NÃO CIRCULA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLOGIA DOS EVAPORITOS PARIPUEIRA NA PORÇÃO
ALAGOANA DA BACIA DE SERGIPE / ALAGOAS

Cláudio Pires Florencio

Orientador: Prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho

DEDALUS - Acervo - IGC

30900008368

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

nome
Presidente: Evaristo Ribeiro Filho
Examinadores: Hung Kiang Chang
Kenitiro Suguio

ass.

[Signature]
[Signature]
[Signature]

SÃO PAULO

1996

O essencial do que é necessário
para a vida dos homens é
a água, o fogo, o ferro,
o sal....
(Eclasiástico 39:31).

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMENTOS	iii
1- INTRODUÇÃO	1
1.1 - A margem continental brasileira	1
1.2 - Importância econômica dos sais solúveis	2
1.3 - Caracterização do tema e objetivos	2
1.4 - Metodologia adotada	3
1.4.1 - Levantamento bibliográfico	4
1.4.2 - Coleta de dados	4
1.4.3 - Trabalhos de laboratório e gabinete	6
1.4.4 - Análise dos dados, interpretação e redação	8
2- A BACIA SEDIMENTAR DE SERGIPE / ALAGOAS	9
2.1 - Aspectos gerais	9
2.2 - Estratigrafia	11
2.3 - Evolução tectono-sedimentar	12
2.4 - Os evaporitos da Bacia de Sergipe/Alagoas	12
3- A SEDIMENTAÇÃO EVAPORÍTICA	15
3.1 - Generalidades	15
3.2 - Composição química da água do mar	18
3.3 - Formação dos depósitos evaporíticos	19
3.4 - Ciclos evaporíticos	25
4- OS EVAPORITOS PARIPUEIRA EM ALAGOAS	27
4.1 - A seqüência evaporítica Paripueira	27
4.2 - O Baixo de Paripueira	27
4.3 - O Baixo de Maceió	31
4.4 - O Baixo de Coruripe	35
4.5 - A mineração do sal-gema em Maceió	38
5- CARACTERIZAÇÃO DO INTERVALO EVAPORÍTICO PARIPUEIRA	42
5.1 - Estudos geofísicos	42
5.2 - Litologia do intervalo Paripueira	45
5.2.1 - Arenitos	47

5.2.2 - Folhelhos	50
5.2.3 - Margas	50
5.2.4 - Calcários	52
5.2.5 - Halitas	54
5.2.5.1 - Fácies de halita	54
5.3 - Análises químicas	58
5.4 - Geoquímica do bromo.....	59
5.5 - Geoquímica orgânica.....	63
5.5.1 - Teor de carbono orgânico	64
5.5.2 - Pirólise rock-eval	65
5.5.3 - Petrografia orgânica	66
5.5.4 - Cromatografia líquida e gasosa	66
5.5.5 - Isótopos de carbono	68
5.5.6 - Marcadores biológicos	69
6- AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	70
6.1 - Considerações sobre o ambiente deposicional	70
6.1.1 - A idade do sal	72
6.1.2 - As rochas do intervalo evaporítico	73
6.2 - A evolução da sub-bacia de Maceió	74
6.3 - A gênese do sal	82
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

FIGURAS

2.1 - Localização da Bacia Sedimentar de Sergipe/Alagoas ...	10
2.2 - Litoestratigrafia da Bacia de Sergipe/Alagoas	11
2.3 - Esboço paleogeográfico no final do Eoaptiano.....	13
3.1 - Relação salmoura x concentração	16
3.2 - Composição normativa dos sais dissolvidos	17
3.3 - Modelo clássico de bacia barrada	20
3.4 - Modelo de bacia evaporítica de águas profundas	21
3.5 - Modelos de bacias evaporíticas	23
3.6 - Modelos deposicionais: <i>sabkha</i> e salina costeira	24

3.7 - Perfil de um ciclo evaporítico completo	26
3.8 - Sucessão vertical e horizontal de um ciclo	26
4.1 - Distribuição dos dados de sondagens	28
4.2 - Área de ocorrência na sub-bacia de Paripueira	30
4.3 - Mapa de gravidade residual na área de Maceió.....	32
4.4 - Área de ocorrência na sub-bacia de Maceió	33
4.5 - Distribuição dos poços na sub-bacia de Maceió	34
4.6 - Área de ocorrência na sub-bacia de Coruripe	37
4.7 - Perfil esquemático de um poço produtor de salmoura ...	40
4.8 - Configuração e fases de crescimento das cavidades	41
5.1 - Perfis dos poços de pesquisa na área de Maceió	46
5.2 - Perfil do bromo para as halitas basais do PP-III	62
5.3 - Cromatogramas resultantes dos extratos orgânicos	67
6.1 - Modelo deposicional para a fase Paripueira	71
6.2 - Mapa de contorno do topo do sal na área de Maceió	75
6.3 - Mapa de contorno do topo do sal na área de Paripueira.	76
6.4 - Combinação de perfis de bromo x insolúveis	77
6.5 - Seção estratigráfica N-S.....	78
6.6 - Divisão do intervalo evaporítico	80
6.7 - Fases evolutivas para a sub-bacia de Maceió	81
6.8 - Variações dos teores de cloro e sódio	83

FOTOS

5.1 - Fotomicrografia de arenito	49
5.2 - Nível de marga com halita avermelhada	51
5.3 - Fotomicrografia de <i>mudstone</i>	53
5.4 - Fotomicrografia de <i>wackestone</i>	53
5.5 - Halita bandeada	57
5.6 - Halita cristaloblástica	57

TABELAS

3.1 - Teor médio de sais contidos na água do mar	18
4.1 - Dados gerais para os sais da área de Paripueira	29
4.2 - Dados gerais para os sais da área de Coruripe	36
5.1 - Características de registros de perfilagens	44
5.2 - Valores de registros para os sais Ibura	45
5.3 - Resultados analíticos para as halitas do PP-III.....	59
5.4 - Valores de coeficiente de partição	60
5.5 - Teores de carbono orgânico total	64
5.6 - Resultados analíticos para pirólise	65
5.7 - Valores para isótopos de carbono	69

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo contribuir para um melhor conhecimento sobre os aspectos geológicos que envolvem os evaporitos Paripueira na porção alagoana da Bacia de Sergipe/Alagoas. O estudo de tais depósitos reveste-se de grande importância econômica pois os sais são produtos básicos para a produção de matéria-prima para diversas indústrias. São reconhecidas duas fases evaporíticas: Paripueira e Ibura, ambas depositadas durante o Cretáceo Inferior. Os dados foram obtidos a partir de estudos petrográficos, geofísicos e geoquímicos, envolvendo testemunhos de sondagens, perfilagens de poços, perfis compostos, linhas sísmicas e análises químicas. Os evaporitos Paripueira estão distribuídos em três principais áreas relacionadas aos baixos estruturais, formando bacias aparentemente isoladas, denominadas de Paripueira, Maceió e Coruripe. Nessas áreas o intervalo salífero é formado essencialmente por depósitos de halita irregularmente dispersos, e ocupando diferentes posições estratigráficas no Membro Maceió, com espessuras, profundidades e quantidade de camadas variável, apresentando intercalações de rochas carbonáticas e siliciclásticas, não sendo encontrados sais mais solúveis. As maiores profundidades ocorrem na área de Coruripe, atual porção submersa da bacia. A sub-bacia de Paripueira destaca-se como área promissora e economicamente viável para mineração por dissolução subterrânea. São reconhecidas duas fácies halíticas, denominadas de bandeada e cristaloblástica, com predominância da primeira sobre a última. Os resultados analíticos para teores de bromo e geoquímica orgânica apontam uma origem marinha para as salmouras responsáveis pela formação desses sais. A irregularidade na distribuição das camadas salíferas, e a diferença de espessuras em poços relativamente próximos, evidenciam sucessivos avanços e recuos da salmoura cujo aporte ocorreu, em condições de pré-concentração, pobre em carbonatos e sulfatos.

ABSTRACT

This dissertation has an objective to contribute to a better understanding about the geological aspects that involve the Paripueira evaporites on the alagoan site of the Sergipe/Alagoas Basin. The study of such deposits has a great economic relevance, once the salts are basic elements for the production of raw materials for several industries. Two evaporitic phases are known: Paripueira and Ibura, both originated during the Eocretaceous. The data were obtained from petrographics, geophysics and geochemicals studies, involving drill cores, well logs, composed profiles, seismic lines and chemical analysis. The Paripueira evaporites are distributed in three principal areas related to the structural low lands, forming apparently isolated basins which are named Paripueira, Maceió and Cururipe. In these areas the saliferous interval is formed basically by deposits of halite anomalously distributed and occupying different stratigraphic positions in Maceió Member, with thickness, depth and quantity of variable layers, presenting intercalated carbonate and siliciclastic rocks. More soluble salts are not found. The great depths are present in the Cururipe area, the actual submerged portion of the basin. The Paripueira sub-basin is important as a promise area, economically viable for prospecting by underground dissolution. Two halitic facies are known which are named as banded and crystalloblastic, with predominance of the first. The analytical results of the bromine and organic geochemical contents indicate marine origin to the brines which are responsible for the formation of those salts. The irregularities in the distribution of the saliferous layers, and the thickness difference in wells relatively near each other indicated point out to successive forward and backward movements of the brine, which have happened in pre-concentrated conditions, poor in carbonate and sulfate.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Evaristo Ribeiro Filho (IG-USP/DGE), pela confiança em meu projeto, acompanhamento e apoio nas suas diversas etapas, o meu sincero agradecimento.

Ao Gerente-Geral da SALGEMA MINERAÇÃO, Engenheiro de Minas Paulo Roberto Cabral de Melo, pela liberação dos dados dessa empresa e apoio constante, sem os quais os objetivos jamais teriam sido atingidos.

Ao Professor Doutor Teodoro Isnard de Almeida (IG-USP/DGE), pelo apoio, sugestões, incentivo e discussões sobre geologia de evaporitos.

Ao Geólogo Renato Senna de Carvalho (PETROBRÁS), o meu agradecimento especial pelos valiosos ensinamentos sobre a geologia de depósitos evaporíticos.

Ao Geofísico Frederico Aguiar Ferreira Gomes (PETROBRÁS), pela liberação dos dados de sondagens na Bacia de Sergipe/Alagoas.

Aos amigos, Geólogos Francisco Pinheiro Lima Filho (UFRN), Valéria Cenrurion Córdoba (UFRN) e Wilson Lanzarini (PETROBRÁS), pelas sugestões, interpretações sedimentológicas e auxílio nas análises petrográficas.

A Geóloga Tikae Takaki (PETROBRÁS), pela realização de análises para geoquímica orgânica.

A amiga, Professora Eva Batista Caldas (UFC), pelo apoio constante e leitura crítica do texto.

Aos professores Michel Henri Arthaud (UFC), pelo auxílio no uso da computação gráfica para confecção dos desenhos e José Ferreira Andrade Filho (UFC) pelas fotografias.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - A margem continental brasileira

A origem e a evolução das bacias sedimentares da margem continental brasileira estão ligadas aos processos de ruptura da litosfera e deriva continental divergente, que resultaram na separação das atuais placas da África e América do Sul, conforme modelo evolutivo de margem continental tipo Atlântica (ASMUS & PORTO, 1972).

No processo evolutivo dessas bacias são reconhecidos diferentes aspectos tectônicos, estruturais, sedimentares e paleontológicos, que permitem a individualização de dois grupos distintos: a) **margem leste**, para o trecho que tem início na Bacia de Pelotas até a Bacia de Sergipe/Alagoas; b) **margem equatorial**, para aquelas bacias situadas a partir da Bacia Potiguar até a Bacia do Amapá (ASMUS & PORTO, 1980; FRANÇOLIN & SZATMARI, 1987; CHANG & KOWSMANN, 1987).

Nas bacias marginais, com algumas exceções, são encontrados depósitos evaporíticos cuja origem e distribuição envolvem diversas variáveis, como tectônica, clima, fisiografia e aspectos físico-químicos reinantes à época de sua formação.

Na margem leste, a seção evaporítica encontra-se distribuída a partir da Bacia de Campos até a Bacia de Sergipe/Alagoas, antecedendo a megassequência marinha (PONTE et al., 1978), sendo representada por depósitos de anidrita, halita, com sedimentos clásticos e carbonáticos intercalados e, localmente, por depósitos de silvinita, carnalita e taquidrita.

1.2 - Importância econômica dos sais solúveis

A importância econômica dos sais solúveis está ligada à produção de matéria-prima de diversos produtos, tais como os sais de potássio, usados na indústria de fertilizantes, a halita, utilizada para a fabricação de soda cáustica, cloro, ácido clorídrico e hipoclorito de sódio, que são consumidos pela indústria têxtil, fabricação de detergentes, celulose, alumina, borrachas, plásticos (PVC/MVC), além de substâncias para tratamento d'água, dentre outros.

Apesar de relevantes, os depósitos evaporíticos da margem continental brasileira têm sido pouco estudados, devendo-se, contudo, destacar, dentre outros, os trabalhos realizados pela CPRM com os sais Ibura, na porção sergipana da Bacia de Sergipe/Alagoas (FONSECA, 1973; COUTINHO & FERNANDES, 1973; LISBOA et al., 1973) e, posteriormente, pela PETROBRÁS, também com os mesmos depósitos (CARVALHO et al., 1974; SZATMARI et al., 1979; FEIJÓ, 1980; CERQUEIRA et al., 1982; CERQUEIRA et al., 1986; PONTES et al., 1991). Tais estudos tratam de aspectos mineralógicos, geoquímicos, estratigráficos, paleogeográficos, paleoecológicos, geofísicos e econômicos desses depósitos.

1.3 - Caracterização do tema e objetivos

A escolha dos depósitos evaporíticos da Bacia de Sergipe/Alagoas, como objeto de estudo, pode ser justificada sob vários aspectos:

a) trata-se de uma bacia sedimentar muito bem conhecida em termos de sua evolução tectono-sedimentar (LANA, 1985; LANA & MILANI, 1986; LANA, 1990);

b) a prospecção para o petróleo na bacia permitiu a geração de inúmeras informações ainda não devidamente interpretadas;

c) a sua estratigrafia registra a presença de duas importantes fases evaporíticas: Paripueira e Ibura (SCHALLER, 1969);

d) ao contrário da maioria das bacias da margem leste, grande parte dos seus depósitos evaporíticos localiza-se na porção emersa, o que, sem dúvida, facilita a utilização de técnicas exploratórias para esses sais.

Dada a extensão do tema proposto, optou-se por restringir o estudo aos evaporitos Paripueira na porção alagoana da citada bacia, cuja distribuição e atual estado de conhecimento serão comentados oportunamente.

Assim, este trabalho teve como objetivo geral a avaliação geológica dos depósitos evaporíticos Paripueira, na porção alagoana da Bacia de Sergipe/Alagoas. Como objetivos específicos tentou-se localizar e delimitar as diversas ocorrências, identificar a origem e natureza das rochas evaporíticas, reconhecer fácies a partir de dados de sondagens, definir prováveis ciclos, correlacionar dados de poços visando a interpretação da geometria e evolução paleogeográfica das ocorrências, reconhecer o curso da salinidade com base em análises químicas, interpretar o ambiente deposicional, contribuir para a compreensão da história deposicional das seqüências evaporíticas no contexto da abertura do Atlântico Sul e, finalmente, avaliar as possibilidades de aproveitamento econômico das diversas ocorrências.

1.4 - Metodologia adotada

O estudo dos depósitos evaporíticos na bacia foi, em grande parte, facilitado pela existência de inúmeros dados provenientes

da pesquisa para petróleo (PETROBRÁS) e, localmente, pela exploração dos sais solúveis (SALGEMA MINERAÇÃO). Tais informações, apesar de confidenciais, foram cedidas por essas empresas para utilização como fonte de pesquisa acadêmica, desde que observadas algumas restrições na divulgação dos resultados.

Deve-se destacar que este importante acervo de informações, composto por testemunhos de sondagens, perfis e dados geofísicos, compõe a base deste trabalho.

1.4.1 - Levantamento bibliográfico

Na fase inicial foram levantadas as referências gerais sobre a geologia de evaporitos, envolvendo modelos, gênese, sedimentação, estratigrafia e exemplos mundiais. Posteriormente, foram selecionados artigos específicos sobre geoquímica e geofísica, particularmente aqueles que tratam de técnicas que poderiam auxiliar na obtenção dos objetivos propostos neste trabalho, especialmente geoquímica orgânica, geoquímica de evaporitos e perfilagens geofísicas em seções evaporíticas. Numa fase seguinte foram consultadas publicações que tratam das ocorrências de sais nas bacias da margem continental e, em especial, na Bacia de Sergipe/Alagoas. Ao final foi possível reunir um acervo considerável de artigos que permitiram o desenvolvimento das fases seguintes.

1.4.2 - Coleta de dados

Todas as informações foram de subsuperfície, obtidas, na área de pesquisa, junto às empresas PETROBRÁS e SALGEMA MINERAÇÃO que atuam naquela bacia, respectivamente com petróleo e sais solúveis.

Junto a PETROBRÁS foram obtidos, inicialmente, dados inéditos de oito poços perfurados na porção alagoana da bacia, os quais, atravessam o intervalo evaporítico Paripueira. Posteriormente, foram liberados os dados de mais dezessete poços, distribuídos nas partes emersa e submersa da bacia.

Junto à SALGEMA MINERAÇÃO foram reunidos dados de sondagens relacionados à sua área de concessão, no município de Maceió, correspondendo a perfilações geofísicas (raios gama, sônico, neutrão, densidade, *caliper* e *dipmeter*), num total de vinte e três poços da área de produção daquela empresa. Também, foram cedidos para estudos os dados de sondagens da sua área de pesquisa, com três poços testemunhados e perfilados, desde o topo até a base do intervalo evaporítico, correspondendo a aproximadamente 600 metros de testemunhagem contínua.

De posse destes dados, foram realizadas as descrições dos intervalos testemunhados, comparando-se os perfis resultantes com as interpretações de perfilações geofísicas. Os perfis geofísicos foram utilizados orientativamente na determinação dos litótipos presentes no intervalo objeto deste trabalho.

Foram realizadas amostragens nos testemunhos de sondagens, para fins de estudos geoquímicos e petrográficos, necessários a devida caracterização desses depósitos. A amostragem de halita foi realizada em testemunhos de halitas basais do poço PP-III, com treze amostras e espaçamento aproximado de um metro entre cada coleta. Ainda, foram coletadas cinquenta amostras de arenitos, folhelhos e rochas carbonáticas intercaladas aos sais solúveis, nos três poços testemunhados, para análises petrográficas e de geoquímica orgânica.

1.4.3 - Trabalhos de laboratório e gabinete

Esta etapa consistiu na análise e interpretação dos dados obtidos na fase anterior, sendo distribuída em estudos petrográficos, geofísicos e geoquímicos.

a) Estudos petrográficos

Foram confeccionadas trinta e cinco lâminas delgadas de rochas carbonáticas, rochas siliciclásticas e halita. O estudo das rochas carbonáticas teve como objetivo a definição de fácies carbonáticas e, para tanto, adotou-se as classificações de DUNHAN (1962) e FOLK (1962). Tal caracterização objetivava a identificação dos componentes bióticos, caso estivessem presentes, apesar das restrições impostas pelo ambiente evaporítico, extremamente desfavorável à presença de restos orgânicos, conforme mencionado por ROUCHY et al. (1986).

Com as lâminas das rochas siliciclásticas pretendeu-se observar a natureza desses sedimentos, as possíveis alterações diagenéticas e suas implicações ao meio evaporítico. Como complemento aos estudos petrográficos foram realizadas algumas análises por difratometria de raios-x em amostras de rochas carbonáticas e folhelhos, como forma de auxílio à determinação dos minerais no exame petrográfico, bem como na avaliação do processo de dolomitização dos calcários.

b) Estudos geofísicos

A geofísica de poço foi a principal ferramenta empregada na análise do intervalo salífero. Foram realizadas interpretações nos dados de 26 poços da área de Maceió utilizando-se de perfis neutrão, sônico, densidade e raios gama, além de *caliper* e *dipmeter*. O uso conjunto de dois ou mais perfis, além de diagramas apropriados (tipo *cross-plots*), tornou possível a individualização das diversas camadas que compõem a seqüência evaporítica da área, a partir das características registradas em

cada perfil, permitindo a identificação da litologia com razoável segurança.

Dentre os perfis utilizados teve destacada importância a perfilagem em raios gama, para o caso de depósitos evaporíticos, pois permitiu que fosse estabelecido, com relativa facilidade, os intervalos portadores de halita, caracterizados pela ausência de elementos radiativos, indicando ainda a profundidade e espessura de cada camada.

Para as demais porções da bacia foram utilizados mapas de gravimetria (*Bouger*), seções sísmicas e perfis de poços perfurados e interpretados pela PETROBRÁS. A partir de tais dados foi possível definir e delimitar as prováveis áreas de ocorrência de sais solúveis na bacia.

c) Estudos geoquímicos

Os estudos geoquímicos constaram de análises de geoquímica orgânica em amostras de folhelhos que apresentavam elevados teores de carbono orgânico, além de geoquímica do bromo aplicada aos intervalos de halita.

A geoquímica orgânica foi realizada em amostras obtidas com testemunhagem no Baixo Estrutural de Maceió, com o objetivo de avaliar a natureza do ambiente deposicional a partir do conteúdo orgânico dos sedimentos intercalados aos sais solúveis daquela área. As análises foram efetuadas nos laboratórios do Centro de Pesquisas da PETROBRÁS (CENPES), utilizando-se as seguintes metodologias: teor de carbono orgânico total (TOC), pirólise *rock-eval*, petrografia orgânica, cromatografia líquida e gasosa, além de espectrometria de massas (biomarcadores).

As análises químicas visando a obtenção dos teores de bromo foram feitas nos laboratórios do complexo industrial da mina de potássio de Taquari-Vassouras, em Sergipe, a partir de 13 amostras de halitas basais coletadas em testemunhos de sondagem

do poço PP-III. Além dos teores de bromo, foram verificados os teores para K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Cl^- , H_2O e resíduos insolúveis.

1.4.4 - Análise dos dados, interpretação e redação final

Correspondeu à última fase dos trabalhos, ocasião em que foram reunidos os dados de campo e laboratório para avaliação conjunta dessas informações. Foram discutidos com maior profundidade os resultados analíticos de geoquímica, petrografia e interpretações dos dados geofísicos. Perfis, mapas e seções estratigráficas foram confeccionados para uma melhor compreensão dos depósitos evaporíticos. Ainda, considerando-se os atuais critérios de mineração adotados para as halitas da região de Maceió, apresenta-se sugestões para um melhor aproveitamento desse bem mineral para as demais áreas de ocorrência, tendo-se como base os perfis de poços perfurados para petróleo na bacia.

2 - A BACIA SEDIMENTAR DE SERGIPE / ALAGOAS

2.1 - Aspectos gerais

A Bacia de Sergipe/Alagoas está situada na margem continental brasileira, entre as latitudes 9° e 11° 30' S, e longitudes 35° e 37' W, aproximadamente (Fig. 2.1). Entre a borda interna, na parte emersa, limite com o continente, até a borda externa, representada pela zona de transição crustal, na porção submersa, estima-se que a sua área total seja de 42.400 km², dos quais cerca de 12.000 km² estão emersos (PONTES et al., 1991).

Toda a área encontra-se subdividida em diversos blocos, limitados por grandes falhas, e podem ser diferenciados sob vários aspectos, tais como: profundidade e configuração da superfície do embasamento, natureza da cobertura sedimentar, intensidade do falhamento e padrão de anomalias gravimétricas (LANA, 1990).

Alguns autores dividem a bacia em duas áreas distintas, denominadas de **Bacia de Sergipe** e **Bacia de Alagoas**, individualizadas com base em diferenças estruturais e estratigráficas (FEIJÓ & LANA, 1990; FEIJÓ, 1992 - in FEIJÓ, 1994). Porém, de acordo com as recomendações contidas no Código de Nomenclatura Estratigráfica (PETRI et al., 1986a) e do Guia de Nomenclatura Estratigráfica (PETRI et al., 1986b), foi mantida, neste trabalho, a caracterização original da bacia proposta pela Comissão de Revisão Estratigráfica da PETROBRÁS (SCHALLER, 1969).

Fig. 2.1 - Localização da Bacia Sedimentar de Sergipe/Alagoas
(conforme OJEDA & FUGITA, 1974).

2.2 - Estratigrafia

A sequência sedimentar da bacia repousa sobre rochas ígneas e metamórficas, de idades pré-cambriana e eopaleozóica, que formam o seu embasamento. Os primeiros depósitos correspondem aos sedimentos não marinhos do Grupo Baixo São Francisco, seguidos por rochas transicionais da Formação Muribeca e marinhas do Grupo Sergipe (Fig. 2.2), cobertas pelos clásticos continentais da Formação Barreiras e depósitos quaternários (SCHALLER, 1969).

Fig. 2.2 - Litoestratigrafia geral da Bacia de Sergipe/Alagoas (conforme ABREU & POTTER, 1990).

A partir da Idade Alagoas (Cretáceo Inferior), com o Oceano Atlântico Sul ainda na fase embrionária, a Bacia de Sergipe/Alagoas começou a sofrer os efeitos da invasão marinha, tendo como consequência a deposição dos sedimentos transicionais (lacustre/marinho) da Formação Muribeca.

Essa formação, de acordo com a subdivisão proposta pela Comissão de Revisão Estratigráfica da PETROBRÁS (SCHALLER, 1969), é composta por cinco membros, aqui relacionados pela ordem de deposição: Maceió, Tabuleiro dos Martins, Carmópolis, Ibura e Oiteirinhos.

2.3 - Evolução Tectono-Sedimentar

A história geológica da bacia está associada aos eventos tectônicos que determinaram a ruptura e separação do megacontinente Gondwana. O ajustamento às tensões produzidas pelo estiramento crustal e possível rotação diferencial das placas, ocorridas no Cretáceo Inferior, permitiu o desenvolvimento de feições estruturais importantes, como falhas normais e transcorrentes, além de dobramentos de grande amplitude (FIGUEIREDO & GABAGLIA, 1986). Tais falhamentos foram responsáveis pelo surgimento de uma sucessão de *horsts*, *grabens* e blocos escalonados, limitados por falhas tracionais N-S, e feições arqueadas positivas (domos) e negativas (baixos), interpretadas como associadas a falhas transcorrentes N 30° E (LANA & MILANI, 1986).

2.4 - Os evaporitos da Bacia de Sergipe / Alagoas

O avanço do mar que se processava de sul para norte, através do "Golfo Paripueira" (OJEDA, 1981), ultrapassando as

The map illustrates the geological distribution of three main types of rocks in the eastern coastal region of Brazil and adjacent parts of Africa. The legend identifies the following formations:

- ARENITOS E CONGLOMERADOS** (Arenites and Conglomerates): Represented by a dotted pattern.
- FOLHELHO** (Schistosity): Represented by a pattern of short, parallel dashes.
- ROCHAS ERUPTIVAS** (Igneous Rocks): Represented by a pattern of 'V' symbols.

Key geographical features and locations labeled on the map include:

- BRASIL**: The main landmass shown.
- ÁFRICA**: The continent to the east.
- Bacia de Parnaíba**: A large basin in northern Brazil.
- Bacia de Parana**: A basin in southern Brazil.
- Cities and Towns**: Belém, Fortaleza, Recife, Vitória, Rio de Janeiro, P. Alegre, M. Moçâmedes, and Kaokoveld.
- Geological Features**: RGN (Rio Grande do Norte), GOLFO PARIPUEIRA, and various points labeled 'P' (likely representing specific geological points or peaks).
- Neighboring Countries**: GANA, NIGÉRIA, GABÃO, CONGO, and ANGOLA.

13

As seqüências evaporíticas da bacia são encontradas nos membros Maceió e Ibura, com características bem distintas, tanto litológicas quanto estratigráficas, onde os evaporitos Paripueira representariam os primeiros efeitos da invasão marinha, em condições de restrição, sobre a bacia (CARVALHO et al., 1974).

A deposição do intervalo Paripueira ocorreu durante a fase transicional, de condições continentais para marinhas, onde são registrados espessos pacotes de halitas, com sedimentos clásticos e químicos intercalados (FLORENCIO, 1995).

A idade desses depósitos é considerada como sendo aptiana - Andar Alagoas segundo a definição cronoestratigráfica local (REGALI et al., 1974), com base no estudo de palinomorfos encontrados em clásticos intercalados aos pacotes de halitas (UESUGUI, 1987; CALDAS & FLORENCIO, 1992). Contudo, é provável que os depósitos situados na porção sul da margem continental brasileira sejam mais antigos (ASMUS, 1975).

Numa fase posterior aos evaporitos Paripueira, uma nova transgressão cobriu de forma progressiva áreas da bacia, anteriormente submetidas à erosão, tendo uma amplitude regional na porção sergipana (OJEDA & FUGITA, 1974). A aridez do clima e as condições restritivas de circulação de água resultaram na deposição dos evaporitos Ibura. Partes da bacia, relacionadas a baixos estruturais pré-existentes, sofreram uma subsidência diferencial, localizada e contínua, formando algumas sub-bacias onde foram precipitados espessos pacotes evaporíticos, com calcários, anidritas, halitas e sais de potássio e magnésio (CARVALHO et al., 1974).

3 - A SEDIMENTAÇÃO EVAPORÍTICA

3.1 - Generalidades

Os depósitos evaporíticos são gerados a partir da evaporação de salmouras concentradas que precipitam os sais nela dissolvidos. Para que isso ocorra é necessário que exista um ambiente essencialmente árido, onde a taxa de evaporação supere o influxo d'água, seja esta de origem marinha, fluvial, meteórica ou subterrânea (HARDIE, 1984; SONNENFELD, 1992a).

De acordo com SONNENFELD (1984), o termo "evaporitos" está restrito a rochas geradas a partir da concentração de soluções aquosas, ou seja, correspondem a precipitados hidroquímicos de soluções concentradas por evaporação e formados com ou sem influência biogênica. Estão intimamente interrelacionados com as condições geológicas e ambientais de sua formação, ocorrência geográfica, propriedades físicas e químicas, bem como seu uso industrial. Tais rochas representam um importante grupo de depósito sedimentar com relevante valor econômico (PARRISH & BARRON, 1986).

A maior parte dos principais depósitos evaporíticos foi diretamente precipitada a partir da água do mar, concentrada em bacias restritas, separadas do oceano por barreiras que impediam a sua livre circulação (STEWART, 1963).

Depósitos menos significativos são formados a partir de lagos salinos, no interior dos continentes, denominados de **playa lakes** ou de "lagos salinos dessecados" (VALYASHKO, 1972), alimentados por rios, cujos componentes iônicos dependem da composição das rochas da região (ETCHEBEHERE, 1991).

Apesar desses depósitos terem se originado de uma mesma fonte, no caso o oceano, os evaporitos mostram uma diferenciação

na sua composição química. Isso pode ser atribuído, principalmente, às diferentes solubilidades dos componentes originais da água do mar (RICHTER-BERNBURG, 1972). Assim, em condições de intensa evaporação, os componentes menos solúveis são precipitados, enquanto aqueles altamente solúveis permanecem em solução na salmoura, até que, gradativamente, o seu ponto de saturação seja atingido (Fig. 3.1).

Fig. 3.1 - Relação entre a salmoura original e a concentração necessária para precipitar os principais minerais evaporíticos (adaptado de BLATT et al., 1980).

A precipitação dos evaporitos segue uma sequência bem definida, de acordo com a solubilidade de cada componente (Fig.3.2). Os principais depósitos, formados a partir da progressiva evaporação da água do mar, são: calcário (CaCO_3), gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), halita (NaCl), silvita (KCl) e carnalita ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (SONNENFELD, 1992b).

Fig. 3.2 - Composição normativa dos sais dissolvidos na água do mar, em função de sua solubilidade (adaptado de CARVALHO et al., 1974).

3.2 - Composição química da água do mar

A composição química das águas oceânicas não teve variações significativas desde o Pré-Cambriano (BAAR, 1977), com um conteúdo médio de sal em torno de 3,5% em peso. Seus íons mais comuns estão listados na Tabela 3.1 .

Íon	Teor (ppm)	Íon	Teor (ppm)
Cl^-	18.980	Ca^{+2}	400
Na^+	10.560	K^+	380
SO_4^{-2}	2.650	HCO_3^-	140
Mg^{+2}	1.270	Br^-	65

Tabela 3.1 - Teor médio dos sais contidos na água do mar (conforme BRAITSCH, 1971).

HOLLAND (1972) acredita que os evaporitos marinhos estão entre os mais úteis sedimentos para a reconstrução da história geológica da água do mar. Acha provável que os maiores constituintes da água do mar raramente ultrapassaram a metade ou o dobro da concentração atual nos últimos 700 milhões de anos.

HOLLAND (1974) afirma que todas as evidências atuais indicam que a composição das águas oceânicas permaneceu constante durante o Fanerozóico. A sua composição seria controlada pelo equilíbrio químico entre a água e os sedimentos oceânicos.

HORITA et al. (1991), com base em dezenas de análises de inclusões fluidas realizadas em halitas primárias do Permiano,

de origem marinha, verificaram que a composição química dessas salmouras era semelhante à composição química da água do mar atual. Nesse estudo foi efetuada uma reconstrução da composição inicial para as condições de pré-evaporação.

Conforme SONNENFELD (1992b), todos os evaporitos do Fanerozóico mostram a seqüência de precipitados derivados da concentração de salmoura evoluindo de gipsita a halita, até silvita ou carnalita e, em raros casos, para taquidrita. A reversão dessa seqüência indica a progressiva diluição da salmoura.

BLATT et al. (1980) considera a gipsita, a anidrita e a halita os mais comuns minerais evaporíticos marinhos. A salmoura original, cujos componentes são precipitados, é normalmente gerada de duas maneiras: a partir da água do mar ou como salmoura reconstituída, sendo esta produto da água de chuva ou água subterrânea.

3.3 - Formação dos depósitos evaporíticos

Os estudos sobre a formação de depósitos evaporíticos remontam ao século passado, com os experimentos de USIGLIO e de VAN'T HOFF (in TUCKER, 1988) envolvendo evaporação da água do mar e sintetização de minerais evaporíticos, com a finalidade de determinar o campo de estabilidade e controles de precipitação.

O primeiro modelo de deposição evaporítica foi apresentado por OCHSENIUS, em 1877 (in RAUP, 1970 e FIGUEIREDO, 1979), com a famosa "teoria de barras", na qual a restrição à circulação normal das águas seria estabelecida por barreiras posicionadas na área de influxo (Fig. 3.3) e a deposição evaporítica ocorreria em lagoas rasas. Tal conceito estava baseado na

evaporação da água do mar em bacia fechada e no cálculo da sucessão evaporítica teórica.

Anos mais tarde, SCRUTON (1953) introduziu o modelo de águas rasas, guardando a caracterização inicial dada por OCHSENIUS (*op. cit.*) porém, mostrando que atrás da barra existe um padrão de circulação característico, sugerido inicialmente por KING (1947), e que tal padrão influencia a precipitação dos diversos minerais evaporíticos: correntes superficiais vindas de regiões de baixa salinidade para regiões de alta salinidade, enquanto que, em direção oposta, fluxo de correntes de áreas de alta para baixa salinidade, devido à densidade da distribuição. Tais correntes contribuem para a interdigitação lateral de fácies evaporíticas porque diferentes minerais evaporíticos precipitam assim que a salmoura excede a sua solubilidade.

Fig. 3.3 - Modelo clássico de "bacia barrada",
(conforme SELLEY, 1988).

Um modelo similar ao de águas rasas foi utilizado por SCHMALZ (1969) para explicar a deposição evaporítica em águas

profundas. Tal modelo consiste em uma bacia barrada, com um dique baixo separando parcialmente a bacia do mar aberto (Fig.3.4). Mudanças de densidade resultantes da evaporação podem provocar um grande efeito na circulação das salmouras. A deposição evaporítica pode se desenvolver em três fases. A primeira, com a evaporação na superfície, resultaria num acréscimo de densidade, podendo precipitar carbonato de cálcio. Um exemplo dessa fase é a atual situação do Mar Mediterrâneo. A segunda fase corresponderia a uma fase euxínica. A acumulação de salmouras altamente densas, em profundidade, tornaria o ambiente pobre em oxigênio, causando uma mortandade generalizada dos organismos bentônicos. A terceira fase ocorreria com a contínua evaporação, e concentração da salmoura nas porções mais distais, permitindo a formação de gipsita e, posteriormente, precipitação de halita.

Fig. 3.4 - Modelo de bacia evaporítica de águas profundas em sua fase inicial (conforme SCHMALZ, 1969).

HITE (1970) chama a atenção para alguns dos princípios básicos que governam a deposição evaporítica, afirmando que:

a) a deposição de cada fácies de um depósito evaporítico deve ser precedida pela deposição de outra fácies mais solúvel;

b) toda bacia evaporítica marinha contendo espesso depósito deve ter sido submetida a um refluxo. Sem o refluxo os depósitos incluiriam um amplo espectro de minerais e a relativa quantidade de um mineral em relação a outro estaria diretamente proporcional à relação dos elementos originais contidos na água do mar;

c) o refluxo é controlado pela elevação ou queda do nível do mar, mudanças na capacidade de transporte do caminho de acesso, ou mudanças na taxa de evaporação. Destes, provavelmente, as alterações do nível do mar são os mais significativos. Quando o nível do mar é alto, a bacia sofre um grande refluxo. Ao contrário, quando o nível do mar é baixo, o refluxo é pequeno ou inexistente (Fig. 3.5).

Depósitos menos importantes, em termos de volume, são formados em planícies costeiras ou margens de lagos salinos em regiões áridas. Tais depósitos são denominados de **sabkhas** e foram descritos inicialmente na década de 60 para ocorrências de gipsita-anidrita distribuídas ao longo da *Trucial Coast*, zona costeira do Golfo Arábico (BUTLER, 1969; SHEARMAN, 1978).

Nas regiões de *sabkha* os evaporitos são formados no interior dos sedimentos ainda inconsolidados (RENFRO, 1974), como resultado da evaporação da salmoura intersticial, o que provoca a precipitação dos sais solúveis nos espaços porosos dos sedimentos. Uma região de *sabkha* é bem diferente de uma salina costeira (Fig. 3.6). No primeiro caso a deposição ocorre no interior dos sedimentos, enquanto no segundo caso a deposição é subaquosa (WARREN & KENDALL, 1985).

Fig. 3.5 - Modelos de bacia evaporítica. Fase transgressiva (A), com o nível do mar alto ; fase regressiva (B), com o nível do mar baixo. Os números representam a densidade aproximada da salmoura (conforme HITE, 1970).

Fig. 3.6 - Modelos deposicionais de uma região de *sabkha* (A) e de uma salina costeira (B), conforme RENFRO, 1974.

3.4 - Ciclos evaporíticos

Uma bacia evaporítica é, em geral, marcada por fases alternadas de alta e baixa salinidades. Essas variações permitem que a sequência seja dividida em intervalos ou ciclos correlacionáveis (CARVALHO, 1987a). Cada ciclo caracteriza-se por conter, na base e no topo, extensas camadas de folhelhos negros altamente orgânicos (HITE, 1970; KIRKLAND & EVANS, 1981).

A sucessão vertical de um ciclo evaporítico tem início com os componentes menos solúveis na base, prosseguindo com os mais solúveis no topo, determinada pela fase de concentração mais elevada da salmoura, voltando novamente ao nível mais baixo (Fig. 3.7).

Tal sucessão vertical também pode ser observada horizontalmente (Fig. 3.8), tendo em vista a contemporaneidade de mudanças na concentração da salmoura ao longo da bacia, desde as regiões proximais, limites com o mar aberto, até as áreas mais distais, próximas ao continente (RICHTER-BERNBURG, 1972).

Ciclos ou repetição de sequências são praticamente universais em bacias evaporíticas. Em geral, os ciclos maiores podem ser subdivididos em pequenos sub-ciclos o que evidencia as diversas variações ocorridas em uma sucessão salina.

Exemplos de ciclos deposicionais em bacias evaporíticas têm sido mencionados por STEWART (1963), para a Bacia de Zechstein, na Alemanha, a qual exhibe quatro grande ciclos, com diversos sub-ciclos menores; por BOSSELINI & HARDIE (1973) para sais do norte da Itália; e por MATTHEWS (1977), para evaporitos da Bacia de Michigan (EUA), dentre outros. No Brasil, FONSECA (1973), CARVALHO et al. (1974) e CERQUEIRA et al. (1986), destacam os ciclos deposicionais para os evaporitos Ibura, em Sergipe, e SZATMARI et al. (1979), para os depósitos da Bacia do Amazonas.

Fig. 3.7 - Perfil ideal de um ciclo evaporítico completo (conforme CARVALHO, 1987b).

Fig. 3.8 - Sucessão vertical e horizontal de um ciclo evaporítico (adaptado de RICHTER-BERNBURG, 1972).

4 - OS EVAPORITOS PARIPUEIRA EM ALAGOAS

4.1 - A sequência evaporítica Paripueira

Os sais Paripueira representam a sequência mais antiga, sendo encontrados na base da Formação Muribeca, Membro Maceió. A sua ocorrência foi identificada, inicialmente, nos poços AL-2 e AL-3, perfurados pela DRILEX em 1941, como parte dos programas pioneiros desenvolvidos, na época, pelo Conselho Nacional do Petróleo. Posteriormente, por meio de sondagens realizadas pela PETROBRÁS, foram localizados idênticos pacotes evaporíticos, dentre os quais, o da localidade de Paripueira, na porção norte da bacia.

TEIXEIRA & SALDANHA (1968), num trabalho pioneiro sobre a ocorrência desses sais na bacia, verificaram que a sua distribuição estava relacionada aos baixos regionais existentes, sendo estes, bem delineados pelos levantamentos gravimétricos realizados pela PETROBRÁS. Assim, os evaporitos estariam distribuídos em três importantes feições estruturais formando sub-bacias aparentemente isoladas, nas áreas de **Paripueira**, **Maceió** e **Coruripe**.

Os poços perfurados nessas áreas foram selecionados para estudos, tendo suas denominações originais alteradas conforme recomendações da PETROBRÁS (Fig. 4.1).

4.2 - O Baixo de Paripueira

O Baixo de Paripueira faz parte de um amplo conjunto de blocos escalonados denominado de Baixo Regional de Alagoas (LANA, 1985). Limita-se a oeste pelas rochas do embasamento, mediante falhas normais com rejeitos superiores a 2.000 metros.

Fig. 4.1 - Distribuição dos dados de sondagens (PETROBRÁS) selecionados para estudos, na porção alagoana da bacia.

Com base em seções transversais à bacia, estima-se que, nessa área, a espessura dos sedimentos atinja cerca de 8.000 metros (CHANG & KOWSMANN, 1986) ou, até 10.000 metros (LANA, *op. cit.*)

Os sais solúveis estão distribuídos numa área onde estão situados os poços P-1, P-2, P-3, P-4, P-5, P-6 e P-7 (Fig. 4.2). Com base nos perfis desses poços verifica-se a ausência de uma uniformidade vertical na seqüência, com os sais irregularmente dispersos e ocupando diferentes posições estratigráficas no Membro Maceió, com espessuras, profundidades e número de camadas variáveis, intercaladas por espessos pacotes de sedimentos clásticos.

As maiores profundidades para os depósitos evaporíticos são obtidas na direção NE do baixo estrutural, onde, no poço P-5, os pacotes salíferos são encontrados num intervalo aproximado de -1.614 a -2.843 metros, respectivamente topo e base. Em direção à extremidade SW, a profundidade do intervalo diminui, com -1.075 a -1.285 metros no poço P-3. O intervalo com maior espessura total corresponde ao do poço P-7, com 1.646 metros. Porém, nos poços P-1 e P-7, situados no Município de Paripueira, localizam-se as maiores espessuras efetivas de sais solúveis, com um total de 348 e 349 metros de halita, respectivamente (Tab. 4.1).

POÇO	Topo do sal (m)	Base do sal (m)	Espessura total (m)	Espessura efetiva (m)
P-1	-1.396	-2.449	1.053	348
P-2	-1.614	-2.843	1.229	195
P-3	-1.075	-1.285	210	25
P-4	-1.304	-1.349	45	35
P-5	-1.460	-1.640	180	56
P-6	-1.363	-2.168	805	329
P-7	-1.262	-2.908	1.646	349

Tabela 4.1 - Dados gerais para os sais da sub-bacia de Paripueira.

Fig. 4.2 - Área de ocorrência de evaporitos na sub-bacia de Paripueira.

Estima-se que o grande aporte de terrígenos ocorrido durante a deposição das camadas evaporíticas dessa área, conforme registro em todos os perfis, estaria ligado a ocasionais mudanças climáticas (ALMEIDA et al., 1992), associadas a uma acentuada subsidência nessa parte da bacia (LANA, 1990), o que permitiu a deposição de espessos pacotes. A predominância de folhelhos intercalados ao sal, nos poços P-1 e P-7, em contraste com os demais que apresentam uma dominância de clásticos mais grossos, sugere que o depocentro estaria nas suas imediações. Essa idéia é reforçada pela maior espessura efetiva apresentada nos perfis desses poços.

4.3 - O Baixo de Maceió

O Baixo de Maceió localiza-se a oeste da Cidade de Maceió, possuindo, em planta, uma forma elipsoidal e direção aproximada NE-SW para o seu eixo maior. Seus contornos gravimétricos mais negativos recaem sobre os canais que interligam as lagoas Mundaú e Manguaba (Fig. 4.3).

Ao norte da área encontra-se uma estrutura alongada, conhecida como o **Trend** "Coqueiro Seco - Tabuleiro dos Martins", tendo mais de 25 km de comprimento e cerca de 3 km de largura, com direção SW-NE, sendo seccionada por falhas normais, transversais ao comprimento, que formam blocos distintos, onde o maior deles coincide com o campo petrolífero do Tabuleiro dos Martins. Seu limite com o Baixo de Maceió se dá mediante um conjunto de blocos escalonados, com falhamentos normais (provavelmente listricos), em que a inclinação do plano estaria entre 60 a 80 graus e rejeito total de aproximadamente 350 metros (TEIXEIRA, 1967).

Fig. 4.3 - Mapa de gravidade residual (Bouguer) na área do Baixo de Maceió (adaptado de TEIXEIRA, 1967).

A ocorrência de evaporitos foi constatada por meio de sondagens realizadas para petróleo, com os poços M-1, M-2 e M-3 (Fig. 4.4). Nos demais poços, situados fora desse polígono, não foram encontrados sais solúveis, razão pela qual foram perfurados os poços de produção e pesquisa da SALGEMA MINERAÇÃO (Fig. 4.5).

Fig. 4.4 - Área de ocorrência de evaporitos na sub-bacia de Maceió.

Fig. 4.5 - Distribuição dos poços de pesquisa e produção da SALGEMA MINERAÇÃO, na sub-bacia de Maceió.

4.4 - O Baixo de Coruripe

A ocorrência de evaporitos nessa área foi identificada com a perfuração do poço C-1 pela PETROBRÁS (TEIXEIRA & SALDANHA, 1968), com o intervalo salífero situando-se a uma profundidade de -2.623 a -2.647 metros, respectivamente topo e base, tendo uma espessura efetiva de 14 metros de sal (Tab. 4.2).

Na plataforma continental, atual porção submersa da bacia, a leste do poço C-1, foi constatada a ocorrência de evaporitos, inicialmente com o poço C-2, com espessura superior a 250 metros. Essa sondagem, apesar de não ter atingido a base de todo o pacote salífero, chegou a ultrapassar 3.000 metros de profundidade, sendo interrompida no interior do corpo salino (CARVALHO et al., 1974). Outras ocorrências também são verificadas na porção submersa, mediante perfis dos poços C-3, C-4 e C-5 (Fig. 4.6).

Nessa área observa-se uma grande complexidade tectônica e enorme variação de profundidade do topo do Membro Maceió (ABREU & POTTER, 1990). Provavelmente é uma das áreas mais profundas da bacia, pois os sais ocorrem sempre a profundidades superiores a 2.600 metros.

A configuração dessa parte da bacia, em uma seção transversal, mostra um acentuado falhamento na área da atual porção submersa, prolongando-se de forma aproximadamente paralela por toda a linha de costa. Esta feição, conhecida como *linha de charneira*, é resultante dos processos distensivos e termiais sofridos pela crosta durante a fase *rift*, onde a maior subsidência estaria nos limites da zona de maior afinamento crustal (CHANG & KOWSMANN, 1986). A *linha de charneira* possui extensão regional e corresponde a um eixo de flexura que separa a plataforma rasa de uma estrutura homoclinal com profundidade crescente (OJEDA, 1981).

POÇO	Topo do sal (m)	Base do sal (m)	Espessura total (m)	Espessura efetiva (m)
C-1	-2.623	-2.647	24	14
C-2	-2.826	-3.069	243	117
C-3	-3.323	-3.367	45	43
C-4	-3.061	-3.973	912	62
C-5	-3.924	-3.945	21	16

Tabela 4.2 - Dados gerais para os saís da sub-bacia de Coruripe.

Fig. 4.6 - Área de ocorrência de evaporitos na sub-bacia de Coruripe.

4.5 - A mineração do sal-gema em Maceió

Na região de Maceió os intervalos mineralizados em halita são extraídos utilizando-se a técnica de mineração por **dissolução subterrânea**, contrastando com o método convencional de **salões e pilares** (*room and pillar*) empregado em Sergipe, na extração de silvinita, para a produção de cloreto de potássio (CERQUEIRA et al., 1982).

Essa técnica permite a mineração de jazidas a grandes profundidades, por meio de poços tubulares, com redução substancial dos custos de produção, sem o inconveniente da geração de rejeitos e com a vantagem de se obter um produto final de elevada pureza (RICHNER et al., 1992).

Nesse método, com o poço devidamente instalado, a água é injetada sob pressão pelo tubo central e dirigida à base da camada a ser minerada (não revestida), onde o sal é dissolvido, retornando à superfície pelo espaço anular do revestimento, sob a forma de solução saturada de cloreto de sódio, com aproximadamente 300 gramas/litro (Fig. 4.7). A produção de sal em cada poço é contínua, podendo-se extrair por ano cerca de 60.000 toneladas. Na jazida de Maceió, a vida útil de cada poço tem variado de 12 a 14 anos de extração ininterrupta (MELO & FLORENCIO, 1995).

Durante a fase produtiva a configuração da cavidade formada com a dissolução do sal é controlada mediante o emprego de sonar. Com essa ferramenta é possível determinar a geometria, direção preferencial da dissolução, volume e orientação de cada caverna. Os dados fornecidos pelo sonar irão auxiliar às etapas produtivas de desenvolvimento, ajustando-se de modo a otimizar a recuperação do sal.

A altura e o diâmetro máximo da cavidade, gerada pela retirada do sal, são definidas em função da espessura do corpo salino e da malha para a locação de cada poço. Na área de Maceió, onde são mineradas as camadas dos evaporitos Paripueira, utiliza-se um diâmetro máximo de 60 metros para todo o intervalo salífero, mantendo-se a distância de pelo menos 100 metros entre cada poço. Com isso, o espaçamento mínimo entre as duas cavernas geradas no final da fase produtiva será de 40 metros.

Se cada poço for instalado no centro de uma área de 100 x 100 metros, grande parte do sal existente em torno da cavidade será mantido, pois na fase final de extração a cavidade gerada tenderá a uma configuração cilíndrica (Fig. 4.8). Assim, considerando-se uma configuração final de 120 metros de altura por 60 metros de diâmetro, o coeficiente de recuperação será de aproximadamente 20%, o que corresponde a um total de 732.000 toneladas de sal obtidas em cada poço.

Fig. 4.7 - Perfil esquemático de um poço produtor de salmoura (conforme MELO & FLORENCIO, 1995).

Fig. 4.8 - Configuração e fases de crescimento das cavidades (conforme MELO, 1986).

5 - CARACTERIZAÇÃO DO INTERVALO EVAPORÍTICO PARIPUEIRA

5.1 - Estudos geofísicos

A geofísica de poço foi a principal ferramenta empregada na análise do intervalo salífero, especialmente para os depósitos situados no Baixo Estrutural de Maceió. Para a obtenção de maiores informações sobre a litologia desse intervalo foram realizadas interpretações nos dados de perfilagens de 26 poços da área, utilizando-se perfis neutrão, sônico, densidade e raios gama, além de *caliper* e *dipmeter*.

Para as demais porções da bacia foram, inicialmente, utilizados mapas de gravimetria (*Bouger*) e seções sísmicas elaborados pela PETROBRÁS, de forma a facilitar a identificação de áreas com prováveis ocorrências de evaporitos. Com a definição dessas áreas foi possível uma melhor seleção dos perfis de poços para estudos. Os dados dos poços cedidos pela PETROBRÁS já estavam devidamente interpretados, realizando-se apenas algumas confirmações dessas informações.

As propriedades mais importantes e possíveis de serem medidas com o uso de perfilagens, são:

- radiatividade natural das rochas (GR);
- conteúdo de hidrogênio ou porosidade neutrônica ($\varnothing N$);
- densidade total das rochas (ρ_b);
- tempo para o som percorrer um pé da formação (Δt).

O uso conjunto de dois ou mais perfis, além do uso de diagramas apropriados (*cross-plots*), torna possível a individualização das diversas camadas que compõem uma sequência evaporítica, a partir das características registradas em cada perfil, de modo a permitir a identificação dos tipos litológicos com razoável segurança (ALGER & CRAIN, 1966; SCHLUMBERGER, 1969).

Mediante o uso combinado desses perfis, observando-se a tabela de valores (Tab. 5.1) propostos pela SCHLUMBERGER (NURMI, 1978), foram individualizados os intervalos de halita em cada poço. Procurou-se definir os demais litótipos intercalados, na tentativa de se reconhecer possíveis ciclos de baixa e alta salinidades, através da provável presença de rochas carbonáticas e sulfatos (gipsita/anidrita), além de sais de potássio, como silvinita e carnalita, sendo estes sugeridos pelos intervalos de elevada radiatividade exibida nos perfis de raios gama.

Além dos valores atribuídos pela SCHLUMBERGER para cada perfilagem analisada, foram levados em consideração os valores encontrados para os sais Ibura (Tab. 5.2) nos trabalhos de avaliação geológica da sub-bacia evaporítica de Taquari-Vassouras, em Sergipe (CERQUEIRA et al., 1982).

Dentre os perfis utilizados deve-se destacar a importância da perfilagem em raios gama, para o caso de depósitos evaporíticos, pois permite ao intérprete estabelecer com facilidade os intervalos portadores de halita, caracterizados pela ausência de elementos radiativos, indicando ainda a profundidade e espessura de cada camada.

Para seções com intercalações de arenitos, calcários, dolomitos e sais, típicas de intervalos evaporíticos, o uso dos perfis densidade, neutrão, sônico e raios gama são imprescindíveis, determinando-se a litologia com relativa precisão (FRANK & BEMERGUY, 1972).

Minerais e rochas	Composição	Densidade (pb)	Velocidade (Δt)	Porosidade $\varnothing_N$ (GNT)	Raios-gama ($^\circ$ API)
Calcita	CaCO_3	2,710	47,5	0	0
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	2,876	43,5	4	0
Quartzo	SiO_2	2,648	51,5	-4	0
Calcário	(quando $\varnothing=10\%$)	2,540	62	10	5-10
Dolomita	(quando $\varnothing=10\%$)	2,683	58	13,5	10-20
Arenito	(quando $\varnothing=10\%$)	2.485	65,3	3	10-30
Folhelho		2,2-2,75	70-150	25-60	80-140
Halita	NaCl	2,032	67	0	0
Anidrita	CaSO_4	2,977	50	0	0
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,351	52,5	49	0
Trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2,100	65	40	0
Silvita	KCl	1,863	74	0	~500
Carnalita	$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,570	78	65	200
Langbeinita	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$	2,820	52	0	275
Polihalita	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,790	57,5	15	180
Kainita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	2,120	-	45	225
Enxofre		2,030	122,0	45	0
Linhita		0,7-1,5	140-170	Alto >50%	0
Carvão		1,3-1,5	110-140	Alto >50%	0
Antracito		1,4-1,8		Alto >50%	0

Tabela 5.1 - Características de registros, em diferentes perfilagens, para minerais evaporíticos e rochas associadas (NURMI, 1978).

EVAPORITO	Composição	PERFIL GR (unid.°API)	PERFIL NEUTRÃO Ø CLN	PERFIL DENSIDADE ρb (g/cm³)	PERFIL SÔNICO Δt (μseg)
Anidrita	CaSO ₄	10 a 15	0 a 3	2,85 a 2,93	55 a 60
Halita	NaCl	5 a 15	0 a -0,15	2,05 a 2,10	68 a 74
Silvinita	KClNaCl	250 a 550	-0,15	1,95 a 2,01	72 a 74
Carnalita	KClMgCl ₂ .6H ₂ O	120 a 210	45 a 50	1,60 a 1,65	77 a 78

Tabela 5.2 - Valores de registros para os sais Ibura
(conforme CERQUEIRA *et al.*, 1982).

5.2 - Litologia do intervalo Paripueira

A litologia do intervalo salífero foi estudada a partir de testemunhos de sondagens obtidos em três poços para pesquisa de evaporitos, perfurados ao sul do campo petrolífero Tabuleiro dos Martins, região de Maceió (Fig. 5.1).

Fig. 5.1 - Perfis dos poços de pesquisa na área de Maceió

Na análise macroscópica do material testemunhado observou-se uma nítida predominância de halitas, com folhelhos e rochas carbonáticas intercaladas, além de arenitos de granulação fina a grossa nas seções basais (FLORENCIO, 1995). A ausência de intervalos com anidrita ou sais mais solúveis que a halita, inviabilizou a idéia de se realizar uma divisão da seqüência em ciclos correlacionáveis, a exemplo do que foi realizado com os sais Ibura (CARVALHO *et al.*, 1974).

5.2.1 - Arenitos

Na sub-bacia de Maceió os arenitos estão presentes, em sua maioria, na base da seqüência, sendo raramente encontrados intercalados ao sal. Nas demais áreas, principalmente na sub-bacia de Paripueira, encontram-se intercalados ao intervalo salífero exibindo espessuras variáveis.

A partir da análise do material testemunhado verificou-se que os arenitos ocorrem, em grande parte, classificados como arcóseo a sub-arcóseo, segundo FOLK (1974), na forma de rochas de granulação fina a média (WENTWORTH, 1922 - *in* DAVIS JR., 1983) com raros grãos grossos, mal selecionados, muito compactos, com porosidade baixa ou ausente, predominando cimentação calcítica, raramente silícea, com matriz praticamente ausente, exibindo feldspatos alterados e vacuolizados, tendo como minerais acessórios muscovita, clorita, agregados de óxido de titânio e opacos (Foto 5.1).

Em raros intervalos a maturidade mineralógica, sugerida pela ausência de feldspatos, contrasta com a pequena maturidade textural. As estruturas sedimentares são incipientes e apenas sugestivas de estratificação cruzada tabular.

As alterações diagenéticas são identificadas a partir dos seguintes eventos: compactação mecânica, evidenciada pelo empacotamento fechado, com grãos fragmentados; bem como compactação química, sugerida pelo crescimento secundário em quartzo e cimentação calcítica, onde o cimento abriu a rocha deixando os grãos com pouco contato, além de provável corrosão dos grãos pela percolação de fluidos.

Feldspatos sericitizados, presença de óxido de titânio e glauconita são também indicativos de alterações diagenéticas. A glauconita, aparecendo como grãos e agregados, sugere uma diagênese precoce.

SOMBRA (1990), ao estudar os efeitos do soterramento em arenitos das bacias marginais brasileiras, afirma que nas fases de soterramento moderado a alto as alterações são governadas por reações químicas como compactação química, cimentação e dissolução, sendo dependentes da natureza dos reagentes, pressão, temperatura e tempo.

Foto 5.1 - Fotomicrografia de arenito com grãos mal selecionados (aumento de 37,5 vezes, com nicol cruzado).

5.2.2 - Folhelhos

Os folhelhos, depois da halita, são os litótipos dominantes, sendo encontrados na base, intercalados aos sais e no topo da sequência salífera. A partir do material testemunhado verifica-se, macroscopicamente, a presença de três variedades distintas:

a) folhelho cinza claro a cinza escuro, com níveis salíferos, por vezes calcíferos, exibindo laminações com mergulhos acentuados em parte da sequência, além de ocasionais fraturas preenchidas por halita avermelhada;

b) folhelho marrom, calcífero, por vezes carbonoso, apresentando laminações com mergulho acentuado em partes da coluna. Fraturas preenchidas por calcita são comuns em diversos níveis dessa ocorrência, além de nódulos e finíssimas lâminas de halita avermelhada intercaladas;

72253
c) folhelho orgânico, preto, exibindo laminações incipientes, com ocasionais fraturas verticais preenchidas por calcita e halita, ocorrendo, ainda, níveis com intercalações de arenito muito fino.

Fósseis de ostracodes e conchostráceos são encontrados nos folhelhos do topo e da base da sequência. Alguns níveis possuem alta concentração de matéria orgânica, indicativa de um ambiente fortemente anóxico.

5.2.3 - Margas

As margas são de coloração marrom, frequentemente encontradas em diversos níveis, intercaladas nas halitas, exibindo finíssimas laminações micro-onduladas, com alternância de material argiloso e calcífero, assemelhando-se a esteiras algais. Fraturas preenchidas por calcita e halita avermelhada são comuns em vários níveis (Foto 5.2).

Foto 5.2 - Nível de marga exibindo fratura preenchida por halita avermelhada (testemunho do poço de pesquisa III).

5.2.4 - Calcários

No material testemunhado os calcários são encontrados na forma de lâminas milimétricas a centimétricas, em sua maioria, ocorrendo também como nódulos de carbonato de cálcio intercalados aos folhelhos, ou ainda na forma de calcita disseminada em veios que preenchem fraturas. Apresentam-se como rochas de coloração creme, raramente ultrapassando 20 centímetros de espessura, ocasionalmente porosos e dolomitizados. Ocorrem como *mudstones* e *wackestones* (Fotos 5.3 e 5.4), conforme classificação de DUNHAM (1962).

Os *mudstones* apresentam raros grãos de quartzo, biotita, muscovita, pelóides e fragmentos vegetais. Em testemunhos do poço PP-I, foram observados fragmentos fossilizados de algas vermelhas (*Coralínea*?) fortemente recristalizados. A matriz que suporta os grãos da rocha é predominantemente micrítica. Tais litótipos apresentam-se, em geral, laminados e exibindo alternância entre níveis mais micríticos e níveis margosos. As características gerais destas rochas indicam que elas foram depositadas em condições de baixa energia.

Os *wackestones* apresentam-se na forma peloidal, por vezes laminados, com matriz micrítica recristalizada, ocasionalmente cimentados por um mosaico de calcita espática, intercalados por níveis carbonáticos e argilosos, alguns com ostracodes, tendo como acessórios biotita, feldspato, quartzo e opacos.

Nas demais áreas de ocorrência, a partir das análises dos dados de poços, verifica-se a presença de inúmeras camadas de calcário intercaladas aos sais solúveis, com espessuras variáveis, porém, raramente superiores a 10 metros.

Foto 5.3 - Fotomicrografia de *mudstone*
(aumento 37,5 vezes, com nicol paralelo).

Fotos 5.4 - Fotomicrografia de *wackestone*, com ostracode
(aumento de 37,5 vezes, nicol paralelo).

5.2.5 - Halitas

Em todas as seções testemunhadas observa-se a presença de halitas com cristalização grossa e cristais de dimensões médias de 4 milímetros. Ocorrem, em grande maioria, como halitas bandeadas, exibindo uma alternância de bandas escuras e claras, sendo estas, com colorações diversas, em sua maioria incolor, porém variando entre branca, marrom, cinza, preta, rósea, alaranjada ou vermelha, conforme o tipo de impureza associada. As bandas escuras refletem a maior ou menor disseminação de material argiloso. Verifica-se que, em alguns casos, as seqüências halíticas apresentam-se avermelhadas, sugerindo oxidação do ferro, presente como impureza associada devido à exposição sub-aérea, resultado de ocasionais dessecações do *paleolago* salino.

Na parte superior das camadas de halita, próximo ao contato com as rochas clásticas, é comum a ocorrência de brechas de colapso originadas por subsolução do sal, tipo *karstificação*, provavelmente em decorrência do influxo de água doce de origem continental. Os fenômenos de subsolução se dão em condições de pequeno soterramento, o que é indicado pelo inexpressivo desenvolvimento das brechas de dissolução, nunca superior a 50 centímetros. Em alguns níveis as halitas exibem cristais estirados, provavelmente relacionados a fluxo gravitacional e/ou falhamentos.

5.2.5.1 - Fácies de halita

Em todos os testemunhos analisados as halitas mostram-se extremamente pobres em termos de variação de fácies, contrastando com o que se verifica em Sergipe, com os sais Ibura, onde seis fácies são perfeitamente distintas (CARVALHO et al., 1974; CERQUEIRA et al., 1982).

No intervalo testemunhado foram reconhecidas duas fácies halíticas, aqui denominadas de **bandeada** e **cristaloblástica**, com predominância da primeira sobre a última (Fotos 5.5 e 5.6).

a) **Halita bandeada**

Esta fácies é caracterizada pela alternância de bandas claras e escuras, com espaçamentos de 40 centímetros, aproximadamente, predominando cristais de granulação grossa. As bandas claras são normalmente incolores, em alguns casos leitosas e, raramente, alaranjadas ou róseo-avermelhadas. É provável que nos intervalos leitosos sejam encontrados cristais *hoppers*, indicativos de cristalização na superfície da salmoura, com posterior decantação (SHEARMAN, 1978). As bandas escuras exibem coloração variando de marrom a preta, conforme a quantidade de argila disseminada, sugerindo influência continental. Ocasionalmente esta apresenta bandas límpidas, com cristais de granulação mais fina, indicativos de cristalização lenta no fundo da sub-bacia evaporítica, em porções mais afastadas da margem.

As halitas róseo-avermelhadas, presentes em alguns níveis, são encontradas geralmente em contato com a base dos folhelhos. A sua coloração é atribuída à presença de óxido de ferro disseminado, conforme foi verificado em testes químicos comparativos.

A rede, aqui denominada como a parte da rocha evaporítica que envolve os cristais de halita, está constituída por uma finíssima película argilosa, com espessura estimada em cerca de 0,1 milímetros, envolvendo contínua ou parcialmente os cristais, sendo insignificante em termos de volume.

Microscopicamente os cristais de halita exibem, em sua maioria, formas subedrais, alguns com bordos parcialmente dissolvidos ou formando *microkarst* que, conforme BEIN et al. (1991) pode ser produto da dissolução por exposição sub-aérea. Apresentam, como inclusões, cristais de calcita, material

argiloso, fragmentos de dolomita e finíssimas placas de muscovita, além de vazios intergranulares.

b) Halita cristaloblástica

É caracterizada pela dominância de cristaloblastos euédricos a subédricos, com dimensões superiores a 5 milímetros, contidos em uma matriz ou envoltos por uma rede de natureza argilosa, raramente calcífera, nunca ultrapassando a 50 centímetros nos testemunhos analisados.

Essa fácies pode ser encontrada no topo ou na base das halitas bandeadas, próximo ao contato com os folhelhos ou calcários, bem como em meio aos folhelhos intercalados. Sua ocorrência pode ser insignificante em termos de volume, se comparada à facies anterior.

Foto 5.5 - Halita
bandeada.

Foto 5.6 - Halita
cristaloblástica.

5.3 - Análises químicas

As amostras obtidas para análises inorgânicas correspondem ao intervalo de halitas basais dos testemunhos do poço de pesquisa PP-III, situadas num intervalo de 1.044,0 a 1.059,6 metros de profundidade, respectivamente topo e base, com espaçamento aproximado de 1,2 metros entre cada amostragem. As análises foram realizadas nos laboratórios da Mina de Potássio de Taquari-Vassouras, em Sergipe, determinado-se os teores de K^+ , Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , SO_4^{-2} , Cl^- , H_2O , Br^- e resíduos insolúveis (RI). Os métodos analíticos utilizados foram os seguintes: volumetria para cloretos e bromo, turbidimetria para sulfatos e espectrometria de absorção atômica para sódio, potássio, cálcio e magnésio cujos resultados estão expressos em percentagem na Tabela 5.3. Os teores para SO_4^{-2} foram inferiores a 0,25%, não sendo, portanto, detectados no material analisado.

Para análises de natureza orgânica foram retiradas amostras de folhelhos negros correspondentes aos testemunhos dos poços PP-I, PP-II e PP-III, sendo realizadas análises para teores de carbono orgânico total (TOC), pirólise rock-eval, cromatografia líquida e gasosa, além de espectrometria de massa (biomarcadores).

Amostra	K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	H ₂ O	Br ⁻	RI
01	0,02	35,87	0,02	0,13	55,62	0,23	0,0038	7,80
02	0,03	38,97	0,01	0,02	60,17	0,07	0,0046	0,43
03	0,03	38,91	0,005	0,08	60,17	0,07	0,0052	0,59
04	0,007	38,95	0,005	0,02	60,11	0,03	0,0076	0,65
05	0,04	38,94	0,006	0,02	60,14	0,05	0,0096	0,63
06	0,04	39,06	0,005	0,02	60,32	0,15	0,0098	0,01
07	0,04	39,00	0,005	0,02	60,21	0,13	0,0104	0,10
08	0,20	37,84	0,01	0,04	58,63	0,12	0,0095	2,92
09	0,02	39,00	0,004	0,03	60,22	0,09	0,0053	0,27
10	0,02	38,95	0,003	0,02	60,11	0,13	0,0055	0,27
11	0,04	39,02	0,005	0,05	60,30	0,08	0,0058	0,28
12	0,04	38,82	0,01	0,03	59,98	0,16	0,0066	0,95
13	0,01	38,83	0,01	0,03	59,97	0,19	0,0066	0,71
Valores expressos em percentagens								

Tabela 5.3 - Resultados analíticos para as halitas basais do poço PP-III.

5.4 - Geoquímica do bromo

O teor de bromo na água do mar é de aproximadamente 65 ppm, sendo considerado muito baixo se comparado ao teor de cloro que é de 18.980 ppm em média. Tais conteúdos têm se mantido praticamente constantes desde o final do Pré-Cambriano (BAAR, 1977), não havendo mudanças significativas na relação Cl/Br até os dias atuais (HOLLAND, 1972; HOLLAND, 1974; HORITA et al., 1991).

Ao ocorrer a evaporação os cloretos conservam o bromo na sua forma iônica (Br^-) e, como a sua solubilidade é elevada, apenas uma pequena fração do bromo precipita-se com os cristais de sal, aumentando gradualmente a sua concentração na salmoura residual (VALIASHKO, 1956). Portanto, na sequência de precipitados também haverá um acréscimo gradual do teor de bromo, pois o total desse elemento na fase sólida dos cloretos dependerá da concentração de bromo na solução original (RAUP & HITE, 1978).

Com base nestes conhecimentos pode-se relacionar o teor de bromo de um cloreto ao teor de bromo da salmoura a partir da qual esse cloreto se cristalizou. Tal relação pode ser expressa por um coeficiente de distribuição (ou partição), que representa a percentagem em peso de Br^- na fase líquida, a partir da qual ocorreu a cristalização (BRAISTSCH, 1971). Ou seja, o coeficiente representa a relação entre o conteúdo de bromo no precipitado e na salmoura, sendo diferente para cada evaporito e até para um mesmo mineral (Tab. 5.4).

MINERAL PRECIPITADO	K	Teor de Br^- (ppm) a 25 °C			
		Salmoura	Halita	Silvita	Carnalita
Halita:					
- Início da precipitação de halita	0,13	540	70		
- Início da precipitação de carnalita	0,07				
Silvita:					
- Início da precipitação de carnalita	0,073	4.000	280	2.900	
Carnalita:					
-Início da precipitação de carnalita.....	0,52	4.850	350	3.500	2.500
Bischofita:					
Início de sua precipitação		7.350	530		3.800

Tabela 5.4 - Valores de K (coeficiente de partição) para os mais importantes minerais evaporíticos (conforme BRAITSCH, 1971).

A determinação do teor de bromo em minerais evaporíticos tem sido empregada, com relativo sucesso, na prospecção geoquímica desses depósitos (VALYASHKO, 1956; BAAR, 1977; RAUP & HITE, 1978; KUMOV et al., 1987). Um bom exemplo é a utilização do teor de bromo nas halitas como guia de detecção de horizontes de alta concentração, a partir dos quais pode-se prever a existência de depósitos potassíferos (OGIENKO, 1959).

Os resultados analíticos para os teores de bromo das halitas dos evaporitos Paripueira na sub-bacia de Maceió mostram, para o intervalo estudado, a existência de duas fases bem distintas de salinidades. A primeira, corresponde a uma fase de salinidade inicial progressiva, cujo máximo é de 104 ppm de Br^- . A segunda mostra uma salinidade recessiva, cujo mínimo é de 38 ppm de Br^- (Fig. 5.2).

Atribui-se o aumento de salinidade ao contínuo processo de evaporação na bacia, concentrando gradualmente a salmoura existente. Este processo, caso não tivesse sofrido interferência com a diluição da salmoura, teria um desenvolvimento normal, com concentrações cada vez crescentes, culminando com a deposição de sais de potássio e magnésio.

A fase final de salinidade recessiva, constatada através do perfil de bromo, mostra que o processo de inversão de salinidade progressiva ocorreu de forma gradual e contínua, ao contrário da fase inicial que teve uma discreta tendência recessiva. Admite-se que a diluição da salmoura seja uma consequência do afluxo de águas continentais, traduzidas pelo alto teor de insolúveis contidos nas halitas. Este fato é reforçado não só pela relação bromo versus insolúveis, como também pela deposição de folhelhos imediatamente sobrepostos à camada de sal.

Fig. 5.2 - Perfil do bromo para as halitas basais do PP-III.

Apesar dessas halitas estarem relacionadas a um ambiente de baixa concentração de salmouras, não permitindo a deposição de sais mais solúveis, os teores de bromo são compatíveis para halitas primárias, formadas a partir da evaporação da água do mar. RAUP & HITE (1978) mencionam um mínimo teórico de 75 ppm de Br^- para as halitas formadas a partir da contínua evaporação da água do mar. Porém, a maioria das halitas de origem marinha em muitas bacias evaporíticas, possui um teor de bromo situado entre 35 a 50 ppm (HOLSER et al., 1972), a exemplo dos sais do nordeste da Tailândia, onde os teores situam-se em torno de 40 ppm (HITE E JAPAKASETR, 1979).

HERRMANN (1972) calculando o teor de bromo com base em coeficiente de partição variando de 0,12 a 0,14, afirma que o início da precipitação de halita, a partir de água do mar, ocorre quando os teores de bromo estão entre 60 a 75 ppm, sendo tais valores coerentes com aqueles encontrados em vários depósitos salinos de diversas idades geológicas. Análises realizadas com halitas basais dos evaporitos Ibura (LISBOA et al., 1973) revelaram que as variações dos teores de bromo situam-se entre 37 a 116 ppm, o que torna coerente os resultados aqui apresentados.

5.5 - Geoquímica orgânica

A investigação geoquímica teve como objetivo a obtenção de dados para uma melhor avaliação sobre a natureza do ambiente deposicional evaporítico, a partir do conteúdo orgânico dos folhelhos intercalados aos pacotes salíferos. A análise do material foi realizada nos laboratórios do Centro de Pesquisas da PETROBRÁS (CENPES), utilizando-se as seguintes metodologias: teor de carbono orgânico total (TOC), pirólise rock-eval, petrografia orgânica, cromatografia líquida e gasosa e espectrometria de massas (biomarcadores).

5.5.1 - Teor de carbono orgânico

Os resultados analíticos apresentaram teores de carbono orgânico total (TOC) com variações entre 5,87% a 17,94% (Tab. 5.5). Tais resultados podem ser considerados elevados se comparados com aqueles apresentados por RODRIGUES & TAKAKI (1987) para os folhelhos orgânicos das bacias de Campos (2,0%) e Espírito Santo (4,0%), bem como aqueles obtidos por SOLDAN et al. (1988), para folhelhos orgânicos das bacias do Paraná, Araripe e Taubaté, com respectivamente 5,6% (Fm. Irati), 10,8% (Fm. Santana) e 5,6% (Fm. Tremembé). Esses autores, em ambos os casos, consideraram tais valores como caracterizadores de um ambiente rico em matéria orgânica.

POÇO	PROFUNDIDADE (m)	TOC (%)
PP-I	-1.079	7,42
PP-II	-1.082	5,87
PP-II	-1.109	17,94
PP-III	-1.042	8,37

Tab. 5.5 - Teores de carbono orgânico total (TOC).

Assim, os resultados obtidos podem ser considerados extremamente elevados e expressam condições ambientais fortemente redutoras, o que favoreceu a preservação do conteúdo orgânico. Caso atingissem um nível de maturação adequado, tais rochas seriam excelentes geradoras de hidrocarbonetos.

5.5.2 - Pirólise rock-eval

Este método é utilizado para a determinação do tipo de matéria orgânica. Três tipos de querogênios podem ser reconhecidos: os tipos I e II, que estão relacionados a ambientes redutores marinhos ou lacustres e são derivados de organismos planctônicos, e o tipo III que é proveniente de plantas terrestres, transportadas a um ambiente marinho ou não marinho, com moderado nível de degradação. Querogênios intermediários são comuns, especialmente entre os tipos II e III. Eles resultam da mistura de matéria orgânica marinha e terrestre, ou da biodegradação de matéria orgânica residual, reciclada de antigos sedimentos pela erosão, ou profundamente alterada por exposição subaérea (TISSOT *et al.*, 1979; TISSOT & PELET, 1981; *in* HERBIN *et al.*, 1987).

Nas amostras analisadas o craqueamento térmico mostrou a existência de um pico S_1 pequeno, devido à pouca quantidade de hidrocarbonetos gerados, e um pico S_2 grande, confirmando o bom potencial gerador. Segundo BLANC-VALLERON *et al.* (1991), os valores de T_{max} (temperatura máxima de pirólise, em graus celsius), abaixo de 435 graus, indicam um estágio térmico imaturo para a geração de hidrocarbonetos, conferindo com os tamanhos dos picos S_1 e S_2 (Tab. 5.6).

POÇO	PROF. (m)	S_1 (mgHC/grocha)	S_2 (mgHC/grocha)	T_{max} (°C)	IH (mgHC/gTOC)
PP-II	-1.082	2,25	38,13	430	650
PP-II	-1.109	10,69	132,77	428	740

Tabela 5.6 - Resultados analíticos para pirólise rock-eval.

5.5.3 - Petrografia orgânica

As análises do conteúdo orgânico confirmaram os valores de IH (índice de hidrogênio) encontrados através da pirólise *rock-eval*. Verificou-se a predominância de material amorfo (algálico ou derivado de bactérias), pólen e esporos, além de raras ocorrências de material lenhoso (vitritas e inertinitas). A vitritas é derivada, principalmente, de complexos lignínicos-celulósicos das plantas, sendo freqüentemente encontrada dispersa em sedimentos marinhos, levada pelo escoamento superficial no continente (água meteórica), ventos ou rios.

5.5.4 - Cromatografia líquida e gasosa

A cromatografia líquida permite a determinação dos componentes de óleos e extratos orgânicos contido nas rochas, conforme a sua constituição (BRUNING, 1984). Os componentes como óleos e extratos orgânicos obtidos das amostras, puderam ser analisados através da cromatografia líquida, permitindo assim a determinação de suas composições, tais como: parafinas (normais, iso e ciclo), aromáticos, resinas (compostos sulfurados, nitrogenados e oxigenados) e asfaltenos. A cromatografia em fase gasosa permitiu detalhar as frações obtidas por meio da cromatografia líquida, obtendo-se, assim, maiores informações sobre a constituição do material analisado.

Os resultados da cromatografia líquida mostraram uma predominância de resinas e asfaltenos (48,2% e 53,9%) em relação às frações saturadas (35% e 43%). Os cromatogramas resultantes revelaram uma razão pristano/fitano menor que 1 (Fig. 5.3), além da predominância de hidrocarbonetos isoprenóides e cíclicos sobre os saturados.

Fig. 5.3 - Cromatogramas resultantes dos extratos orgânicos (P=pristano, F=fitano) nas amostras 33.2 e 37.5.

A relação pristano/fitano tem sido utilizada por DIDYK et al. (1978) como indicadora de condições paleoambientais de sedimentação. TEN HAVEN et al. (1987) limitam essa utilização fazendo restrições quanto ao seu uso na indicação do nível de oxigenação. Segundo RODRIGUES & TAKAKI (1987) quando há uma maior proporção de pristano em relação ao fitano ($P/F > 1$), provavelmente a matéria orgânica é de origem continental. Em função dos resultados obtidos, essa afirmação reforça a idéia de um ambiente de salinidade elevada para a deposição do intervalo evaporítico Paripueira, com matéria orgânica de origem marinha.

5.5.5 - Isótopos de carbono

A razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$ tem sido utilizada pela geoquímica orgânica como um dos indicadores de ambiente, a partir de óleos e extratos contidos nos sedimentos gerados por matéria orgânica marinha e não marinha (PILOT, 1974).

Os valores da relação isotópica do carbono em matéria orgânica, presente nos folhelhos, são funções, basicamente, do tipo de matéria orgânica que lhe deu origem e do meio no qual ela se desenvolveu. Quando os teores estão abaixo de -28‰ (PDB) caracterizam uma origem a partir de matéria orgânica presente em lagos de água doce (RODRIGUES & TAKAKI, 1987). SACKETT (1964), analisando sedimentos marinhos recentes obteve um intervalo de -16 a -28‰ (PDB) para a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}$.

Os extratos totais das amostras de folhelhos, analisados para isótopos de carbono, indicam valores situados entre -23‰ a -27‰ (PDB), Tab. 5.7. Dados obtidos por ALMEIDA et al. (1992), para o mesmo intervalo, em margas e folhelhos, mostraram resultados entre -16‰ a -25‰ , também no padrão PDB. Tais valores refletem uma deposição em ambiente de alta salinidade.

POÇO	PROFUNDIDADE (m)	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)
PP-I	-1.079	-23 ‰
PP-II	-1.082	-27 ‰
PP-II	-1.109	-23 ‰
PP-III	-1.042	-24 ‰

Tabela 5.7 - Valores para isótopos de carbono dos folhelhos intercalados às camadas de sal na área de Maceió.

5.5.6 - Marcadores biológicos

As moléculas orgânicas aprisionadas aos sedimentos são denominadas de fósseis geoquímicos ou marcadores biológicos (biomarcadores) e representam um potencial indicador para o estabelecimento das condições ambientais de sedimentação (RODRIGUES et al., 1984).

Os resultados analíticos dos marcadores biológicos (terpanos 191 e esteranos 217 - compostos orgânicos de origem biológica que possuem estrutura e estereoquímica características), por espectrometria de massas acoplada a cromatografia gasosa, permitem as seguintes observações:

a) a abundância de terpanos, esteranos, metil-esteranos e compostos como gamacerano, indicam para o ambiente deposicional um caráter hipersalino;

b) a confirmação do ambiente marinho, com o uso de biomarcadores, foi obtida por meio da análise GC-MS (cromatografia com fase gasosa acoplada à espectrometria de massas), detectando a presença, em quantidades significativas, de marcadores biológicos como o dinosterano (originado de dinoflagelados marinhos) e o C_{30} regular esterano (derivado de algas marinhas do grupo das *Chrysophyta*).

6 - AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

6.1 - Considerações sobre o ambiente deposicional

Com base nos resultados obtidos, estima-se que, no Cretáceo Inferior, as áreas relacionadas aos diversos baixos regionais existentes na bacia formavam uma série de lagunas que passaram a sofrer uma forte influência do proto-oceano que se instalava. Os arenitos e folhelhos que antecedem à deposição do sal registram a presença de fósseis de ostracodes (*Cytheridea*?). A crescente influência marinha, nesse ambiente de circulação restrita, submetido a altas taxas de evaporação, proporcionou condições de hipersalinidade adequadas para a deposição dos primeiros pacotes salíferos, tornando imprópria a permanência da fauna até então existente. Segundo VIANA (1986), o limite máximo de tolerância de salinidade para esses organismos é de 30‰ .

Na porção alagoana da bacia de Sergipe-Alagoas são constatadas deposições evaporíticas da fase Paripueira em áreas distintas, aparentemente isoladas das demais, posicionadas estratigraficamente no Membro Maceió, formando três sub-bacias, aqui denominadas informalmente de **Paripueira**, **Maceió** e **Coruripe**.

Essas áreas, possivelmente, faziam parte de um sistema de lagunas, parcialmente isoladas do proto-oceano que se instalava, recebendo, porém, periódicos influxos marinhos (Fig. 6.1). Estima-se que o suprimento de água do mar fornecido a essas áreas já era empobrecido em carbonatos e sulfatos, fato sugerido pelas delgadas camadas de rochas carbonáticas e pela ausência de anidritas, nesses depósitos. Teoricamente, o empobrecimento das salmouras pode ser resultante da segregação desses componentes, precipitados nas porções intermediárias do trajeto, conforme modelos comentados por RAUP (1982), e teria ocorrido nas bacias situadas ao sul da margem atlântica (EVANS, 1978).

Assim, considerando-se a posição paleogeográfica da bacia, em relação ao *proto-Atlântico Sul*, estima-se que o aporte de salmouras ocorreu em condições de pré-concentração, dada a sua posição distal em relação à área de influxo no chamado *Golfo Paripueira*.

Fig. 6.1 - Modelo deposicional para as sub-bacias evaporíticas da fase Paripueira (A = halita bandeada; B = halita cristaloblástica).

Na porção alagoana da Bacia de Sergipe-Alagoas os evaporitos Paripueira são caracterizados por espessos depósitos de halita, não sendo constatada a presença de sais mais solúveis que a halita, como a silvinita ou carnalita. Porém, pelo menos em termos teóricos, essa possibilidade não deve ser descartada.

Dados geofísicos obtidos por meio da linha sísmica 48-RL-615 (LANA, 1985), paralela à atual linha de costa, sugerem que o aporte de salmouras na área da sub-bacia de Paripueira ocorreu ao longo da linha de falha Pratagi da Praia, posicionada a nordeste de Maceió e com direção aproximada NW-SE.

A deposição dos evaporitos foi marcada pelo grande aporte de terrígenos, representados por inúmeras intercalações, principalmente de folhelhos. Admite-se a hipótese de um ambiente de águas rasas, com energia baixa a moderada, baseada nas análises dos testemunhos de sondagens. Essas evidências correspondem às freqüentes exposições subaéreas dos sedimentos, representadas por halitas oxidadas, fendas de ressecamento nos folhelhos e laminitos algálicos. O tectonismo gravitacional, notadamente ativo durante a deposição evaporítica, justifica a ocorrência de espessos pacotes salíferos. Atribui-se o final dessa fase evaporítica às alterações climáticas e ao término das condições restritivas necessárias à formação desses depósitos. O fim das condições de restrição está representado por espessos pacotes de folhelhos no topo do sal, nos quais registra-se a presença de fósseis de conchostráceos (*Cyzicus?*) e peixes (*Dastilbe?*).

6.1.1 - A idade do sal

A ocorrência de anidrita, constatada na área da atual plataforma submarina, em dois poços analisados, não corresponde à fase evaporítica Paripueira e sim à fase Ibura, pois os dados

de palinologia para o intervalo dessa ocorrência indicam a zona P-270, portanto, equivalente em idade aos depósitos Ibura. Essa afirmação tem por base o zoneamento bioestratigráfico de REGALI et al. (1974) e as afirmações de UESUGUI (1987), o qual verificou que os evaporitos Ibura são restritos à parte superior da zona P-270, correspondendo, portanto, ao Neoalagoas. Essa idade é a mesma atribuída por REGALI (1989) para os evaporitos da plataforma continental do Ceará.

CALDAS & FLORENCIO (1992), CALDAS & FLORENCIO (1995), com base em análises palinológicas de folhelhos intercalados aos sais Paripueira, na sub-bacia de Maceió, verificaram a presença da forma-guia da zona P-240, atribuindo para esses evaporitos a Idade Alagoas - ou Aptiano Superior, conforme correspondência cronoestratigráfica de REGALI & VIANA (1989).

6.1.2 - As rochas do intervalo evaporítico

A interpretação das propriedades registradas nos perfis elétrico/acústicos/radiativos, bem como a análise daqueles já interpretados, associados aos testemunhos de sondagens, permitiu verificar que a litologia dominante é representada por espessos corpos de halita, destacando-se no conjunto as seguintes fácies: arenosa, pelítica, carbonática e halítica.

As maiores profundidades para o intervalo salífero são verificadas na sub-bacia de Coruripe, onde o topo do sal situa-se abaixo dos 2.500 metros em relação ao nível do mar, o que, em princípio, inviabiliza a sua mineração. Já nas demais áreas o topo do sal apresenta-se em um horizonte mais raso, com profundidades máximas de -1.013 metros e -1.614 metros, respectivamente sub-bacias de Maceió e Paripueira (Fig. 6.2 e Fig. 6.3).

A sub-bacia de Paripueira destaca-se como área promissora, devido a grande extensão lateral e baixa profundidade relativa de seus depósitos, o que a torna economicamente viável para mineração por dissolução subterrânea.

A ausência de ciclos bem marcados, que permitissem a diferenciação das fases de alta e baixa salinidades, impossibilitou a divisão da seqüência evaporítica em ciclos correlacionáveis. Suas fases de baixa concentração são marcadas pela acumulação de clásticos provenientes do influxo continental, ou mesmo pela precipitação de rochas carbonáticas em camadas relativamente delgadas. As fases de diluição das salmouras também são representadas por um aumento nos teores de resíduos insolúveis contidos nas halitas (Fig. 6.4).

6.2 - A evolução da sub-bacia de Maceió

Os métodos comumente utilizados nos trabalhos estratigráficos não podem ser aplicados com a mesma facilidade nas seqüências salíferas, principalmente aqueles relacionados à correlação estratigráfica, devido as condições desfavoráveis à presença de vida, característica própria dos ambientes evaporíticos. Para a correlação estratigráfica desses sais seria necessário a individualização de fácies contemporâneas ou intervalos bem distintos dos demais e com grande extensão lateral, de forma que pudessem atuar, estratigraficamente, como marcos de correlação litológica por todo o intervalo evaporítico.

A irregularidade na distribuição das camadas salíferas, e a diferença de espessuras em poços relativamente próximos, são evidências de que houve sucessivos avanços e recuos da salmoura, aliados à ação do tectonismo na área, contemporâneo à deposição do sal, resultando em fortes variações laterais de fácies entre clásticos e evaporitos (Fig. 6.5).

Fig. 6.2 - Mapa de contorno do topo do sal para a área da sub-bacia evaporítica de Maceió.

Fig. 6.3 - Mapa de contorno do topo do sal para a área da sub-bacia evaporítica de Paripueira.

Fig. 6.4 - Combinação dos perfis para teores de bromo e resíduos insolúveis.

Fig. 6.5 - Seção estratigráfica N-S na área da sub-bacia evaporítica de Maceió.

Apesar das dificuldades em se efetuar a divisão do intervalo em ciclos correlacionáveis, foi possível, através dos registros de perfilagens geofísicas em raios gama, para os poços da área de produção na sub-bacia de Maceió, se observar um padrão praticamente repetitivo e individualizado para as seções basal, média e superior, o que permitiu a individualização vertical do depósito em três unidades distintas (Fig. 6.6).

Com base nos dados acima verifica-se que a deposição evaporítica na sub-bacia de Maceió ocorreu em três fases distintas (Fig. 6.7). A primeira mostra um padrão aproximadamente circular, com formação de canais rasos a nordeste da área e espessura efetiva máxima de 62 metros de halita. Na segunda fase houve uma expansão generalizada da bacia, com 288 metros de espessura efetiva de halita, próxima a área que corresponde à atual borda leste da Lagoa Mundaú. A última fase é caracterizada pela marcante redução da área, resumida a dois canais que apresentam espessura efetiva inferior a 50 metros de halita.

Fig. 6.6 - Divisão do intervalo evaporítico com base nos padrões de perfilagens em raios gama. Notar a razão I/H (insolúveis/halita) para cada unidade.

Fig. 6.7 - Fases evolutivas para a sub-bacia evaporítica de Maceió.

6.3 - A gênese do sal

Os resultados analíticos para os teores de bromo e geoquímica orgânica apontam uma origem marinha para as salmouras responsáveis pela formação dos evaporitos Paripueira.

Conforme HUDEC & SONNENFELD (1989) a relação Na/Cl na água do mar é de 0,559 e, na halita, essa mesma relação é de 0,648. Os resultados analíticos das halitas do PP-III mostram teores praticamente constantes para sódio e cloro (Fig. 6.4), tornando coerente a relação acima mencionada.

Os teores de bromo encontrados para os evaporitos Paripueira são compatíveis para halitas de origem marinha e apresentam, em média, uma concentração de 69 ppm. Contudo, alguns pesquisadores advertem que os teores de bromo em halita, isoladamente, não podem ser considerados como um indicador preciso da origem marinha ou não marinha desses depósitos, a exemplo de HARDIE (1984) que chama a atenção para evaporitos não marinhos contendo concentrações de Br^- superiores a 100 ppm.

Porém, associando os resultados para teores de bromo aos de geoquímica orgânica e análise petrográfica das rochas carbonáticas, a origem marinha desses depósitos é incontestável.

Fig. 6.8 - Variações dos teores de cloro e sódio nas halitas analisadas.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.J.A. & POTTER, P.E. - 1990 - Tipos e distribuição de porosidade nos arenitos do Membro Maceió, Cretáceo da Bacia de Sergipe/Alagoas, NE do Brasil. Bol. Geoc. PETROBRÁS, 4(3):315-336.
- ALGER, R.P. & CRAIN, E.R. - 1966 - Defining deposits with electrical well logs. Ed. Schlumberger Well Surveying Corporation, Texas, 35 p.
- ALMEIDA, T.I.R.; FLORENCIO, C.P. & MOREIRA, M.Z. - 1992 - Composição isotópica de carbonatos e matéria orgânica dos evaporitos Paripueira, Região de Maceió, Bacia Sedimentar de Sergipe/Alagoas. Boletim IG-USP, publ. especial, 12:5-6.
- ASMUS, H.E. - 1975 - Controle estrutural da deposição mesozóica nas bacias da margem continental brasileira. Rev. Bras. Geoc., v.5, p.160-175.
- ASMUS, H.E.; PORTO, R. - 1972 - Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: Congr. Bras. Geol., 26, Anais... Belém, SBG, v.II, p.67-90.
- ASMUS, H.E. & PORTO, R. - 1980 - Diferença nos estágios iniciais da evolução da margem continental brasileira: possíveis causas e implicações. In: Congr. Bras. Geol., 31, Anais..., Camboriú, SBG, v.1, p.225-239.
- BAAR, C.A. - 1977 - Applied salt-rock mechanics 1. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. Trad. livre cap.2-4 por Leopoldo Barreto, PETROMISA, inédito, 83 p.
- BEIN, A.; HOVORKA, S.D.; FISHER, R.S.; ROEDDER, E. - 1991 - Fluid inclusions in bedded permian halita, Palo-Duro Basin, Texas: evidence for modification of seawater in evaporite brine-pools and subsequent early diagenesis. Journal of Sedimentary Petrology, 61(1):1-14.

- BLANC-VALLERON, M.M., GELY, J.P., SCHULER, M., DANY, F., ANSART, M. - 1991 - La matière organique associée aux évaporites de la base du Sel IV (Oligocène inférieur) du bassin de Mulhouse (Alsace, France). Bulletin Soc. Géol. France, 162(1):113-122.
- BLATT, H.; MIDDLETON, G.; MURRY, R. - 1980 - Origin of sedimentary rocks. Prentice-Hall Inc.(eds.), New Jersey, USA, 782p.
- BOSELLINI, A. & HARDIE, L.A. - 1973 - Depositional theme of a marginal marine evaporite. Sedimentology, 20:5-27.
- BRAITSCH, O. - 1971 - Salt deposits their origin and composition. Ed. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 297p.
- BRÜNING, I.M.R.A. - 1984 - Análises cromatográficas. In: Geoquímica do Petróleo, PETROBRÁS/CENPES, p. 139-143.
- BUTLER, G.P. - 1969 - Modern evaporite deposition and geochemistry of coexisting brines, the sabkha, Trucial Coast, Arabian Gulf. Journal Sedimentary Petrology, 39(1):70-89.
- CALDAS, E.B. & FLORENCIO, C.P. - 1992 - A idade dos evaporitos Paripuera na região de Maceió, Bacia Sedimentar de Sergipe/Alagoas. In: Simp. sobre bacias cretácicas brasileiras, 2, Rio Claro, res. expandidos, UNESP, p. 22-24.
- CALDAS, E.B. & FLORENCIO, C.P. - 1995 - Palinomorfos dos folhelhos do intervalo evaporítico do Membro Maceió - Fm. Muribeca, Bacia de Sergipe/Alagoas. Revista de Geologia, Univ. Federal do Ceará, (no prelo).
- CARVALHO, R.S. - 1987a - O uso de marcos litológicos no estudo de bacias evaporíticas. In: Congr. Bras. Paleontol., 10, resumo das comunicações, Rio de Janeiro, p.71.
- CARVALHO, R.S. - 1987b - Sedimentação evaporítica. In: Seminário sobre "rifts" intracontinentais. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, p.52-57.

- CARVALHO, R.S.; SIMÕES, I.A.; TIBANA, P.; LEITE, D.C. - 1974 - Evaporitos de Sergipe - Geologia e Geoquímica. PETROBRÁS, Rel. interno - Projeto Evaporitos, Aracaju, v.I, 155p.
- CERQUEIRA, R.M.; CHAVES, A.P.V.; PESSOA, A.F.C.; MONTEIRO, J.L.A. - 1982 - Avaliação geológica da Bacia Evaporítica de Taquari-Vassouras. PETROMISA, rel. interno, Aracaju, v.1, 127p.
- CERQUEIRA, R.M.; PEREIRA, J.C.; PESSOA, A.F.C. - 1986 - Jazida de potássio de Santa Rosa de Lima (SE). Geologia e avaliação de reservas. In: Congr. Bras. Geol., 34, Anais... Goiânia, SBG, v.5, p.2168-2181.
- CHANG, H.K. & KOWSMANN, R.O. - 1986 - Espessura crustal da Bacia de Sergipe/Alagoas. In: Congr. Bras. Geol., 34, Goiânia, Anais..., SBG, v.1, p.110-121.
- CHANG, H.K. & KOWSMANN, R.O. - 1987 - Interpretação genética das sequências estratigráficas das bacias da margem continental brasileira. Rev. Bras. Geoc., 17(2):74-80.
- COUTINHO, M.G.D. & FERNANDES, G. - 1973 - Análise geológica e petrográfica comparativa da Silvinita de Carmópolis - SE e Matarandiba - BA. In: Congr. Bras. Geol., 27, Aracaju, Anais... Aracaju, SBG, v.II, p.247-266.
- DAVIS JR., R.A. - 1983 - Depositional systems - a genetic approach to sedimentary geology. Prentice-Hall, 669 p.
- DIDYK, B.M.; SIMONEIT, B.R.T.; EGLINTON, S.C.B.G. - 1978 - Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentations. Nature, 272:216-222.
- DUNHAN, J.B. - 1962 - Classification of carbonatic rocks according to depositional texture. In: HAM, W.E. (ed.) Classification of carbonatic rocks: a symposium. Tulsa, AAPG Memoir 1, p. 108-121.

- ETCHEBEHERE, M.L.C. - 1991 - Evaporitos continentais: aspectos relevantes para exploração mineral. Publ. IPT, São Paulo, boletim 59.
- EVANS, R. - 1978 - Origin and significance of evaporites in basins around atlantic margin. AAPG Bulletin, 62(2):223-234.
- FEIJÓ, F.J. - 1980 - Estudo dos carbonatos Muribeca e Riachuelo no Alto de Aracaju - Bacia Sergipe/Alagoas - Nordeste do Brasil. In: Congr. Bras. Geol., 31, Santa Catarina, Anais... Santa Catarina, SBG, 1:320-332.
- FEIJÓ, F.J. - 1994 - Bacias de Sergipe e Alagoas. Bol. Geoc. PETROBRÁS, 8(1):149-161.
- FIGUEIREDO, A.M.F. - 1979 - Early post-rift salt sequences represent deposition in shallow marine and supratidal flat environment. PETROBRÁS, relatório interno, 51 p.
- FIGUEIREDO, A.M.F. & GABAGLIA, G.P.R. - 1986 - Sistema classificatório aplicado às bacias sedimentares brasileiras. Rev. Bras. Geociências, 16(4):350-369.
- FLORENCIO, C.P. - 1995 - Aspectos petrográficos do intervalo salífero da sub-bacia evaporítica de Maceió. In: XVI Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife-PE, resumos expandidos, 14(1):376-378.
- FOLK, R.L. - 1962 - Spectral subdivision of limestone types. In: HAM, W.E. (ed.) Classification of carbonatic rocks: a symposium. Tulsa, AAPG Memoir 1, p. 62-84.
- FOLK, R.L. - 1974 - Petrology of sedimentary rocks. Hemphills, Austin, Texas, 170 p.
- FONSECA, J.C. - 1973 - Evaporitos de Sergipe. In: Congr. Bras. Geol., 27, Aracaju, Anais... Aracaju, SBG, v.II, p.185-246.

- FRANCOLIN, J.B.L. & SZATMARI, P. - 1987 - Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. Rev. Bras. Geoc., 17(2):196-207.
- FRANK, M.R. & BEMERGUY, I. - 1972 - Critérios para utilização de perfis em poços de petróleo. In: Cong. Bras. Geologia, 26, Belém, Anais... Belém, SBG, v. III, p. 191-204.
- HARDIE, L.A. - 1984 - Evaporites: marine or non-marine? Am. Jour. Science, 284:193-240.
- HERBIN, J.P.; MULLER, C.; GRACIANSKY, P.C.; JACQUIN, T.; MAGNIER-JANNIN, F.; UNTERNEHR, P. - 1987 - Cretaceous anoxic events in the South Atlantic. Rev. Bras. Geoc., 17(2):92-99.
- HERRMANN, A. G. - 1972 - Bromine distribution coefficients for halite precipitated from modern sea water under natural conditions. Contr. Mineral. and Petrol., 37:249-252.
- HITE, R.J. - 1970 - Shelf carbonate sedimentation controlled by salinity in the Paradox Basin, Southeast Utah. In: III Symp. on Salt, Ohio, 1:48-66.
- HITE, R.J. & JAPAKASETR, T. - 1979 - Potash deposits of the Khorat Plateau, Thailand and Laos. Economic Geology, 74:448-458.
- HOLLAND, H.D. - 1972 - The geologic history of sea water - in attempt to solve the problem. Geochimica Cosmochimica Acta, 36:637-651.
- HOLLAND, H.D. - 1974 - Aspects of the geologic history of seawater. In: Origins of Life, D. Reidel Publ. Co., p. 87-91.
- HOLSER, W.T.; WARDLAW, N.C.; WATSON, D.W. - 1972 - Bromide in salt rocks: extraordinarily low content in the lower Elk Point Salt, Canada. In: Geology of saline deposits. Proc. Hanover Symp., 1968, Earth Sciences, 7:69-75.

- HORITA, J.; FRIEDMAN, J.; LAZAR, B.; HOLLAND, H.D. - 1991 - The composition of Permian seawater. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 55:417-432.
- HUDEC, P.P. & SONNENFELD, P. - 1989 - Comparison of composition and concentration of some lagoonal and continental brine lakes. *Sedimentary Geology*, 64:265-270.
- KING, R.H. - 1947 - Sedimentation in Permian Castile Sea. *AAPG Bulletin*, 31:470-477.
- KIRKLAND, D. W. & EVANS, R. - 1981 - Source-rock potential of evaporitic environment. *AAPG Bulletin*, 65:181-190.
- KOMOV, I.L.; LUKASHEV, A.N.; KOPLUS, A.V. - 1987 - Geochemical methods of prospecting for nonmetallic minerals. VNU Science Press., Netherlands, 241p.
- LANA, M.C. - 1985 - Rifteamento na Bacia de Sergipe-Alagoas, Brasil. Dissertação de mestrado, Univ. Fed. Ouro Preto, 124p.
- LANA, M.C. - 1990 - Bacia de Sergipe-Alagoas: uma hipótese de evolução tectono-sedimentar. In: Origem e evolução de bacias sedimentares, PETROBRÁS, Rio de Janeiro, p.311-332.
- LANA, M.C. & MILANI, E.J. - 1986 - A microplaca do nordeste brasileiro - um elemento dinâmico do rifteamento cretácico inferior. In: Cong. Bras. Geol., 34, Anais... Goiânia, v.3, p. 1131-1144.
- LISBOA, M.A.; ABUD, J.; SANTANA, G.; ARAUJO, C.S.; BARBOSA, B.M. - 1973 - Análise química dos evaporitos de Sergipe. In: Congr. Bras. Geol., 27, Aracaju, Anais... Aracaju, SBG, v.II, p.267-286.
- MATTHEWS, R.D. - 1977 - Evaporite cycles and lithofacies in Lucas Formation, Detroit River Group, Devonian, Midland, Michigan. In: Reefs and Evaporites, by AAPG, Oklahoma, USA, 5:73-91.

- MELO, P.R.C. - 1986 - Lavra por dissolução subterrânea: aspectos geológicos e ambientais. Rel. interno, Salgema Mineração, inédito, Maceió, 18p.
- MELO, P.R.C & FLORENCIO, C.P. - 1995 - Geologia e mineração da jazida de sal-gema de Maceió. In: XVI Simpósio de Geologia do Nordeste, Recife-PE, resumos expandidos, 14(1):106-109.
- NURMI, R.D. - 1978 - Use of well logs in evaporite sequences. In: Marine evaporites. SEPM Short Course, Oklahoma, 4:144-176.
- OGIENKO, V.S. - 1959 - Distribution of bromine in the rock salt of Angara-Lena Salt Basin and the possibility of finding potassium salts. Geochemistry, 8:893-900.
- OJEDA, H.A.O. - 1981 - Estrutura, estratigrafia e evolução das bacias marginais brasileiras. Rev. Bras. Geoc., 11(4): 257-273.
- OJEDA, H.A.O. & FUGITA, A.M. - 1974 - Bacia Sergipe/Alagoas, geologia regional e perspectivas petrolíferas. In: Congr. Bras. Geol., 28, Porto Alegre, Anais... Porto Alegre, SBG, v.I, p.137-158.
- PARRISH, J.T. & BARRON, E.J. - 1986 - Paleoclimates and economic geology. SEPM, Short Course, 18:123-133.
- PETRI, S.; COIMBRA, A.M.; AMARAL, G.; OJEDA, H.O.; FÚLFARO, V.J.; PONÇANO, W.L. - 1986a - Código Brasileiro de nomenclatura estratigráfica. Rev. Bras. Geoc., 16(4):372-376.
- PETRI, S.; COIMBRA, A.M.; AMARAL, G.; PONÇANO, W.L. - 1986b - Guia de nomenclatura estratigráfica. Rev. Bras. Geoc., 16(4):376-415.
- PILOT, J. - 1974 - Les isotopes en géologie (méthodes et applications). Ed.Doin, Paris, 176p.

- PONTE, F.C.; DAUZACKER, M.V.; PORTO, R. - 1978 - Origem e acumulação de petróleo nas bacias sedimentares brasileiras. In: Cong. Bras. de Petróleo, 1, Anais... Rio de Janeiro, v.2, p. 121-147.
- PONTES, C.E.S.; CASTRO, F.C.C.; RODRIGUES, J.J.G.; ALVES, R.R.P.; CASTELLANI, R.T.; SANTOS, S.F.; MONIS, M.B. - 1991 - Reconhecimento tectônico e estratigráfico da Bacia Sergipe-Alagoas. In: Congr. Int. de Geofísica, 2, Salvador, SBGf, Res. Expandidos, v.2, p.638-643.
- RAUP, O.B. - 1970 - Brine mixing: an additional mechanism for formation of Basin Evaporites. In: Origin of Evaporites, by AAPG, Oklahoma, USA, 2:2246-2259.
- RAUP, O.B. - 1982 - Gypsum precipitation by mixing seawater brines. AAPG Bulltin, 66(3):363-367.
- RAUP, O.B. & HITE, R.J. - 1978 - Bromine distribution in marine halite rocks. In: Marine evaporites - SEPM Short Courses IV, Oklahoma, p.105-123.
- REGALI, M.S.P. - 1989 - A idade dos evaporitos da plataforma continental do Ceará, Brasil, e sua relação com os outros evaporitos das bacias nordestinas. Bol.IG-USP, pub. esp., São Paulo, 7:139-143.
- REGALI, M.S.P.; UESUGUI, N.; SANTOS, A.S. - 1974 - Palinologia dos sedimentos Meso-Cenozóico do Brasil. Bol. Téc. PETROBRÁS, 17(3):177-191.
- REGALI, M.S.P. & VIANA, C.F. - 1989 - Sedimentos do Neojurássico-Eocretáceo do Brasil: idade e correlação com a escala internacional. Rio de Janeiro, Ed. Gávea, PETROBRÁS, 95P.
- RENFRO, A.R. - 1974 - Genesis of evaporite - associated stratiform metalliferous deposits - a sabkha process. Economic Geology, 69:33-45.

- RICHNER, D.R.; SHOCK, D.; AHLNESS, J.K.; TWEETON, R.; LARSON, W.C.; MILLENACKER, J.; SCHMIDT, R.D. - 1992 - Solution Mining: in situ techniques. In: Mining Engineering Handbook. Howard L. Hartman, Senior Editor, 2nd. Ed., Vol. 2, Colorado.
- RICHTER-BERNBURG, G. - 1972 - Sedimentological problems of saline deposits. In: Geology of Saline deposits. Proc. Hanover Symp., 1968, Earth Sciences, 7:33-39.
- RODRIGUES, R.; AQUINO NETO, F.R.; CARDOSO, J.N. - 1984 - Indicadores geoquímicos moleculares (biomarcadores) aplicados à exploração de petróleo. In: Geoquímica do Petróleo, PETROBRÁS/CENPES, p.157-190.
- RODRIGUES, R. & TAKAKI, T. - 1987 - O Cretáceo Inferior nas bacias sedimentares da costa sudeste do Brasil: análise isotópica e suas implicações paleoambientais. Rev. Bras. Geoc., 17(2):177-179.
- ROUCHY, J.M.; BERNET-ROLLANDE, M.-C.; MAURIN, A.-F. - 1986 - Pétrographie descriptive des évaporites: applications sur le terrain en subsurface et au laboratoire. In: Technip, ed. Les séries a évaporites en exploration pétroliere, v.1, Méthodes Géologiques, p.72-122.
- SACKETT, W.M. - 1964 - The depositional history and isotopic organic carbon composition of marine sediments. Marine Geology, 2:173-185.
- SCHALLER, H. - 1969 - Revisão estratigráfica da Bacia Sergipe/Alagoas. Bol. Téc. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, v.12(1):21-86.
- SCHLUMBERGER - 1969 - Log interpretation principles. Ed. Schlumberger Limited, Texas, 110p.
- SCHMALZ, R.F. - 1969 - Deep-water evaporite deposition: a genetic model. AAPG Bulletin, 54:2151-2169.

- SCRUTON, P.C. - 1953 - Deposition of evaporites. AAPG Bulletin, 37:2498-2512.
- SELLEY, R.C. - 1988 - Applied Sedimentology. Ed. Academic Press, London, 446 p.
- SHEARMAN, D.J. - 1978 - Evaporites of coastal sabkhas. In: Marine evaporites- SEPM short course n.4, Oklahoma, p.6-42.
- SOLDAN, A.L.; SANTOS NETO, E.V.; CERQUEIRA, J.R.; CONCHA, F.J.M.; CASTELO BRANCO, V.A.; ARAI, M. - 1988 - Hidropólise: uma nova ferramenta para o estudo do processo de maturação. Bol. Geoc. PETROBRÁS, 2(1):65-76.
- SOMBRA, C.L. - 1990 - O papel da história de soterramento na evolução da porosidade de arenitos (bacias marginais brasileiras). Bol. Geoc. PETROBRÁS, 4(4):413-428.
- SONNENFELD, P. - 1984 - Brines and evaporites. Ed. Academic Press, USA, 613p.
- SONNENFELD, P. - 1992a - Genesis of marine evaporites - a summation. Geologica Carpathica, 43(5):259-274.
- SONNENFELD, P. - 1992b - Chemical facies of marine evaporites. Geologica Carpathica, 43(1):3-14.
- STEWART, F.H. - 1963 - Marine evaporites. USGS Prof. Paper 440-Y, p.1-52.
- SZATMARI, P.; CARVALHO, R.S.; SIMÕES, I.A. - 1979 - A comparison of evaporite facies in the Late Paleozoic Amazon and the Middle Cretaceous South Atlantic Salt Basins. Economic Geology, 74:432-447.
- TEIXEIRA, A.A. - 1967 - Campo do Tabuleiro dos Martins. Coletânea de rel. de exploração, PETROBRÁS, 1(3):41-69.
- TEIXEIRA, A.A., SALDANHA, L.A.R. - 1968 - Bacia salífera aptiana de Sergipe/Alagoas: ocorrência de sais solúveis. Bol. Téc. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 11(2):221-230.

- TEN HAVEN, H.L.; LEEUW, J.W.; RULLKOTTER, J.; DAMSTÉ, J.S.S. - 1987 - Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a palaeoenvironmental indicator. *Nature*, 330:641-643.
- TUCKER, M.E. - 1988 - Evaporites. In: Blackwell Scientific Publ. (ed.). *Sedimentary petrology an introduction*, p.158-173.
- UESUGUI, N. - 1987 - Posição estratigráfica dos evaporitos da Bacia de Sergipe/Alagoas. *Rev. Bras. Geoc.*, 17(2):131-134.
- VALYASHKO, M.G. - 1956 - Geochemistry of bromine in the processes of salt deposition and the use of the bromine content as a genetic and prospecting criterion. *Geochemistry*, 6:570-589.
- VALYASHKO, M.G. - 1972 - Playa Lakes - a necessary stage in the development of a Salt-Bearing basin. In: *Geology of saline deposits. Proc. Hanover Symp., 1968, Earth Sciences*, 7:41-51.
- VIANA, C.F. - 1986 - Evolução paleoambiental eocretácica nas bacias marginais do Brasil. In: *Congr. Bras. Geol.*, 34, Goiânia, Anais... Goiânia, SBG, 1:1-7.
- WARREN, J.K. & KENDALL, C.G.ST.C. - 1985 - Comparison of sequences formed in marine sabkha (subaerial) and salina (subaqueous) settings - modern and ancient. *AAPG Bull.*, 69(6):1013-1023.