACIAÇÕES NO SERTÃO NORDESTINO

NIELSEN M.H. Glaciotectonic unconformities in Pleistocene stratigraphy as evidence for the behaviour of former Scandinavian ice sheets. In: Croot D.G. (ed.). *Glaciotectonics: forms and processes*. Rotterdam, Balkema, p. 91-99. 1988.

ROCHA-CAMPOS A.C., CANUTO J.R., SANTOS P.R. Late Paleozoic glaciotectonic structures in northern Paraná Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**. 130:131-143. 2000.

SALTZMAN, M.R. The Late Paleozoic ice age: oceanic gateway or pCO₂? **Geology**. 31, 151 – 154. 2003.

SCOTESE, C.R. et al., Gondwanan paleogeography and paleoclimatology. *Journal of African Earth Sciences*, 28 (1):99-114, 1999.

SOARES E.A.A., TRUCKENBRODT W., NOGUEIRA A.C.R. Fácies litorâneas e subglaciais da Formação Nhamundá (Siluriano inferior), região de Presidente Figueiredo, Bacia do Amazonas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. 2:105-132. 2005.

STREEL M., CAPUTO M.V., LOBOZIAK S., MELO J.H.G. Late Frasnian Famennian climates based on palynomorph quantitative analyses and the question of the Late Devonian glaciations. **Earth Science Reviews**. 52:121-173. 2000.

VAN DER WATEREN D. Structural geology and sedimentology of the Dammer Berge push moraine. In: van der Meer J.J.M. (ed.). *Tills and glaciotectonics*. Balkema, Rotterdam, p. 157-182. 1986.

VAZ P.T., REZENDE N.G.A.M., WANDERLEY FILHO J.R., TRAVASSOS W.A.S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**. 15(2):253-263. 2007.

VESELY F.F., ROSTIROLLA S.P., APPI C.J., KRAFT R.P. Late Paleozoic glacially related sandstone reservoirs in the Paraná Basin, Brazil. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, 91:151-160. 2007.

VISSER J.N.J. Deglaciation sequences in the Permo-Carboniferous Karoo and Kalahari basins of southern Africa: a tool in the analysis of cyclic glaciomarine basin fills. **Sedimentology**. 44: 507 – 521. 1997.

Agradecimentos: Este trabalho foi desenvolvido com apoio técnico do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará (UFPA), e financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).