

EVAPORITOS DO CRETÁCEO DA BACIA DO ARARIPE: AMBIENTES DE DEPOSIÇÃO E HISTÓRIA DIAGENÉTICA

DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS AND DIAGENETIC HISTORY OF THE CRETACEOUS EVAPORITES OF THE ARARIPE BASIN

Maria Augusta Martins da Silva⁽¹⁾

RESUMO — Os evaporitos do Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe são formados, basicamente, por variedades de gipsita e anidrita e ocorrem como uma camada de cerca de 30 metros de espessura. A camada evaporítica representa o final de uma seqüência sedimentar que se iniciou com a deposição, em ambiente lacustrino, de folhelhos negros e calcários laminados, passando lateralmente para calcários e folhelhos ricos em algas (estromatolitos). Esta seqüência foi truncada por uma discordância regional que ocasionou a dissolução e a formação de cavernas e depressões nos depósitos evaporíticos e a formação local de uma topografia cárstica ou de uma camada de calcrete, principalmente na região nordeste da bacia. A análise petrográfica de rochas coletadas no campo e de testemunhos permitiu a identificação de fácies evaporíticas primárias e a distinção destas fácies de uma fase diagenética posterior. Isto possibilitou a reconstrução dos paleoambientes deposicionais da fase evaporítica da bacia. Assim sendo, têm-se, como fácies primárias, cristais de gipsita colunares, pseudomorfo de gipsita lenticular, anidrita laminar e nódulos de anidrita. Esta associação representa a deposição de evaporitos em ambiente subaquoso do tipo salinas em profundidades inferiores a 5 metros, associado a uma fácies subaérea na qual o mineral evaporítico se desenvolveu dentro de um sedimento-matriz, como observado em ambientes de *sabkha*. A história tectônica da bacia causou uma série de mudanças diagenéticas entre gipsita e anidrita. Como fácies secundária ou diagenética, observou-se gipsita alabastrina, gipsita porfiroblástica, gipsita nodular e espato cetinado.

(Originais recebidos em 17.09.87.)

1 — INTRODUÇÃO

A seqüência mesozóica da Bacia do Araripe (fig. 1) consiste em: (a) na base, arenitos e folhelhos de idade Jurássico (formações Sergi e Aliança), com cerca de 300 metros de espessura; (b) uma seqüência sedimentar aptiano-albiana, de espessura aproximada de 200 metros, divididos em duas formações: a inferior, chamada Formação Araripina (SILVA, 1983), formada de folhelho negro, carbonato e evaporito truncados por uma superfície de discordância, e uma superior, a Formação Santana, constituída de folhelho rico em concreções calcárias, calcário margoso e intercalações de arenito; (c) uma camada de 250 metros de arenitos albianos (Formação Exu). O estudo da camada evaporítica é o objetivo deste trabalho.

Dos trabalhos realizados sobre a Bacia

do Araripe, poucos tratam da camada evaporítica em si, em termos de ambientes deposicionais. MUNIS (1971) estudou a camada de gipsita quanto a seu aspecto econômico. OLIVEIRA *et alii* (1979) fizeram um estudo das fácies sedimentares da seqüência dessa bacia. Para tal, aplicaram os conceitos de FISHER & BROWN (1972) relativos a sistemas deposicionais, com uso de litologia, estruturas e seqüência vertical. Concluíram que os evaporitos se formaram em ambientes de *sabkha* e lagunas em consequência de uma transgressão rápida do nível do mar na bacia.

A camada evaporítica da Bacia do Araripe equivale em tempo à camada evaporítica presente nas bacias costeiras existentes ao longo da margem continental leste do Brasil. Em consequência disso, as rochas sedimentares do Araripe foram correlacionadas com as rochas das bacias

1 - Laboratório de Geologia
Marinha, Departamento de
Geologia, Universidade Federal
Fluminense.

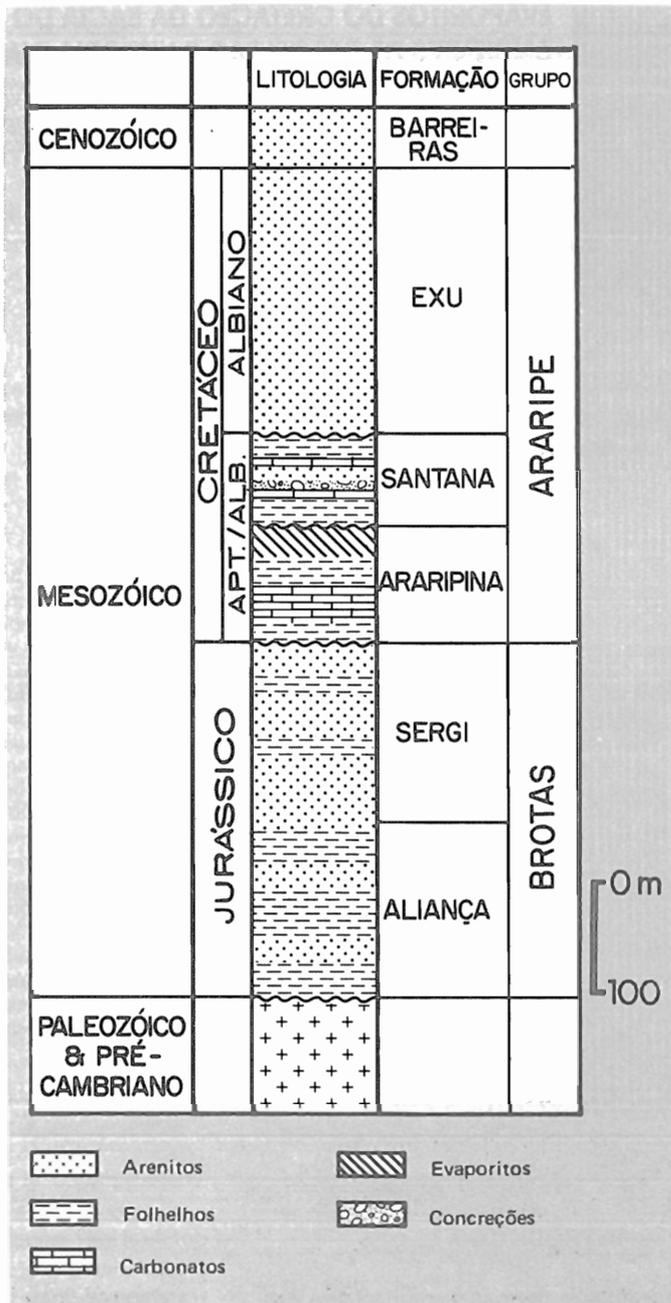


Fig. 1 - Seqüência mesozóica da Bacia do Araripe e nomenclatura estratigráfica referente ao Aptiano-Albiano, conforme proposto por SILVA, 1983.

costeiras em termos de ambientes deposicionais, isto é, estas pertenceriam a uma mesma bacia sedimentar. Tal idéia é bastante controversa, uma vez que primeiramente a seqüência sedimentar do Araripe foi correlacionada com as bacias da região norte (Bacia Potiguar, de acordo com BEURLEN, 1962; Bacia do Maranhão, segundo BRAUN, 1966, BEURLEN, 1967, BEURLEN & MABESOONE, 1969) e posteriormente com as da região nordeste (Bacia de Sergipe-Alagoas, segundo BEURLEN, 1971, MABESOONE, 1971, MABESOONE &

TINOCO, 1973). Esta última hipótese tenta explicar a presença de evaporitos e de uma assembléia fóssil mista que ocorre na parte superior da Formação Santana da Bacia do Araripe como resultado de uma grande transgressão proveniente do oceano Atlântico Sul, que invadiu um estreito golfo presente entre as regiões do Araripe e Sergipe-Alagoas. Entretanto, estudos de PONTE *et alii* (1971) e SILVA (1983) indicam que os evaporitos da Bacia do Araripe foram depositados num lago continental.

Rochas evaporíticas são formadas em ambientes marinhos e continentais. As fácies desenvolvidas em ambos os ambientes podem ser similares, e a distinção entre estes pode ser difícil em algumas situações. Os modelos desenvolvidos para explicar a deposição evaporítica resultam, principalmente, de estudos de ambientes marinhos, os quais, durante algum tempo, levaram a uma ênfase maior quanto à origem marinha desses depósitos evaporíticos. No entanto, à medida que mais informações são obtidas a respeito de lagos continentais, particularmente lagos salinos, efetua-se uma mudança nas interpretações dos ambientes deposicionais evaporíticos. Para diferenciar esses ambientes, é necessário analisar uma grande quantidade de critérios geológicos, que devem ser compilados e interpretados tanto local como regionalmente.

Este trabalho é parte da tese de doutorado da autora, na qual informações estratigráficas, sedimentológicas e estruturais da Bacia do Araripe, bem como de outras bacias do Nordeste e Norte do Brasil foram obtidas e interpretadas para o entendimento de sua fase evaporítica.

O objetivo deste artigo é fornecer as bases para uma compreensão do evento deposicional evaporítico por meio de um estudo da sedimentologia e petrografia da seqüência sedimentar aptiana. Suas principais contribuições são: estudo petrográfico sistemático das fácies evaporítica e carbonática e dos folhelhos associados; reconhecimento e apresentação de critérios para a identificação e distinção de variedades primárias e secundárias de gipsita e anidrita; interpretação dos ambientes deposicionais com identificação das fácies e sua distribuição.

Para o desenvolvimento deste projeto, efetuou-se um mapeamento regional com coleta de amostras por toda a bacia e a descrição de testemunhos perfurados pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) na área (fig. 2).

2 – DESCRIÇÃO DOS EVAPORITOS

A camada evaporítica, composta principalmente de gipsita e anidrita, é de aspecto tabular, com cerca de 30 metros de espessura, estando presente nas encostas da Chapada do Araripe (fig. 2 e foto 1). A camada se assenta de maneira concordante sobre folhelhos ricos em algas e carbonatos (fig. 1). A superfície superior da camada é truncada e apresenta inúmeras cavernas de dissolução, formando uma paleotopografia cárstica (SILVA, 1983). A ausência local de evaporitos é resultado deste episódio erosivo.

Desde o início do século a gipsita vem sendo minerada na Chapada do Araripe, e pedreiras desse mineral são comuns na área (foto 1). Vários tipos de gipsita são observados nessas pedreiras, incluindo espato cetinado, rosetas, gipsita alabastrina e nódulos. Em subsuperfície, além desses tipos, encontram-se também anidrita laminar e cristais de gipsita colunares. A história sedimentar e tectô-



Foto 1 - Mineração de gipsita, Pedreira de São Severino, Araripe, Pernambuco (sudeste da Chapada do Araripe).

nica da bacia – que inclui sepultamento dos evaporitos a profundidades da ordem de 300 metros e posterior soergimento, que trouxe a seqüência sedimentar até sua presente elevação de 600-900 metros acima do nível do mar, formando a atual Chapada do Araripe – ocasionou uma série de mudanças mineralógicas entre anidrita e gipsita. Conseqüentemente, uma grande percentagem do que é visto hoje representa variedades secundárias (diagenéticas) de gipsita. O reconhecimento destas formas diagenéticas e a diferenciação destas formas secundárias daquelas fases primárias são

necessários como uma primeira etapa no processo de reconstrução dos paleoambientes deposicionais.

2.1 – Fases Primárias dos Evaporitos

As variedades primárias de evaporitos encontradas na área de estudo são: cristais de gipsita colunares (*palisades* de SCHREIBER & SCHREIBER, 1977), pseudomorfos de gipsita lenticular, nódulos de anidrita e anidrita laminar (lâminas alternadas de anidrita-micrita).

Estas fácies primárias de gipsita e anidrita indicam os seguintes ambientes:

- cristais de gipsita colunares (foto 2): SCHREIBER & SCHREIBER (1977) relataram fileiras de gipsita crescendo em salinas a profundidades rasas (inferiores a 5 metros); essa fácies vem, desde então, sendo considerada característica de ambientes subaquosos;
- pseudomorfos de gipsita lenticular (foto 3): gipsita lenticular cresce dentro de sedimentos do tipo *sabkha* (esteiras algálicas e lamas dolomíticas) como resultado da diagênese que se processa bem cedo na história deposicional da bacia (SHEARMAN, 1966). Esta fácies têm sido usada para indicar fácies intertidal em *sabkhas*. Dissolução posterior da gipsita resulta na formação de porosidade (espaços com forma lenticular) que pode ser posteriormente preenchida com silte ou com cimento calcítico/silícico (*chert*). A forma original lenticular, no entanto, permanece e é considerada um critério para o reconhecimento de fácies de *sabkha*;
- nódulos de anidrita (foto 4): geralmente crescem dentro de um sedi-

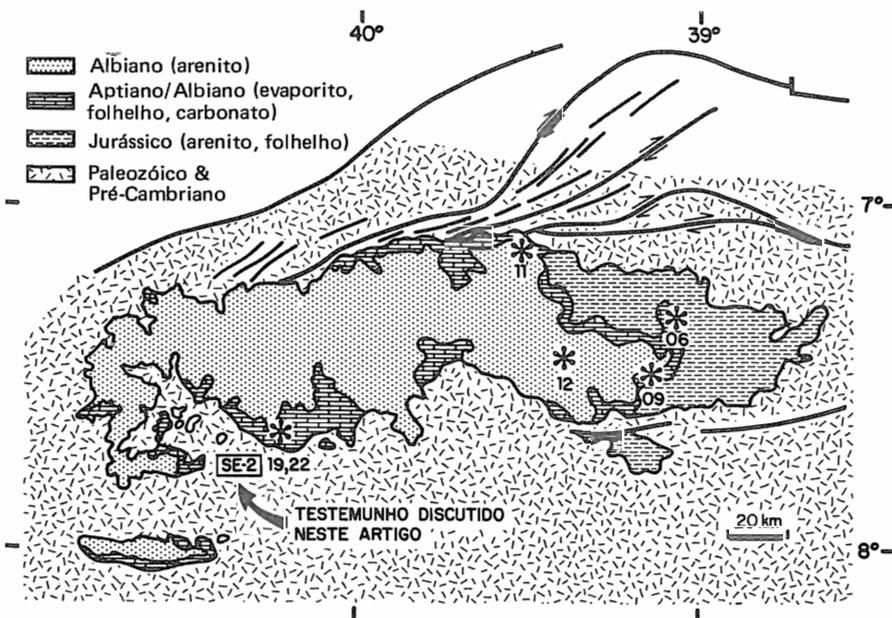
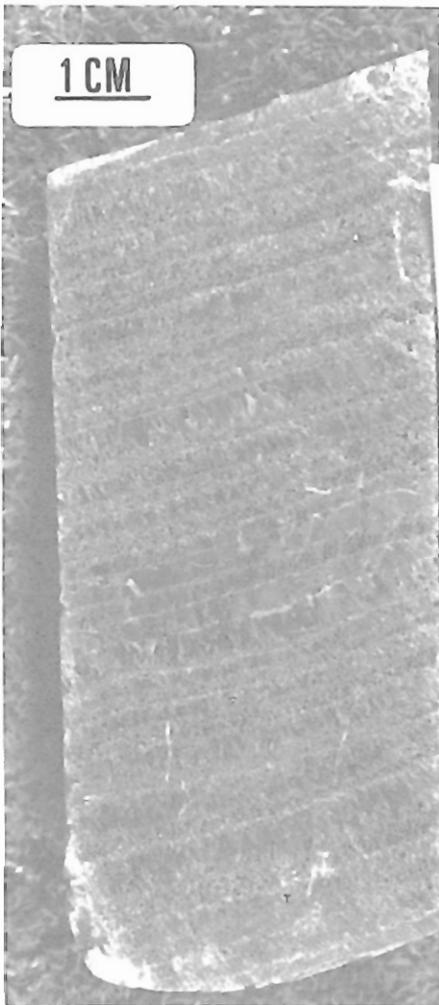


Fig. 2 - Mapa geológico da Bacia do Araripe, ilustrando a distribuição das rochas sedimentares mesozóicas e mais antigas. Apresenta também a localização do testemunho discutido neste trabalho. Fonte: Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, 1974, 1:1 000 000, Folhas Jaguaribe (SB.24) e Aracaju (SB.24), DNPM.

A



B



Foto 2 - Amostra de mão (a) e microfotografia de gipsita colunar (b), representando fácies primária de gipsita. Testemunho SE-2.

mento matriz, deslocando e deformando o sedimento hospedeiro à medida que se desenvolvem. A partir da descoberta da ocorrência de nódulos de anidrita nos sedimentos recentes da planície costeira da região do Golfo da Pérsia, os mesmos vêm sendo considerados indicadores de ambientes do tipo *sabkha* pretéritos (SHEARMAN, 1978). É bom lembrar, porém, que a ocorrência isolada desses nódulos não deve ser considerada critério paleoambiental, em função da possível formação diagenética tardia de nódulos com características similares (DEAN *et alii*, 1975); o uso de vários parâmetros combinados, no entanto, fornecerá indicações mais seguras a respeito da origem dos nódulos num ambiente do tipo *sabkha*;

d) anidrita laminar (foto 5): lâminas alternadas de anidrita e micrita. OGNIBEN (1957, p. 68, fig. 2) descreveu uma variedade primária de anidrita na qual este mineral aparece como ritmos de espessura milimétrica (2-2,5 mm), separados por lâminas finas de pelito terrígeno e carbonático, encontradas como camadas finas intercaladas em lentes salinas.

2.2 — Fases Secundárias dos Evaporitos

As principais fases secundárias estão representadas por:

- a) gipsita alabastrina (foto 6), reconhecida em seção delgada como cristais de contorno não definidos de gipsita, de extinção undulosa, formando localmente aglomerados de pequenos cristais. Em alguns lugares, relíquias de anidrita são abundantes. De acordo com HOLLIDAY (1970), a gipsita alabastrina é um produto diagenético tardio e inclui grande variedade de texturas, como, por exemplo, a recristalização de gipsita porfiroblástica;
- b) gipsita porfiroblástica (nomenclatura de HOLLIDAY, 1970) ocorre como grandes cristais anedrais que exibem abundantes ripas de anidrita corroídas (foto 7b). Uma variedade de gipsita porfiroblástica comum nos evaporitos de Araripe são as rosetas de gipsita (foto 7a);
- c) espató cetinado, incolor ou ligeiramente alaranjado, observado nas pedreiras preenchendo fraturas ou ao longo de superfícies de acamamento (foto 8a). É um produto diagenético

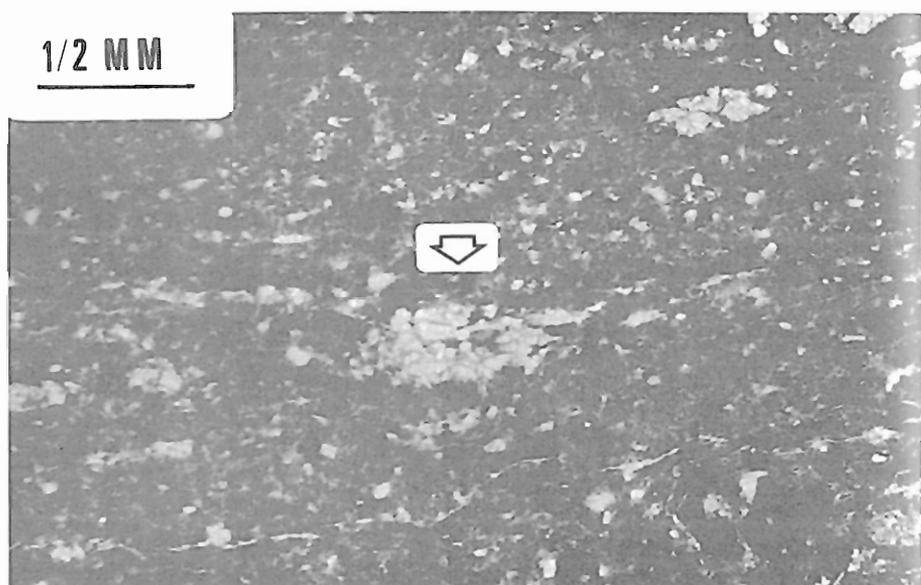


Foto 3 - Microfotografia de pseudomorfo de gipsita lenticular (substituída por calcita) em matriz de lama rica em algas, representando fácies primária dos evaporitos. Testemunho SE-2.

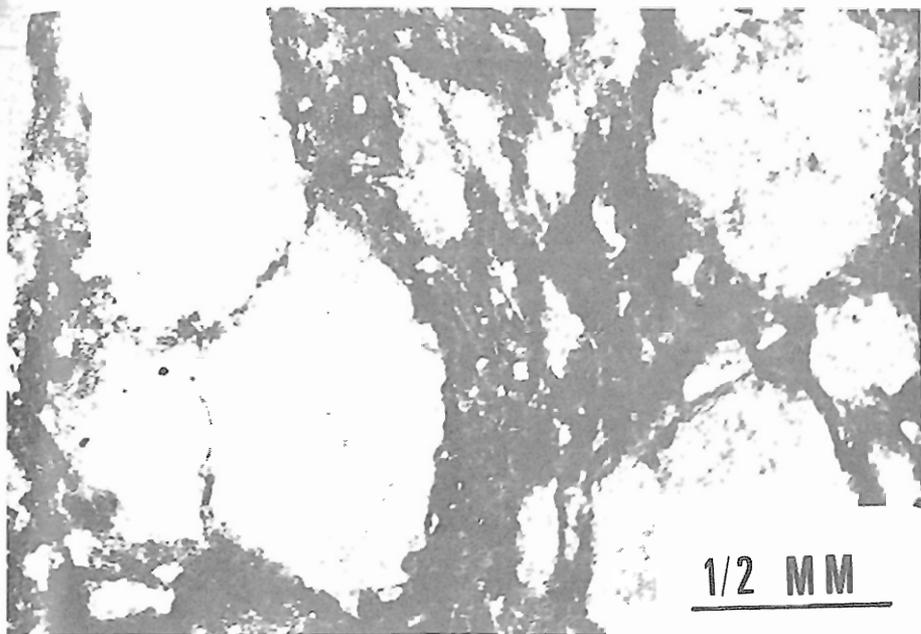


Foto 4 - Microfotografia de nódulos de anidrita em matriz de lama rica em algas, representando fácies primária de anidrita. Testemunho SE-2.

tardio formado pela transformação da anidrita em gipsita durante soerguimento tectônico.

De acordo com MOSSOP & SHEARMAN (1973), a transformação de anidrita em gipsita porfiroblástica e alabastrina produz um excesso de sulfato de cálcio em solução. A liberação da pressão durante o soerguimento da coluna sedimentar ocasiona a cristalização de uma fase mineral de sulfato de cálcio mais estável sob as novas condições de pressão. A gipsita fibrosa preenche, então, qualquer espaço vazio disponível no sedimento, chegando mesmo a ocupar o interior de conchas (foto 8b).

3 - SUBSTITUIÇÃO DAS FASES EVAPORÍTICAS PRIMÁRIAS POR FASES SECUNDÁRIAS

As fases primárias de gipsita e anidrita depositadas juntas em condições de superfície seguem caminhos diferentes quando os sedimentos são sepultados por formações mais jovens e quando, mais tarde, as rochas são soerguidas. Normalmente, a anidrita é o único mineral de sulfato de cálcio presente a profundidades superiores a 900 metros. A esta profundidade, toda a gipsita presente na formação se transforma em anidrita, e somente pseudomorfos de gipsita são encontrados (MOSSOP & SHEARMAN, 1973; MURRAY, 1964). Durante a exumação, quando as rochas retornam à superfície, a anidrita se torna instável e se hidrata para gipsita, que, assim, se

comporta como a forma mais estável de sulfato de cálcio próxima à superfície (MURRAY, 1964). Durante esse processo, uma série de substituições ocorrem com a formação sucessiva de: gipsita secundária porfiroblástica, gipsita alabastrina e espato cetinado (HOLLIDAY, 1970; MOSSOP & SHEARMAN, 1973). Da mesma forma, ocorre a substituição da anidrita por gipsita nos nódulos, porém permanecendo em alguns casos a forma nodular original.

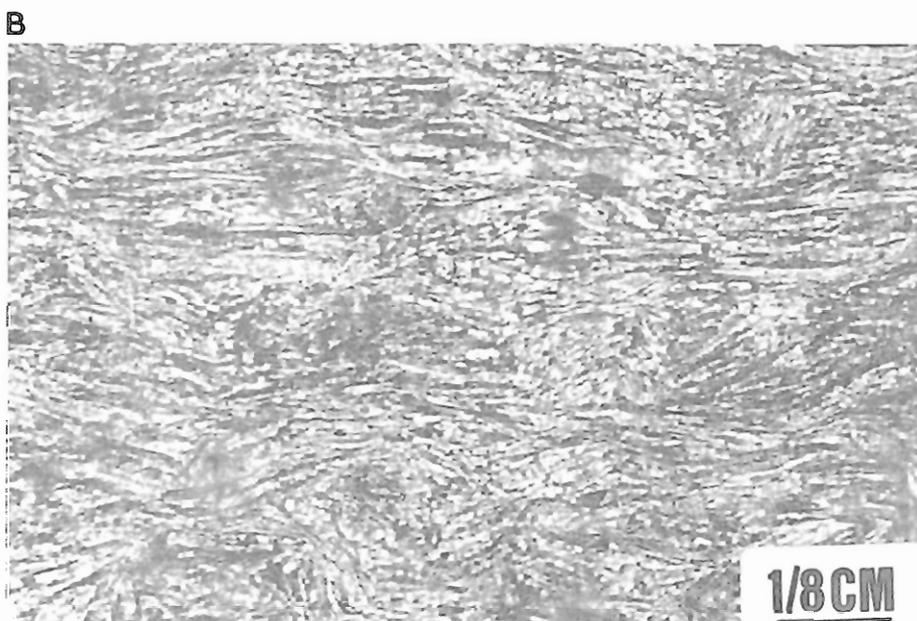
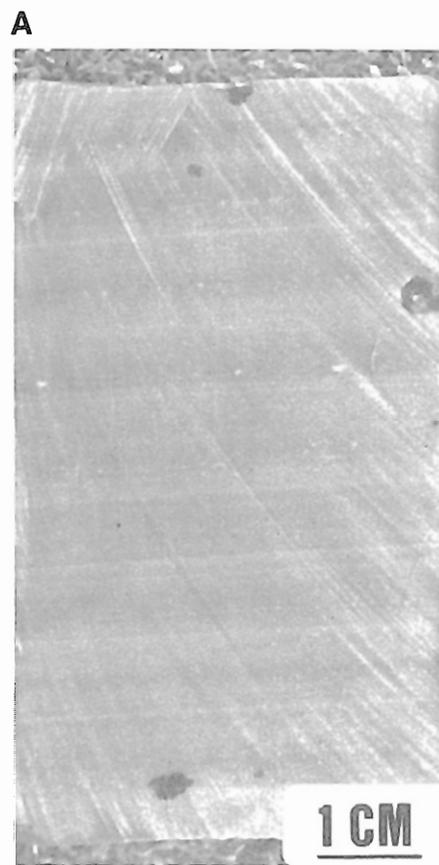


Foto 5 - Amostra de mão (a) e microfotografia de anidrita laminar (b), consistindo em ripas de anidritas paralelas e subparalelas ao acamamento, representando fácies primária de anidrita. Testemunho SE-2.

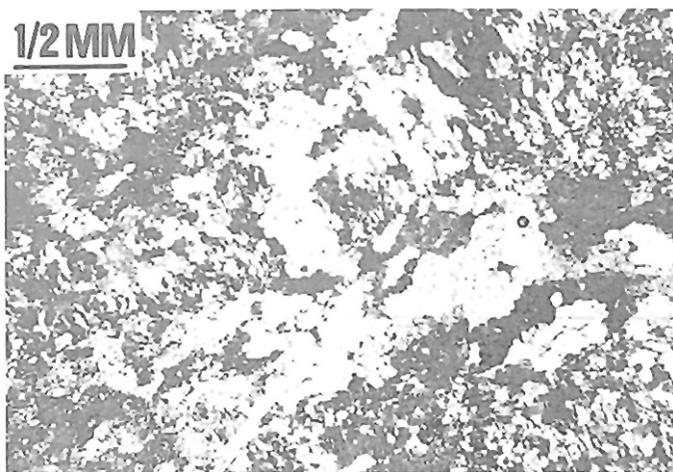


Foto 6 - Microfotografia de gipsita alabastrina, mostrando o caráter irregular dos cristais de gipsita, representando fácies diagenética ou secundária dos evaporitos. Testemunho SE-2.

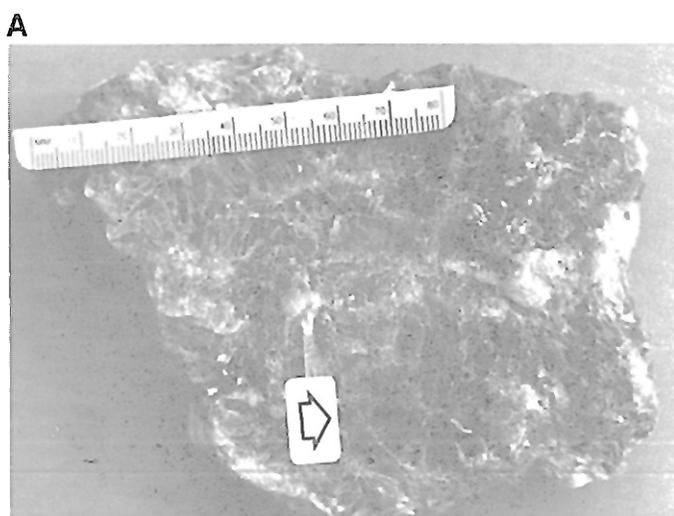


Foto 7 - Amostra de mão indicando as rosetas de gipsita (a) e microfotografia de gipsita porfiroblástica (b) (com abundantes ripas corroídas de anidrita), representando fácies secundária dos evaporitos.

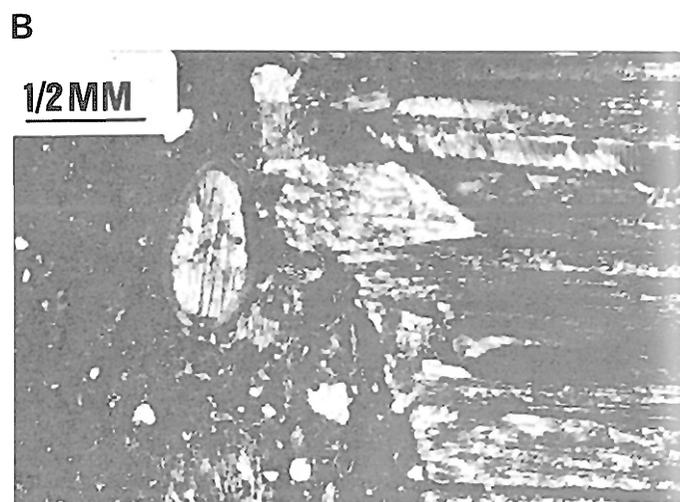


Foto 8 - Foto de afloramento (a) e microfotografia da variedade "espato cetinado" de gipsita (b), representando fácies secundária dos evaporitos. Observa-se, do lado direito da microfotografia, a gipsita fibrosa deslocando a matriz de lama rica em algas e também substituindo o interior de uma concha de ostracode.

Os evaporitos da Bacia do Araripe são, no presente, cobertos por, pelo menos, 350 metros de rochas sedimentares, correspondendo às rochas das formações Santana e Exu. Antes do soerguimento, os evaporitos foram sepultados a profundidades de 350 metros a 380 metros, e, conseqüentemente, a gipsita primária se encontrava dentro de seu campo de estabilidade, tendo conservado sua textura e fábrica originais. Estas são observadas como cristais de gipsita colunares, nos quais alguns dos pequenos cristais em forma de ripa de anidrita que ocorrem de maneira esparsa podem ter sido coprecipitados como gipsita no ambiente de deposição (SCHREIBER, 1978) ou podem ser o produto de uma transformação incipiente de anidrita em profundidade. Entretanto, em alguns casos, cristais de gipsita colunares são difíceis de serem diferenciados das variedades secundárias de gipsita porfiroblástica: em espécime de mão, os cristais de gipsita formadores das fileiras parecem passar lateralmente a gipsita porfiroblástica do tipo roseta. Em seção delgada, ambos apresentam cristais em ripa de anidrita. Há casos, porém, em que uma distinção clara entre esses dois tipos de gipsita é possível. Nesses casos, fileiras paralelas de gipsita cristalina orientadas verticalmente, com cerca de 1-2 mm de espessura, mantêm espessura extraordinariamente constante por toda a amostra. Rosetas isoladas ocorrem espalhadas nessas amostras e parecem como que impressões naqueles primeiros cristais formados.

Outro aspecto observado em seção delgada são as fileiras de cristais de gipsita truncadas por superfícies que têm aparência de estilólitos. Nestes cristais, ainda se observam algas e pelotas que permaneceram após a solução parcial que resultou no estilólito, o que favorece uma origem primária para a gipsita (SCHREIBER, 1978).

4 — DESCRIÇÃO DO TESTEMUNHO SE-2

Sete testemunhos de sondagem foram estudados e amostrados; análises petrográficas foram realizadas em 150 amostras. O testemunho SE-2, porém, localizado na parte sudoeste da Chapada

(fig. 2), representa melhor a camada evaporítica e será aqui descrito em detalhe.

Nesse testemunho, recuperou-se toda a Formação Araripina e os folhelhos baixos da Formação Santana. O quadro I apresenta as fácies litológicas, estruturas sedimentares, fósseis, bem como os pontos de amostragem, ao longo do testemunho.

As principais fácies litológicas observadas são: (a) folhelho esverdeado; (b) evaporitos (gipsita e anidrita); (c) folhelho negro rico em algas (esteira algálica) e carbonato rico em algas; (d) carbonato laminado; (e) folhelho negro basal.

A fácies de folhelho esverdeado (quadro I) é composta, basicamente, por uma lama síltica rica em ostracodes e algas com quartzo, feldspato, micas, turmalina e zircão. Cristais rômnicos de dolomita e pirita presentes nesta fácies são de origem diagenética. Observa-se laminação horizontal paralela, *wisps* e lâminas de material grosseiro constituídas por terrígenos, bioclásticos e fragmentos de calcário. Os principais fósseis são: filamentos de algas (entre estes, SILVA, 1975, identificou espécies de carófitas); ostracodes (SILVA, 1975, reconheceu a espécie de *Darwinula*); gastrópodos, pelecípodos e fragmentos de plantas, além de partículas de origem fecal. Gipsita aparece como substituição em fósseis e também como nódulos. A presença de grande quantidade de ripas de anidrita dentro dos cristais de gipsita é indicativa da composição original anidritica dos nódulos. *Vugs* esparsos de forma lenticular podem estar preenchidos tanto por um cimento calcítico-pirítico como por silte detrítico. Estes são indicações de sulfatos pretéritos (anidrita nodular ou gipsita lenticular), como sugerido por vários pesquisadores (em FRIEDMAN, 1980). Intercalada no folhelho, ocorre uma camada de 5 metros de espessura de gipsita. Esta é composta, principalmente, por variedades secundárias, tais como porfiroblástica (entre estas, encontram-se abundantes rosetas) e espato cetinado; em seção delgada observa-se que os grandes porfiroblastos de gipsita contêm relíquias corroídas de ripas de anidrita, nódulos de pirita (que engolfaram algumas das ripas de anidri-

ta, agora transformadas em gipsita) e romboedros esparsos de dolomita.

A fácies evaporítica principal é formada por uma camada de 25 metros de espessura, composta por uma variedade de minerais evaporíticos (gipsita e anidrita) primários e secundários. A halita não foi encontrada e parece não estar presente nas rochas sedimentares da Bacia do Araripe. Dolomita, celestita e barita ocorrem de maneira esporádica nos evaporitos e representam fácies secundárias.

As fácies primárias dos evaporitos são: (a) relíquias de anidrita nodular (foto 4): em seção delgada, sob luz plana polarizada, aparecem como ripas de anidrita irregularmente distribuídas em nódulos que se formaram dentro de uma lama marrom, onde se observam algas e pelotas. Estas parecem ser derivadas de algas e, em alguns lugares, formam correntes. Rombos de dolomita aparecem em conexão com filamentos de algas; (b) cristais colunares de gipsita (foto 2): são formados por fileiras de cristais de gipsita claros e alongados, confinados entre filamentos de algas e pelotas; (c) anidrita-micrita laminar (foto 5): formam *couplets* intercalados na seqüência como ritmitos de espessura milimétrica, compostos de anidrita e micrita. Em seção delgada, a anidrita aparece como cristais sob a forma de ripas paralelas a subparalelas à superfície da camada, que se alternam com micrita (foto 5b).

Nas fácies secundárias dos evaporitos, observa-se uma substituição geral da anidrita nodular pela gipsita (gipsificação). Em certos locais, tal fenômeno foi extenso, e as características nodulares foram perdidas. Nestes casos, a gipsita é formada por porfiroblastos anedrais, em alguns exemplos representados por superindivíduos contendo indivíduos menores, os quais cortam os contatos dos nódulos. Esses porfiroblastos de gipsita apresentam inúmeras ripas minúsculas de anidrita.

Espato cetinado ou gipsita fibrosa é formada por cristais claros de gipsita, que ocorrem como pequenos veios que cortam a assembléia mineral original. O espato cetinado é desprovido de ripas de anidrita e aparece cortando a gipsita

QUADRO I

SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS OBSERVADAS NAS DIVERSAS FÁCIES LITOLÓGICAS E INTERPRETAÇÃO DAS FÁCIES ENCONTRADAS NO TESTEMUNHO SE-2*

	LITOLOGIA	FÓSSEIS	ESTRUTURAS SEDIMENTARES	CARACTERÍSTICAS FACIOLÓGICAS	INTERPRETAÇÃO FACIOLÓGICA
Formação Araripina	Folhelho cinza-esverdeado	Algas, ostracodes, gastrópodos, pelecípodos, pelotas fecais, fragmentos de plantas	Laminação plano-paralela, <i>wisps</i> , concentrações de fósseis em camadas	Folhelhoossilífero de esverdeado a cinza; localmente apresenta areia e seixos de quartzo e feldspato; gipsita substituindo o interior de conchas; nódulos de pirita	Fácies de <i>sabkha</i> ; margem de bacia
	Gipsita			Rosetas de gipsita e pirita cúbica	
	Lama esverdeada	Ostracodes Algas	Lama caótica		
	— Nódulos de anidrita — Gipsita colunar — Nódulos de anidrita — Anidrita laminada		Laminação plano-paralela; nódulos	Variedades primárias de evaporitos: gipsita colunar, nódulos, anidrita laminada; e secundárias: rosetas, espato cetinado	Ambiente subaquoso (salina rasa), <i>playa</i> ou <i>sabkha</i> ; margens da bacia
	— Nódulos de anidrita				
	Folhelho negro algálico	Algas, pelotas fecais, ostracodes	Esteiras e montes algálicos Fábrica fenestral	Folhelho finamente laminado (crenulado), acamamento dado por conchas de ostracodes	Margens da Bacia; sedimentos periodicamente expostos e dissecados; condições locais redutoras
	Carbonato algálico	Algas, pelotas fecais, ostracodes, fragmentos de plantas	Acamamento de bioclásticos; porosidade secundária	Transição para sedimento algálico, com montes algálicos; camadas ocasionais de bioclásticos; bioturbação e marcas de ondulação	Águas rasas com energia deposicional flutuante
	Carbonato laminado	Traços de algas	Laminação plano-paralela, localmente rítmica; marcas de ondulação	Carbonato de creme a cinza; finamente laminado, localmente várvico, bioturbação e marcas de ondulação; localmente poroso (porosidade secundária); nódulos de pirita; estilólitos	Ambiente subaquoso, provavelmente fundo de um lago raso
	Folhelho negro				

porfiroblástica, sugerindo uma fase diagenética posterior. A relação entre a gipsita porfiroblástica e a fibrosa foi explicada por HOLLIDAY (1970) como o resultado de um excesso de sulfato removido em solução durante a gipsificação (visto como uma transformação volume/volume) ou por águas conatas ricas em sulfatos.

O quadro I apresenta um sumário das variedades primárias e secundárias de gipsita e anidrita encontradas no testemunho SE-2. A anidrita nodular predomina em toda a seção (principalmente nas amostras 16, 20, 21 e 27 a 30); os efeitos de gipsificação observados nas amostras 24, 25 e 26 destruíram a fábrica original, porém ainda se podem ver algumas ripas de anidrita. A amostra 23 é composta por anidrita nodular e ripas subparalelas de anidrita, sugestivas de nódulos pretéritos. Na amostra 22, as ripas paralelas aparecem dispostas em camadas, com micrita rica em matéria orgânica. As amostras 17, 18 e 19 apresentam fileiras de cristais de gipsita orientadas verticalmente e separadas por filamentos de algas, pelotas e alguns minerais detríticos, sugerindo que sejam da fácies gipsita colunar.

A fácies sedimentar indicada pelas características da camada evaporítica no testemunho SE-2 é a de um ambiente do tipo *playa* (quadro I). Os nódulos foram formados dentro de um sedimento composto por lama síltica dolomítica rica em algas e pelotas (fácies *sabkha*). As fácies de gipsita colunar e de anidrita-micrita laminar foram originadas em pequenos lagos salinos, em ambiente de *playa-lake*.

Abaixo da fácies evaporítica, aparece uma camada de folhelho que passa a carbonato rico em algas, com cerca de 15 metros de espessura (quadro I) (a testemunhagem foi descontínua). O folhelho negro rico em algas (esteira algálica) presente no topo da camada tem espessura de 1,5 metros a 2 metros. Em direção à base, a esteira de algas passa a um carbonato cinza-claro rico em algas ou a um folhelho altamente carbonático (quadro I).

Os sedimentos desta fácies podem ser

caracterizados como uma lama calcítico-dolomítica rica em algas e pelotas; algas aparecem sob diversas formas, dando origem, entre outros, a estromatolitos. Tais rochas são muito porosas, em função das seguintes propriedades sedimentares: (a) estrutura de *birdseye*, freqüente nos sedimentos algálicos; (b) lixiviação de pelotas ou de outros remanescentes orgânicos, o que dá origem a uma porosidade móldica; (c) pequenas fraturas que parecem ter sua origem relacionada a raízes. Esses poros foram inicialmente preenchidos por silte calcítico. Dissolução posterior da calcita, parcial na maioria dos casos, leva ao desenvolvimento de porosidade secundária. Tais poros, por sua vez, foram posteriormente preenchidos por *chert*, também de maneira predominantemente parcial. Este preenchimento diagenético por *chert* diminui verticalmente de importância. Ao mesmo tempo, o sedimento se torna mais fino, com menor teor de algas, e apresenta *ripple marks*, laminação cruzada e bioturbação. Estruturas ligadas a bioturbação aparecem principalmente como "bolsões" de silte dolomítico e sedimento revirado. Este tipo de estrutura (revirada ou *churned*) tem sido observado em sedimentos recentes de baixios de intermaré e vem sendo usado como critério para o reconhecimento de fácies de baixios de maré (Van Straaten, 1959, citado por CAMPBELL, 1962).

A alternância lamas ricas/lamas pobres em matéria orgânica fornece aspecto acamadado ao sedimento. Por toda a seqüência, minerais terrígenos estão presentes e predominam sobre os demais componentes na amostra 36 (quadro I), que é um siltito composto de micas, quartzo, feldspato, minerais pesados, além de fragmentos de plantas. Dolomita ocorre em percentagens maiores na parte inferior da seqüência, sendo formada por cristais anedrais pequenos, o que confere à rocha um aspecto sacaroïdal. Esta textura parece ser o resultado da recristalização da lama calcária durante a fase inicial de diagênese, com o sedimento em seu estado original de deposição.

As fácies de folhelhos e carbonatos ricos em algas formaram-se em baixios de maré presentes nas margens de um lago;

estes foram depositados, na maior parte, em ambiente subaquoso; periodicamente, porém, foram expostos à medida que as águas do lago foram evaporadas e se aproximavam de um estágio de salmoura. Os sedimentos eram, basicamente, lamas carbonáticas ricas em algas e pelotas; estas receberam grande quantidade de restos de plantas e minerais terrígenos. Localmente, estromatolitos se desenvolveram e deram origem a uma fábrica fenestral no sedimento (com boa porosidade).

Em direção à base da seqüência, esta fácies passa gradativamente para um carbonato micrítico finamente laminado, seguido de um folhelho negro, os quais, segundo SILVA (1983), representam fácies de centro de lago. O melhor exemplo destas fácies está representado no testemunho SE-22, não discutido neste artigo (para maiores detalhes veja SILVA, 1983).

5 — SEDIMENTAÇÃO NO LAGO SALINO DE ARARIPE

A figura 3 apresenta, de maneira esquemática, os ambientes deposicionais da fase evaporítica na Bacia do Araripe. Durante a fase de deposição das esteiras algálicas, a razão de evaporação das águas do lago era alta o suficiente para proporcionar precipitação de sulfato de cálcio. Evaporitos aparecem sob a forma de cristais de gipsita e anidrita nodular se formando dentro do carbonato dolomítico rico em algas. A formação de anidrita nodular em seqüências carbonáticas similares tem sido interpretada como uma indicação de diagênese contemporânea à sedimentação em *sabkha* (SHEARMAN, 1978). Da mesma forma, cristais de gipsita presentes em esteiras algálicas têm sido observados em ambientes intertidais (SHEARMAN, 1978). Em estágio posterior, quando as águas do lago já haviam sido bastante concentradas pela crescente evaporação, formou-se um lago salino, de caráter efêmero. As salinas, neste estágio, receberam uma precipitação contínua de cristais de gipsita num substrato algálico-peletoidal-síltico.

Durante o estágio evaporítico, os sedimentos algálico-calcítico-dolomíticos e

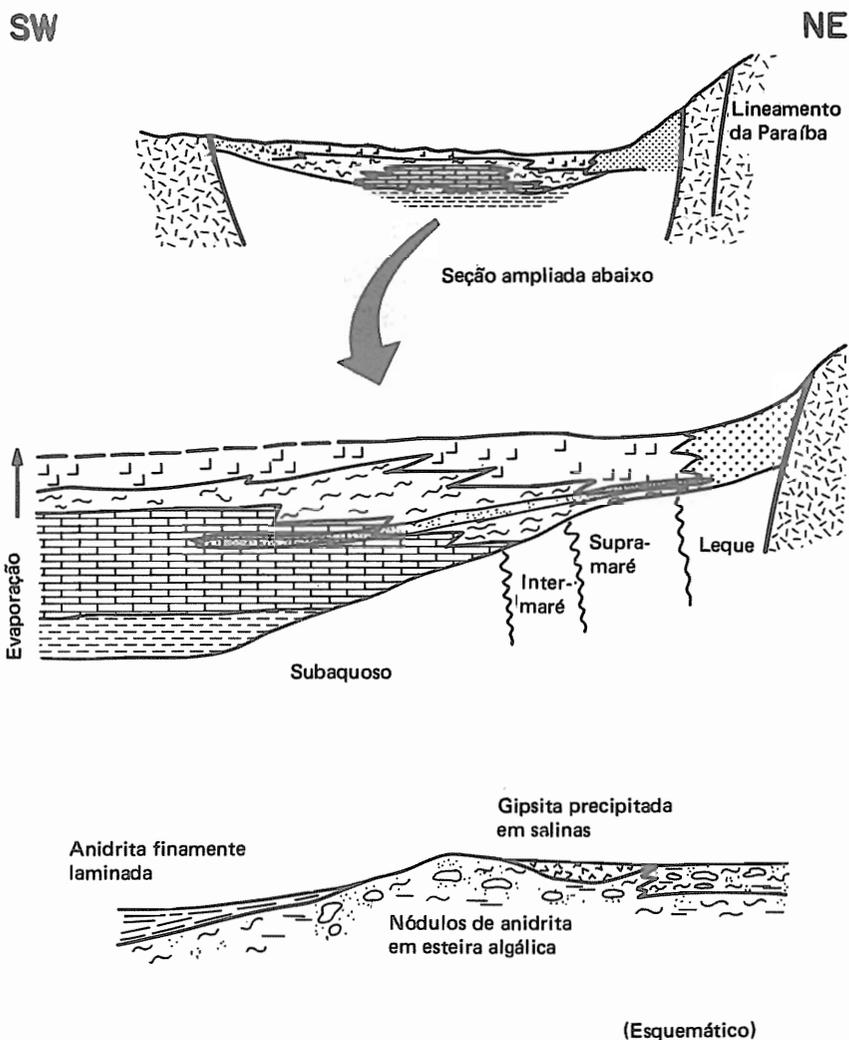


Fig. 3 - Representação esquemática dos ambientes deposicionais da fase evaporítica do lago de Araripe.

clásticos depositados nos baixios que circundavam o lago, especialmente na parte norte e leste da bacia, ficaram prolongadamente expostos. Em consequência dessa dissecação, ocorreram brechificação, micritização e outras mudanças diagenéticas.

6 - CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho se referem à interpretação dos ambientes de deposição com base nas fácies evaporíticas primárias que se formaram durante a fase salina do lago continental de Araripe e a mudanças diagenéticas posteriores. Segue-se uma breve discussão sobre a formação do lago de Araripe e a sedimentação associada até a fase evaporítica, com base em SILVA (1983).

O lago de Araripe foi estabelecido no

Cretáceo Inferior, após um período de sedimentação predominantemente fluvial, provavelmente formado em consequência de movimentação tectônica. Os sedimentos lacustrinos de fundo representados por folhelhos negros e carbonatos finamente laminados passam lateralmente para uma fácies marginal representada por sedimentos ricos em algas, tanto folhelhos como carbonatos.

O confinamento da bacia foi um fator limitante ao afluxo de água fluvial para a bacia, o que, aliado a um clima predominantemente semi-árido, estabeleceu condições propícias a uma dominação da evaporação das águas do lago. Este se tornou efêmero, propiciando o estabelecimento de um ambiente do tipo *playa*. Neste ambiente, gipsita e anidrita se precipitaram em salinas e em planícies do tipo *sabkha*.

A seqüência de fácies primárias encon-

tradas nos evaporitos aponta para os seguintes eventos: (a) formação de cristais de gipsita dentro das esteiras algálicas da fácies lacustrina marginal; (b) formação de nódulos de anidrita nos sedimentos de *sabkha*: lamas, siltes e areias compostas predominantemente por calcita, dolomita, terrígenos, algas e pelotas; (c) formação de anidrita laminar num sedimento micrítico de ambiente subaquoso; (d) precipitação de cristais colunares de gipsita em salinas.

As principais mudanças diagenéticas transformaram a gipsita e a anidrita em: (a) gipsita alabastrina; (b) gipsita porfiroblástica; (c) gipsita nodular; (d) espatocetinado. Estas são as principais variedades de evaporitos observadas nos afloramentos e pedreiras existentes na área.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é parte da tese de PhD defendida pela autora na Universidade de Columbia, New York, em 1983.

Agradeço a todos os que a leram, contribuindo com suas críticas para o melhoramento do trabalho, em particular os Drs. J. Sanders, L. Gambôa, R. Schweickert, C. Schreiber e W. Ryan.

Agradeço a ajuda financeira do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Dr. John Sanders, da Universidade de Columbia.

Ao DNPM-CPRM de Recife e ao Dr. H. Asmus, meu reconhecimento pela concessão de amostras de testemunhos e uso de laboratório. Da mesma forma, agradeço o apoio da PETROBRÁS no decorrer deste trabalho. Sou grata, ainda, a Anna Maryse Daltro de Souza e a Luiz Paulo Pousa de Moura, do Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense, pela ajuda prestada durante o preparo final do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEURLIN, K. A geologia da Chapada do Araripe. *An. Acad. Bras. Ci.*, 34 (3): 365-70, 1962.
BEURLIN, K. A estrutura geológica do

- Nordeste do Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 21, Curitiba, 1967. *Anais* . . . Curitiba, SBG, 1967. p. 151-8.
- BEURLEN, K. & MABESOONE, J. M. Bacias cretáceas intracontinentais do Nordeste do Brasil. *Not. Geomorfol.*, Campinas, 9 (18): 19-34, dez. 1969.
- BEURLEN, K. Contributions to the paleogeography of the Cretaceous in North-East Brazil. *Neues Jahrbuch Geol. Palaeontol.*, Abhandl., 139: 1-28, 1971.
- BRAUN, O. P. G. *Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil (Bacias de Tucano, Jatobá, Mirandiba e Araripe)*. Rio de Janeiro, DNPM. DGM, 1966. 75 p. (Boletim, 235).
- CAMPBELL, C. V. Depositional environments of phosphoria formation (Permian). *In: SOUTHEASTERN Bighorn Basin, Wyoming. AAPG Bull.*, 46 (4): 478-503, 1962.
- DEAN, W. E.; DAVIES, G. R.; ANDERSON, R. Y. Sedimentological significance of nodular and laminated anhydrite. *Geology*, 3: 367-72, 1975.
- FISHER, W. L. & BROWN, L. F. *Clastic depositional systems; a genetic approach to facies analysis*. Austin, University of Texas at Austin. Bureau of Economic Geology, 1972. 211 p.
- FRIEDMANN, G. M. Dolomite is an evaporite mineral; evidence from the rock record and from sea-marginal ponds of the Red Sea. *In: ZENGER, D. H., DUNHAM, J. B., ETHINGTON, R. L.*, eds. *Concepts and models of dolomitization*. Society of Economic Paleontology and Mineralogy, 1980. p. 69-80. (Special Publication, 28).
- HOLLIDAY, D. W. The petrology of secondary gypsum rocks; a review. *J. Sed. Petrol.*, 40 (2): 734-44, 1970.
- MABESOONE, J. W. Sediments of the intracontinental cretaceous basins in Northeastern Brazil. *Est. Sedimentol.*, Recife, 1 (2): 33-52, 1971.
- MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. M. Paleogeology of the Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoeconol.*, 14: 97-118, 1973.
- MOSSOP, G. D. & SHEARMAN, D. J. Origins of secondary gypsum rocks. *Trans. Inst. Min. Metal.*, Section B, (82): B147-54, 1973.
- MUNIS, M. de B. *Quantificação dos depósitos de gipsita do Araripe (Área Casa de Pedra – Ouricuri – Pernambuco)*. Recife, SUDENE. Departamento de Recursos Naturais. Divisão de Geologia, 1971, 41 p. (Série Geologia Econômica, 9).
- MURRAY, R. C. Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite. *J. Sed. Petrol.*, 34 (3): 512-23, 1964.
- OGNIBEN, L. Secondary gypsum of the sulphur series, Sicily, and the so-called integration. *J. Sed. Petrol.*, 27 (1): 64-79, 1957.
- OLIVEIRA, A. A. de; BRITO, A. de L. F.; SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO, M. S. S. *Projeto Chapada do Araripe; relatório final*. Recife, DNPM/CPRM, 1979. v. 1, 123 p.
- PONTE, F. C., coord. *Evolução paleogeológica do Brasil oriental e África ocidental*. Salvador, PETROBRÁS. SEPES, 1971. 71 p. (Relatório Técnico, 6).
- SCHREIBER, B. C. & SCHREIBER, E. The salt that was. *Geology*, 5: 527-8, 1977.
- SCHREIBER, B. C. Environments of subaqueous gypsum deposition. *In: DEAN, W. & SCHREIBER, B. C.*, eds. *Marine evaporites*. Tulsa, Society of Economic Paleontology and Mineralogy, 1978. p. 43-73. (SEPM. Short Course, 4).
- SHEARMAN, D. J. Origin of marine evaporites by diagenesis. *Trans. Inst. Min. Metal.*, 75: 208-15, 1966.
- SHEARMAN, D. J. Evaporites of coastal sabkhas. *In: DEAN, W. & SCHREIBER, B. C.*, eds. *Marine evaporites*. Tulsa, Society of Economic Paleontology and Mineralogy, 1978. p. 6-42. (SEPM. Short Course, 4).
- SILVA, M. A. M. da. *The Araripe Basin, Northeastern Brazil; regional geology and facies analysis of a lower cretaceous evaporitic depositional complex*. New York, Columbia University, 1983. 290 p. Tese de Doutorado.
- SILVA, M. D. da. Primeira ocorrência de Charophyta na Formação Santana (Cretáceo) do Grupo Araripe, Nordeste do Brasil. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 7, Fortaleza, 1975. *Atas* . . . Fortaleza, SBG, 1975. p. 67-73.

ABSTRACT

The 30-meters thick Lower Cretaceous evaporites of the Araripe Plateau consist basically of gypsum and anhydrite. The evaporite layer occurs along the slopes of present-day Araripe Plateau, where it is best seen in quarries made for gypsum exploration.

The evaporites represent the last sediments of a lacustrine sequence which begins with black shale, laminated carbonate, algae-rich limestone and shale (locally stromatolites). This sequence has been truncated by a regional unconformity resulting in partial or total dissolution of the evaporites and local formation of a paleokarst topography. Towards the northeastern side of the basin, the unconformity is represented by a 50-cm thick layer of caliche.

Petrographic analysis of samples collected during field work or from cores allowed

the identification of the primary evaporitic facies and the distinction between these and later diagenetic products. The main primary facies are: palisades of gypsum crystals, pseudomorphs of lenticular gypsum, anhydrite nodules and anhydrite-micrite couplets. The association of these primary facies represent particular evaporitic depositional environments: (a) a shallow subaqueous environment, saline type, at depths shallower than five meters; (b) a subaerial facies in which the evaporites grew displacively in a sabkha setting.

The tectonic history of the basin, which includes folding, faulting, burial and uplift of the evaporite layer, caused a series of diagenetic exchanges between anhydrite and gypsum. These diagenetic facies occur mainly as alabastrine and porphyroblastic gypsum, nodular gypsum, and satin spar.

