



ESTUDO DE ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIOS CARBONÁTICOS: TUFAS QUARTENÁRIAS DE QUIXERÉ, CE.

Palavras-Chave: CARBONATOS, PALEOAMBIENTE, TUFAS

Autores/as:

LORENZO BUENO CORRÊA, IG, UNICAMP

Prof^a. Dr^a. FRÉSIA SOLEDAD RICARDI TORRES BRANCO (orientadora), IG, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

As tufas são rochas carbonáticas continentais depositadas a baixas temperaturas (temperatura ambiente) em locais de com a presença de água doce (p.ex. nascentes, lagos, rios com quedas de água) e de rápidas taxas de deposição. A precipitação destes carbonatos está relacionada a atividade metabólica (fotossíntese) de microrganismos, o qual libera CO₂ no meio aquoso, proporcionando o aumento do pH e a supersaturação de Ca, induzindo a deposição do CaCO₃. Por outro lado, a sua deposição também pode obedecer a um fenômeno puramente físico-químico (Tanner, 2010). As tufas, em geral, são ricas em fósseis de bactérias (p.ex. cianobactérias), vegetais (p.ex. musgos, algas, macrófitas aquáticas e arbóreas) e animais (p.ex. moluscos), que não somente contribuem com a sua formação e deposição, como também podem ser utilizados com indicadores paleoambientais relacionados ao ambiente e paleoclima durante a deposição (Tanner, 2010).

A Bacia Potiguar (Cretáceo Inferior - Neógeno) possui uma área de aproximadamente 49000 Km² (Bertami *et al.*, 1990, Milani *et al.*, 2007) e está localizada no extremo nordeste do Brasil. Os seus afloramentos englobam os estados do Rio Grande do Norte e o extremo nordeste do Ceará. Essa bacia se limita ao leste/sudeste com a Bacia do Parnaíba e ao nordeste com o embasamento Pré-cambriano da Província da Borborema (Neto *et al.*, 2007). Nela estão presentes 3 estágios que acompanham a evolução tectônica da abertura da margem atlântica brasileira que também foi responsável pela origem de parte das bacias que compõem o sistema de rift do Nordeste (Castro *et al.*, 1998; Jesus *et al.*, 2012). Atualmente, a Bacia Potiguar apresenta aproximadamente 40% da sua área na porção emersa do continente. A litoestratigrafia da bacia foi dividida em três grupos, denominados de (da base para topo): Areia Branca (Barremiano - Albiano), Apodi (Albiano - Campaniano) e Agulha (Campaniano - Paleogeno). Os grupos Apodi e Agulha registram a deposição de carbonatos, desses especialmente importantes são os depositados na Formação Jandaíra (Turoniano -

Campaniano; Dino, 1992; Bezerra e Maia, 2014) do Grupo Apodi, constituído por *mudstones* a *grainstones* com finas intercalações de evaporitos, margas e arenitos. Os carbonatos da base dessa formação apresentam contato concordante com as rochas siliciclásticas (arenitos e argilitos) do topo da Formação Açú. Ambas as unidades integram a Supersequência Drifte da bacia, a qual está relacionada à abertura e entrada das águas oceânicas no golfo atlântico e que foram depositadas dentro de uma fase transgressiva (Reyes-Pérez *et al.*, 2003).

A porção emersa da bacia, na qual afloram rochas sedimentares da Formação Jandaíra, durante o Quaternário experimentou um processo intenso de *carst*. Esse processo promoveu o surgimento de um relevo típico associado de cavernas, dolinas, estalactites, tufas etc., muitas delas hoje colapsadas ou que vem sendo exploradas economicamente. Dentre estas feições cársticas, as tufas representam excelentes rochas reservatórios de hidrocarbonetos pela sua excelente porosidade e alta permeabilidade. As tufas apresentam grande proporção de bioclastos que atestam acerca tafonomia envolvida no seu transporte, deposição e diagênese, sendo de vital importância o seu estudo para melhor se conhecer a gênese deste importante litotipo, que pode conter volumes exploráveis de hidrocarbonetos ou água (Aznoud *et al.*, 2022). Dessa forma o objetivo principal desta pesquisa é o estudo tafonômico das Tufas de Quixeré, associadas ao sistema de cavernas colapsadas aflorantes entre o termo nordeste do Estado de Ceará e no Sul do estado do Rio Grande do Norte, originadas a partir dos carbonatos da base da Formação Jandaíra.

METODOLOGIA:

Realizando a revisão bibliográfica, foi elaborado um protocolo padrão para a descrição das amostras de mão, incluindo aspectos texturais, fósseis e/ou bioclastos e tafonômicos, assim como a elaboração de um protocolo para descrição das microfácies em microscópio petrográfico. Para a preservação de amostras de mão que seriam submetidas a laminação, foram feitas diversas imagens de alta definição para o estudo posterior das feições e moldes fósseis.

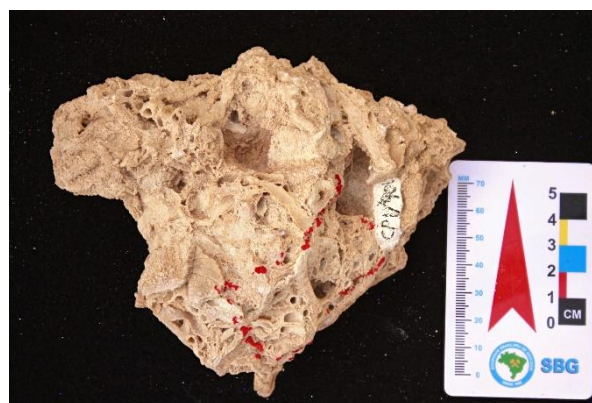


Figura 1 - Amostra CP1-901 nesta é possível apreciar a grande quantidade de galhos englobados, a área demarcada em vermelho indica o local escolhido para confecção de lâminas petrográficas.

Com as descrições das amostras e das lâminas petrográficas concluídas, foram produzidas 15 lâminas para estudo de palinomorfos presentes nas amostras, utilizando o protocolo de ataque químico a tufas fornecido por Oste *et al.* (2018). A petrografia será complementada com análise elementar em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) utilizando o detector *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS).

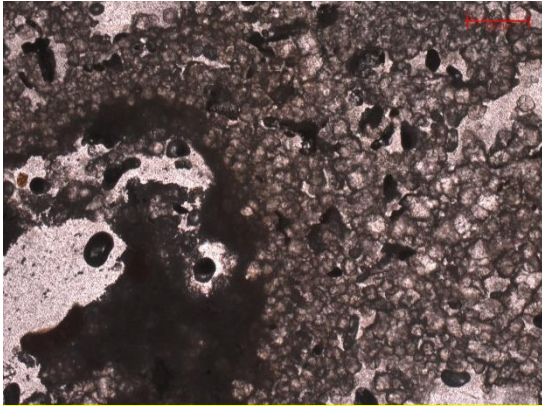


Figura 2 - A imagem de uma lâmina petrográfica em luz natural (CP1-922) na imagem é possível apreciar a cimentação por calcita predominante e a porosidade associada com os restos de vegetais que integram a tufa.

As tufas de Quixeré são ricas em impressões de folhas de angiospermas derivadas da vegetação ciliar que habitava ao redor do ambiente de deposição. As impressões de folhas de angiospermas são amplamente utilizadas como *proxies* para estimar a temperatura (TMA) e precipitação (PMA) local durante a sua deposição. Os métodos mais usados são a Análise de Margem Foliar (LMA) e Análise de Área Foliar (LAA) que são métodos univariados baseados em uma regressão linear simples, para realizar está análise será necessário contar com ao menos 20 morfotipos diferentes de folhas com 80% do limbo preservado. Para realizar as análises, foram utilizadas tanto as impressões coletadas no campo como fotografias deles, uma vez que não é necessária a identificação sistemática das folhas e sim somente o estabelecimento dos morfotipos com base na forma, tipo de margens, dimensões, forma de ápice e base e padrão de nervuras (Peppe *et al.*, 2018). Para estimar TMA, o método univariado estima por meio da Análise da Margem Foliar (LMA) a proporção de dicotiledônias lenhosas de margem inteira de uma flora através de uma regressão linear simples (Wilf, 1997). A Análise da Área Foliar

(LAA) é um método univariado que estima a PMA através da relação entre área foliar média de uma flora com a PMA através do logaritmo de uma regressão linear simples (Wilf *et al.*, 1998). De forma geral, o erro associado é de ± 500 mm (Wilf *et al.*, 1998) a ± 1000 mm (Peppe *et al.*, 2018). Com esta finalidade as folhas serão separadas em classes de tamanho.

Lâminas petrográficas tingidas de azul serão utilizadas para o cálculo da porosidade, utilizando o software ArqGis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A tufa em estudo é constituída por carbonato muito fino e frágil, de alta porosidade móldica com arranjo caótico de impressão de folhas e galhos fosseis, apresentando formas dômicas mais resistentes com estruturas deposicionais no topo e arranjo caótico de grãos na base. A análise das lâminas petrográficas mostra uma orientação caótica de bioclastos com grãos bem selecionados e angulosos, suportados pelo cimento do tipo *equant calcite*, com quase total ausência de matriz, sem laminação evidente, apresentando porosidade móldica, intrapartícula e intracristalina, com textura dendrolítica e grumosa.

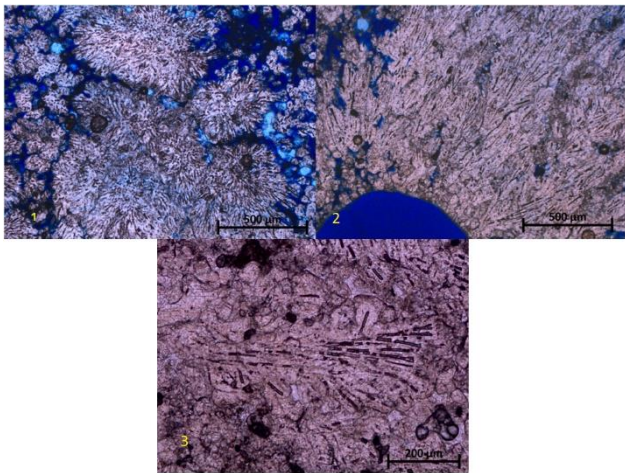


Figura 3 - (1) Lâmina CP1/901B apresentando textura dendrolítica; (2) Lâmina CP1/898C apresentando textura dendrolítica; (3) Detalhe para textura dendrolítica composta por filamentos de esteiras de cianobactérias.

São comuns espaços pelóides arredondados e subarredondados, bioclastos vegetais como folhas e galhos preservados como impressões e moldes, delineados por uma a três gerações de cimento radial ao redor dos clastos vegetais de disposição caótica. É possível notar a presença de cristais dendrolíticos ou “*Shrubs*” nos anéis radiais desenvolvidos no exterior dos moldes.

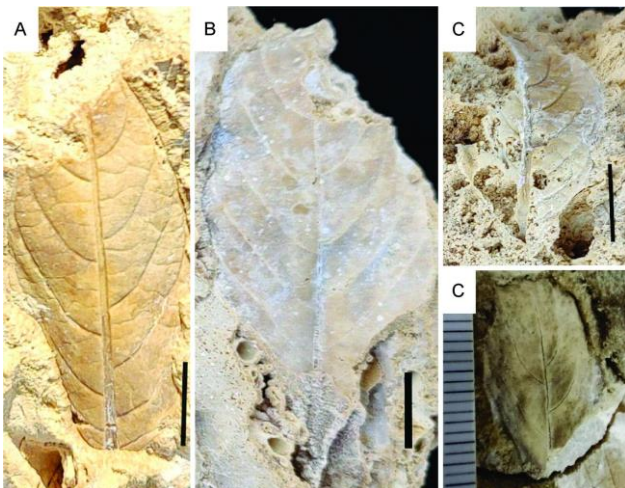


Figura 4 - Morfotipos foliares A (MQ-1), B (MQ-17), C (MQ-3), D (MQ-6), sendo A, B, e C microfólicas, D nanófila. Todas apresentam venação primária pinada com 1 nervura basal e venação secundária alterna com padrão braquidodromo, com A possuindo uma margem e base. preservados. Em A, B e C barra da escala = 1 cm.

Ao menos 22 morfotipos foliares foram descritos até o momento, os quais serão compilados para caracterização de LAA e LMA.

CONCLUSÕES:

As amostras foram classificadas como *rudstones* de fitoclastos, com abundantes impressões de folhas de angiospermas e eixos caulinares dispostos sem nenhuma organização preferencial. A estrutura caótica de deposição da Tufa, composta majoritariamente por micrita, permite inferir que as tufas tenham sido depositadas a consequência de um embarreamento de folhas e galhos de angiospermas próximos as cavernas, e durante os períodos mais calmos comunidades microbianas se desenvolveram.

BIBLIOGRAFIA

Azenoud, K. et al. (2022) **Climate controls on tufa deposition over the last 5000 years: A case study from Northwest Africa.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 586, p. 110767

Bertami, R.T.; Costa, I.G.; Matos, R.M.D. (1990) **Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e o habitat do petróleo na Bacia Potiguar.** In Gabaglia, R. e Minani, E.J (Coords) *Origem e evolução das bacias sedimentares*, Petrobras, p. 291 - 310.

Bezerra, F.; Maia, R. (2014) **Inversão Neotêctônica do relevo na bacia Potiguar, Nordeste do Brasil.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15: 61-74

Castro, D.L.; Medeiros, W.E.; Jardim de Sa, E.F.; Moreira, J.A.M. (1998) **Mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e margem**

- continental adjacente: Interpretação com base na hipótese de isostasia.** Revista Brasileira de Geofísica, 16: 115–131.
- Dino, R. (1992) **Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia da Formação Alagamar-Cretáceo da Bacia Potiguar, nordeste do Brasil.** 1992. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, doi:10.11606/T.44.1992.tde-18112015-132215. Acesso em: 2022-01-14.
- Jesus, T. E. S.; dos Reis Júnior, J. A.; de Castro, D. L.; Lima-Filho, F.P. (2012). **Imageamento digital de paleocavernas colapsadas com ground penetrating radar.** Geologia USP. Série Científica, 12: 71-84.
- Milani, E.J. et al. (2007) **Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas.** Anexo ao Boletim de Geociências da Petrobrás, 15: 183-205.
- Neto, O.P.; Soares, U. M.; Silva, J. G.F.; Roesner, E.H.; Florencio, C.P.; Souza, C.A.V. (2007) **Bacia Potiguar.** Boletim de Geociências da PETROBRAS, 15: 357-369.
- Oste, J.T.F.; Arai, M., França, A.B.; Cury, L.F.; Bahniuk, A.M. (2018) **Geoquímica e palinologia de tufas calcárias da região de Bonito (MS): implicações ambientais.** Geociências, 37: 733-744.
- Peppe, D.J., Baumgartner, A., Flynn, A., Blonder, B. (2018) **Reconstructing paleoclimate and paleoecology using fossil leaves.** In: Croft, D.A., Su, D.F., Simpson, S.W. (Eds.), Methods in Paleocology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities, Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology. Springer International Publishing, Cham, pp. 289–317. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_13
- Reyes-Pérez, Y. Al. et al. (2003) **Tufas calcárias na Bacia Potiguar Nordeste do Brasil.** In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. p. 1-4.
- Tanner, L.H. (2010) **Continental carbonates as indicadores of paleoclimate.** In Alonso-Zarza, A.M. e Tanner, L.H (Eds.) Carbonates in continental settings: Geochemistry, diagenesis and applications. Elsevier. London. Developments in Sedimentology, 62: 179 – 214
- Wilf, F.P. (1997) **When are leaves good thermometers? A new case for leaf margin analysis.** Paleobiology, 23: 373–390.
- Wilf, F.P.; Wing, S.; Greenwood, D.; Greenwood, C. (1998) **Using fossil leaves as paleoprecipitation indicators: An Eocene example.** Geology, 26: 203-206.