

Ismael Rempto Esteves Junior

**Fácies evaporíticas no intervalo Alagoas (Aptiano/Albiano,
Cretáceo Inferior) em bacias do interior do Nordeste**

Trabalho Final de Curso

(Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009



Ismael Rempto Esteves Junior

Fácies evaporíticas no intervalo Alagoas (Aptiano, Cretáceo Inferior) em bacias do interior do Nordeste

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Leonardo Borghi

Rio de Janeiro
Julho de 2009

Ismael Rempto Esteves Junior

FÁCIES EVAPORÍTICAS NO INTERVALO ALAGOAS (APTIANO/ALBIANO,
CRETÁCEO INFERIOR) EM BACIAS DO INTERIOR DO NORDESTE

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador:
Leonardo Borghi

Aprovada em: 20 jul. 2009
Por:



Orientador: Leonardo Borghi (UFRJ)



Carlos Jorge de Abreu (UFRJ)



Mauro Torres Ribeiro (OGX)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009

A Carlos Eduardo de Azevedo.

Agradecimentos

Ao Programa de Capacitação de Recursos Humanos em geologia do petróleo (Convênio PRH-ANP/MCT nº 18) da Agência Nacional de Petróleo (ANP) pela concessão da bolsa e auxílio financeiro à pesquisa.

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed), pela infraestrutura necessária à pesquisa.

Ao Departamento Nacional de Produção Mineral (4º Distrito do DNPM/ PE) pelo acesso aos testemunhos de sondagem.

À minha família, sempre presente e apoiando.

À Alice Vanzan Pires, namorada e amiga, sem a qual nada aconteceria.

Ao meu orientador e amigo Leonardo Borghi pela confiança e disposição em ajudar na elaboração do presente trabalho.

A todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

*Tudo deveria ser feito da forma mais
simples possível, não mais que isso.*

(Albert Einstein)

Resumo

Esteves Jr., Ismael Rempto. **Fácies evaporíticas no intervalo Alagoas (Aptiano/Albiano, Cretáceo Inferior) em bacias do interior do Nordeste. 2009.** 35f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O presente trabalho procura caracterizar litofácies evaporíticas, no intervalo deposicional referente ao Andar Alagoas (Aptiano/Albiano, Cretáceo Inferior), nas bacias do Araripe e Parnaíba, com a finalidade de contribuir para um melhor entendimento das rochas evaporíticas associadas à fase salífera (Golfo) e contribuir para o entendimento do intervalo salífero, não só nas bacias estudadas, mas também servindo como analogia para outras bacias, sobretudo de margem continental. Foram descritos testemunhos de quatro poços (1-UN24-PI e 1-UN32-PI, na bacia do Parnaíba; I-PS11-CE e C4-Ouricuri-PE, na bacia do Araripe), em escala 1:40. Quarenta e uma amostras foram adquiridas para descrição megascópica, das quais foram confeccionadas vinte e oito lâminas petrográficas para descrição de estruturas e texturas em escala microscópica. Na caracterização faciológica foram identificadas 5 fácies evaporíticas (Gp, gipsita prismática; Gn, nódulos de gipsita; Gf, gipsita fibrosa; Gpn, pseudonódulos de gipsita e Gm, gipsita em mosaico), organizadas em sucessões faciológicas que forneceram a possibilidade de identificação de superfícies de discordância (carstificação), limitando momentos de interrupção na precipitação evaporítica e possivelmente exposição dos mesmos, o que aponta para a possibilidade de distinção de diferentes fases de sedimentação nas bacias.

Palavras-chave: Formação Codó; Membro Ipubi; evaporitos; Aptiano; Andar Alagoas.

Abstract

Esteves Jr., Ismael Rempto. **Evaporitic facies in the Alagoas interval (Aptian/Albian, Lower Cretaceous) in inland basins of northeast. 2009.** 35f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This work aims to characterize evaporitic litofacies, in the depositional interval relative to the local Alagoas Stage (Aptian/Albian, Lower Cretaceous), in the Parnaíba and the Araripe basins, of the better understanding of the evaporites rocks associated to Salt Phase (Gulf) and the relative time interval, either in the studied basin and as analogies to other basins, mostly in continental margin. Cores from four well logs were described faciologically (1-UN24-PI e 1-UN32-PI, in the Parnaíba basin; I-PS11-CE and C4-Ouricuri-PE, in the Araripe basin), in 1:40 scale. Fourty one samples were obtained for megascopic description, of which twenty eight were sectioned for petrographic description of textures and structures in microscopic scale. Then were recognized 5 evaporitic facies (Gp, prismatic gypsum; Gn, nodular gypsum; Gf, fibrous gypsum; Gpn, pseudonodular gypsum and Gm, mosaics of gypsum), organized in faciologic suceccion that allowed the identification of unconformity of karstification, marking breaks in the evaporitic precipitation and its possible exposition, which points to the possibility of distintion of diferent sedimentation phases in the basins.

Key-words: Codo Formation; Ipubi Member; evaporites; Aptian; Alagoas.

Lista de figuras

- Figura 1** – Mapa de localização das bacias do Parnaíba e Araripe e dos seus respectivos poços estudados.
- Figura 2** – Mapa de localização da bacia do Araripe na Zona Transversal da Província Borborema (MOURA, 1996).
- Figura 3** – Mapa estrutural da bacia do Araripe (Ponte e Ponte-Filho, 1996).
- Figura 4** – Diagrama estratigráfico simplificado da bacia do Araripe (PONTE, 1992)
- Figura 5** – Representação esquemática dos ambientes deposicionais das diversas “fases” (~fácies) evaporíticas do paleolago associado à sedimentação do Membro Ipubi na bacia do Araripe (SILVA, 1988).
- Figura 6** – Diagrama estratigráfico simplificado da bacia do Parnaíba (modificado de VAZ *et al.*, 2007).
- Figura 7** – Unidades geotectônicas da Província Parnaíba (PEDREIRA, 2003).
- Figura 8** – Modelo deposicional proposto para as áreas de Grajaú e Codó (ROSSETTI *et al.*, 2006).
- Figura 9** – Fácies gipsita prismática (Gp). (A) Aspecto geral da fácies Gp em amostra de mão. (B) Figura mostrando crescimento alinhado de gipsita colunar (WARREN, 2005). (C) Fotomicrografia de gipsita prismática (luz refletida). (D) Fotomicrografia de gipsita prismática (luz transmitida, NX).
- Figura 10** – Fácies gipsita ou anidrita nodular (Gn). (A) Aspecto geral da fácies Gipsita ou anidrita nodular (Gn). (B) Fotomicrografia mostrando detalhe da massa carbonática e dos nódulos de gipsita (luz refletida). (C) Fotomicrografia de roseta de gipsita (luz refletida). (D) Fotomicrografia de nódulos de gipsita imersa em matriz lamosa rica em carbonatos (luz transmitida, NX).
- Figura 11** – Fácies gipsita fibrosa (Gf). (A) Aspecto geral da fácies Gf. (B) Fotomicrografia mostrando em detalhe gipsita fibrosa/satinspar em contato com matriz formada por material terrígeno e carbonatos (luz refletida). (C) Fotomicrografia de gipsita fibrosa em contato brusco com material terrígeno (luz transmitida, NX). (D) Fotomicrografia de gipsita fibrosa e acicular (luz transmitida, NX).

Figura 12 – Fácies gipsita em mosaicos (Gm). (A) Aspecto geral da fácies Gm. (B) Fotomicrografia mostrando em detalhe os nódulos de gipsita envoltos por massa branca carbonática (luz refletida). (C) Fotomicrografia de largos mosaicos de gipsita possuindo inclusões de material terrígeno e calcitas (luz transmitida, NX). (D) Fotomicrografia mostrando nódulos de gipsita em matriz terrígeno carbonática (luz transmitida, NX).

Figura 13 – Fácies Gipsita pseudonodular (Gpn). (A-B) Aspectos gerais da fácies Gpn. (C) Fotomicrografia de gipsita alabastrina envolta por mosaicos de gipsita (luz transmitida, NX). (D) Fotomicrografia de gipsita alabastrina (base) e fibrosa (parte superior) (luz transmitida, NX). (E) Fotomicrografia mostrando aspecto geral da subfácies Gpn-f (luz refletida). (F) Fotomicrografia de pequenos mosaicos (gipsita alabastrina) e largos mosaicos de gipsita separados por um veio de gipsita fibrosa com orientação vertical (luz transmitida, NX).

Figura 14 - Perfis litológicos 1-UN32-PI e 1-UN24-PI, Formação Codó – bacia do Parnaíba.

Figura 15 - Perfis litológicos dos poços 1-PS11-CE e C4, Formação Santana – bacia do Araripe.

Lista de quadros

Quadro 1 - Fases evaporíticas (~ fácies sedimentares) na bacia do Araripe segundo Silva (1983, 1988).

Quadro 2 - Síntese das associações de fácies na área de Codó (ROSSETTI *et al.*, 2001).

Quadro 3 - Síntese das características faciológicas área do Grajaú (modificado de ROSSETTI *et al.*, 2004).

Quadro 4 - Síntese fases petrográficas evaporíticas da Formação Codó (PAZ e ROSSETTI, 2006)

Quadro 5 - Correlação entre as fácies e fases evaporíticas descritas nas bacias do Parnaíba e Araripe.

Sumário

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
<i>Abstract</i>	viii
Lista de figuras.....	ix
Lista de quadros.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 MATERIAL E MÉTODO.....	3
3 CASOS DE ESTUDO.....	4
3.1 Bacia do Araripe.....	4
3.1.1 Contexto geológico.....	4
3.1.2 Membro Ipubi.....	6
3.2 Bacia do Parnaíba.....	9
3.2.1 Contexto geológico.....	9
3.2.2 Formação Codó.....	11
4 CARACTERIZAÇÃO DE FÁCIES EVAPORÍTICAS.....	17
4.1 Fácies Gp.....	18
4.2 Fácies Gn.....	20
4.3 Fácies Gf.....	22
4.4 Fácies Gm.....	24
4.5 Fácies Gpn.....	26
5 SUCESSÕES FACIOLÓGICAS.....	28
6 CONCLUSÕES.....	32
7 Referências bibliográficas.....	33

1 INTRODUÇÃO

O intervalo estratigráfico de transição conhecido como “Fase do Sal” (ou do Golfo), da abertura do oceano Atlântico Sul, correspondente ao Andar Alagoas (Cretáceo Inferior), apresenta uma série de problemas sedimentológicos e estratigráficos mal compreendidos nas bacias da Margem Continental Leste, os quais vêm se revelando frente às discussões geológicas sobre as recentes descobertas de petróleo no pacote “Pré-sal”, nele contido. Nesse intervalo, as rochas evaporíticas presentes tanto em bacias “offshore”, na margem continental (subsuperfície), quanto em “onshore”, em especial nas bacias interiores do Nordeste, despertaram pouco interesse geológico do ponto de vista da Sedimentologia, em contraponto aos muitos estudos sobre tectônica salífera (halocinese) e sismoestratigrafia para a exploração de hidrocarbonetos. O fator motivador do presente estudo, decorre do amplo material e oportunidade de trabalho voltado para o conveniente estudo sedimentológico, em particular de fácies sulfatadas, o qual as bacias do Parnaíba e Araripe oferecem. Recentemente foi publicada a obra *Sal: Geologia e Tectônica, Exemplos nas Bacias Brasileiras* (MOHRIAK *et al.*, 2008), a qual se baseia em modelos atuais de bacias salíferas e nas bacias da Margem Continental Brasileira, mas, contudo, apresenta poucos exemplos de modelos de deposição de fácies sulfatadas, em contraponto ao registro de cloretos.

Na bacia do Parnaíba, o conhecimento do registro da sedimentação evaporítica, implica diretamente no fomento de sua exploração, onde se insere em um intervalo com possibilidade de geração, muito embora não haja reservatórios conhecidos nesse intervalo. Já na bacia do Araripe, registros análogos e correlacionáveis permitem a análise de modelos geológicos em escala regional.

Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo a caracterização faciológica de evaporitos em escala macroscópica apoiada na identificação de texturas e

estruturas em escala microscópica e interpretar paleoambientes de sedimentação evaporíticos e seu contexto em termos de sistemas deposicionais, a fim de compreender o evento de sedimentação salífera, não só nas bacias estudadas, mas também nas bacias da Margem Leste brasileira.

2 MATERIAL E MÉTODO

O estudo envolveu a descrição faciológica dos intervalos evaporíticos de testemunhos de quatro poços (Figura 1), sendo dois na bacia do Parnaíba (1-UN24-PI e 1-UN 32-PI)*¹, e dois na bacia do Araripe (1-PS11-CE*², C4-Ouricuri-PE*³), nos quais se procederam descrições megascópicas, fotografções e aquisição de 41 amostras. Foram descritos 80m de testemunhos (5cm de diâmetro) em escala 1:40.

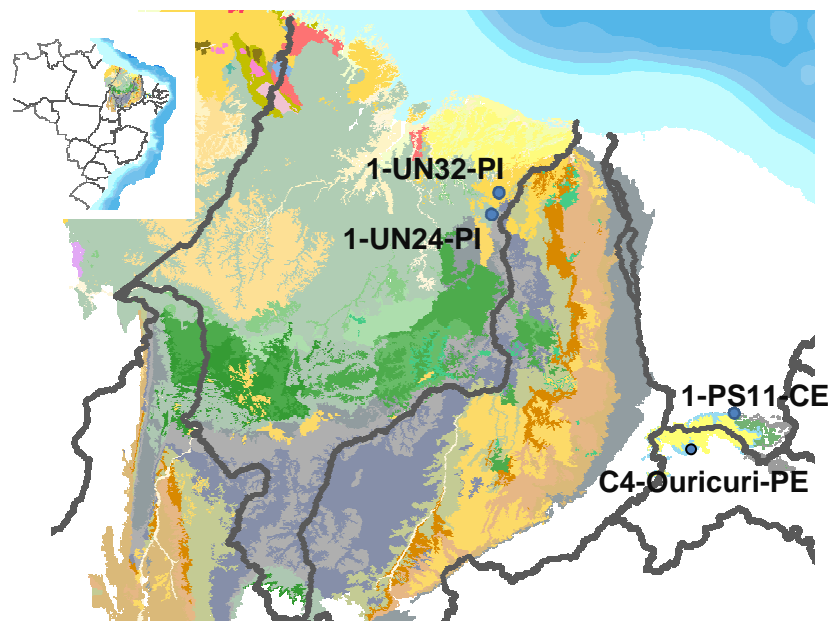


Figura 1 – Mapa de localização dos poços: 1-UN24-PI e 1-UN32-PI, na bacia do Parnaíba, e 1-PS11-CE e C4 na bacia do Araripe.

Os perfis estratigráficos originados da descrição dos testemunhos foram digitalizados no programa AppleCORE v.9.4d e as amostras foram descritas megascopicamente, com auxílio do estereomicroscópio (Zeiss Stemi 2000-C). Foram confeccionadas 28 lâminas petrográficas para a caracterização microscópica de texturas e estruturas evaporíticas, usando microscópio de luz transmitida polarizada (Zeiss Imager – A1), buscando reconhecer feições

*1 – Projeto Carvão na Bacia do Parnaíba (CRUZ *et al.*, 1973; LEITE *et al.*, 1975) ; *2 – Projeto Santana (SCHEID *et al.*, 1978); *3 - Mina São Jorge – Ouricuri - PE

sedimentares e diagenéticas (texturas e estruturas), em complemento à caracterização de fácies. O estudo de fácies e a comparação com estudos anteriores nas bacias permitiram interpretações paleoambientais.

3 CASOS DE ESTUDO

3.1 Bacia do Araripe

3.1.1 Contexto geológico

A bacia do Araripe ocupa uma região extensa (mais de 8.000 km²) na região de fronteiras dos estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Piauí, com espessura máxima em seu depocentro ultrapassando 1,7 km. O embasamento da bacia é constituído por rochas da Província Borborema (ou Região de Dobramentos Nordeste), feição tectônica pré-cambriana com estruturação bastante complexa. Dentre os principais sistemas de fraturas que ocorrem na região Nordeste do Brasil, vale destacar a Zona Transversal, que é uma extensa zona de falhamentos e alinhamentos estruturais E-W, que se estendem desde a região litorânea dos estados da Paraíba e Pernambuco até a parte oriental do Estado do Piauí, onde é recoberta pelos sedimentos da bacia do Parnaíba. A bacia do Araripe é delimitada a Sul pelo lineamento Pernambuco, enquanto que, a Norte, pelo lineamento Patos ou da Paraíba (PONTE e PONTE-FILHO, 1996) (Figura 2).

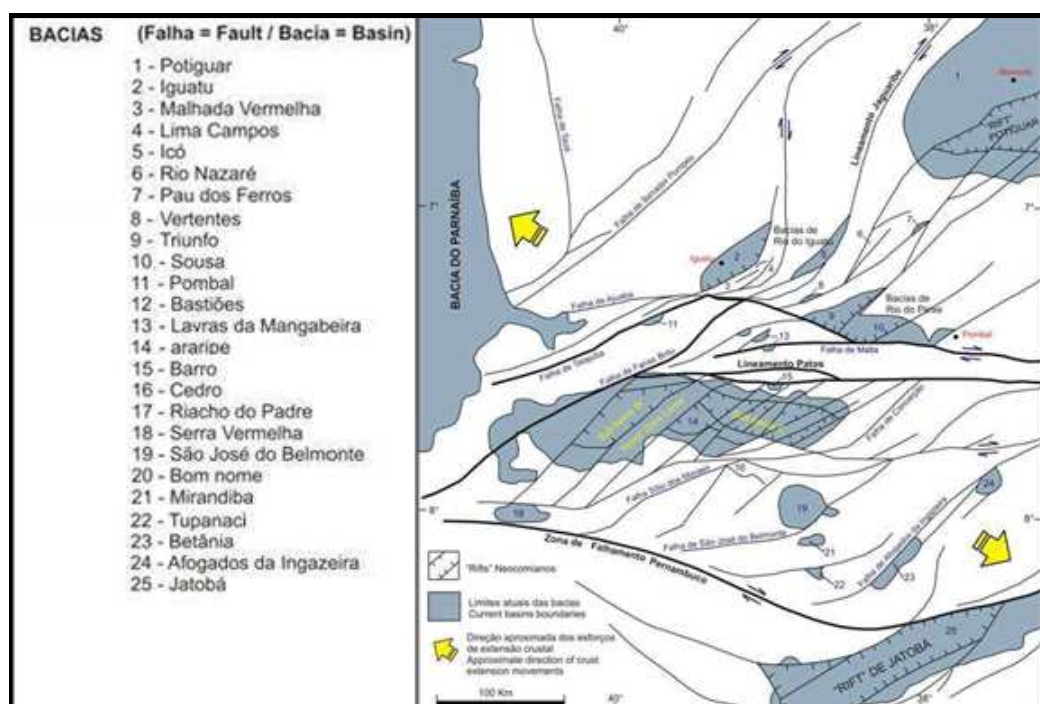


Figura 2 - Mapa regional de controle estrutural da bacia do Araripe (MOURA, 2005). Observar as falhas lineamento Pernambuco a Sul e Patos ou Paraíba a Norte que limitam a bacia.

Um alto estrutural denominado horste Dom Leme divide-a em duas sub-bacias: Cariri (ou Leste) e Feitoria (ou Oeste). A estruturação geral da bacia é dominada por lineamentos NE-SW, exceto pela sub-bacia do Cariri, que possui uma estruturação NW-SE, representada por um gráben delimitado pelas falhas de Porteira e Missão Velha (Figura 3).

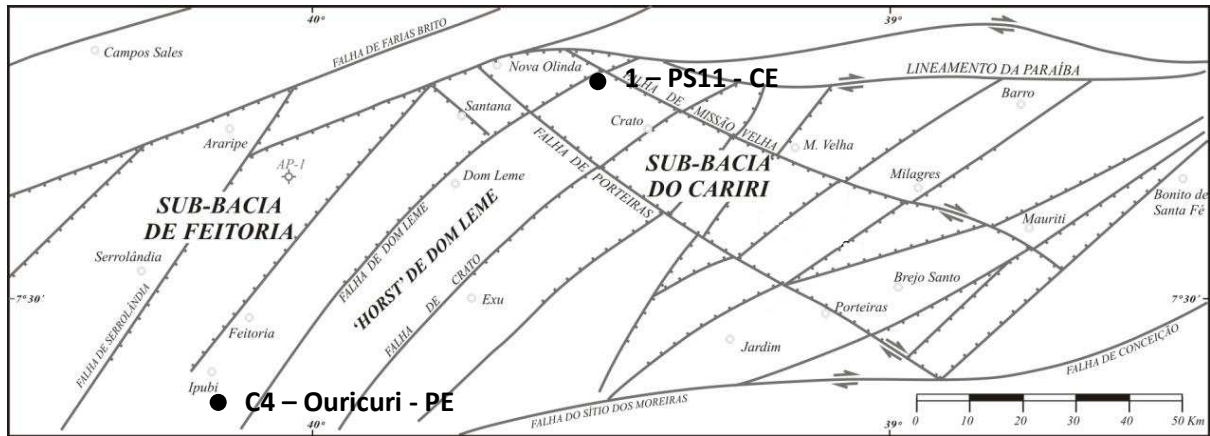


Figura 3 - Mapa estrutural da bacia do Araripe (PONTE e PONTE-FILHO, 1996). Observar a localização dos poços estudados, que situam-se em duas sub-bacias (Cariri e Feitoria).

Estratigraficamente, a bacia é dividida em três intervalos (Figura 4): (1) Pré-rifte, de idade Dom João (Neojurássico), constituído pelos depósitos lacustres da Formação Brejo Santo e flúvio-eólicos da Formação Missão Velha; (2) Sin-rifte, de idade Rio da Serra (Neocomiano), por sedimentos flúvio-lacustres da Formação Abaiara; e (3) Pós-rifte, constituído pelos depósitos flúvio-lacustres da Formação Rio da Batateira (Andar Alagoas, Aptiano), transicionais a marinho raso das formações Santana (Andar Alagoas, Aptiano/Albiano) e Arajara (Albiano) e pelos sedimentos fluviais da Formação Exu de idade Cenomaniano (q.v. PONTE, 1992).

GEOCRONOL.		CRONO-/LITOESTRATIGRAFIA		Sequências	Sistemas Depositionais	
CRETÁCEO	Cenom.	Fm. Exu		PÓS-RIFTE	Fluvial entrelaçado e meandrante	
	Albiano	Fm. Arajara			Mb. Romualdo	Transicional e marinho raso
		Fm. Santana	Mb. Ipubi			
	Aptiano	Mb. Crato		Fm. Rio da Batateira	Flúvio lacustre carbonático	
		Neocomiano - Barremiano	Fm. Abaiara			RIFTE
	Jurássico	Fm. Missão Velha		Fm. Brejo Santo	PRÉ-RIFT	Lacustre raso, fluvial e eólico
Paleozóico? Mesozóico?		Fm. Mauriti/Cariri				

Figura 4 – Diagrama estratigráfico simplificado da bacia do Araripe (modificado de PONTE, 1992). O intervalo de estudo corresponde ao Membro Ipubi, destacado em verde, da Formação Santana.

3.1.2 Membro Ipubi

A Formação Santana compreende três membros: (1) Crato, composto por calcários laminadosossilíferos na base e folhelhos cinza e castanho escuros no topo (PONTE e APPI, 1996). O paleoambiente do Membro Crato é interpretado por Silva (1983) como partes centrais de um paleolago batizado como “Lago de Araripe”; (2) Membro Ipubi, rochas evaporíticas (gipsita e anidrita) de ambiente tipo *playa lake* (SILVA, 1983; 1988) e (3) Romualdo, composto por nódulos calcários, folhelhos, margas e lentes de arenito. Omembro Romualdo é interpretado como um novo ciclo paleodeposicional lacustre na bacia.

Estudando estratigraficamente o Andar Alagoas da bacia do Araripe, no qual os evaporitos sob estudo inserem-se, Moura (2007) verificou a evolução de um sistema lacustre

aberto para um fechado, sob clima árido. Ainda no andar Alagoas, o intervalo superior da Formação Santana é interpretado por Moura e Borghi (2005) como deltaico-lacustre/marinho. Os evaporitos da Formação Santana foram datados por Regali (1989) com base em palinomorfos, atribuindo uma idade neoptiana (Zona *Sergipea Variverrucata* P-270). O Membro Ipubi é um intervalo de 30 m de espessura máxima, de aspecto tabular, composta principalmente de gipsita e anidrita (SILVA, 1983, 1988), e representa o principal registro geológico do máximo de aridez. Este membro se assenta de maneira concordante sobre folhelhos ricos em algas e carbonatos e, em sua parte superior, apresenta uma superfície de dissolução, que é reconhecida de duas formas diferentes através da bacia: na parte Sul apresenta-se como uma paleotopografia cárstica nas camadas de gipsita e, a Norte, apresenta-se principalmente como camadas de calcrete (SILVA, 1986). A presença de relevo cárstico e calcrete tem diferentes implicações, onde o primeiro indica em condições úmidas e, o segundo, seco (WRIGHT, 1980 *apud* SILVA, 1988). O desenvolvimento da camada de calcrete após o episódio de carstificação sugere que o clima da bacia passou de árido/semiárido na deposição dos evaporitos, para úmido durante o episódio de carstificação e retornou a seco nesse evento.

Segundo Silva (1983, 1988), a história sedimentar e tectônica da bacia do Araripe, envolvendo soterramento e soerguimento, ocasionou uma série de mudanças mineralógicas e texturais nos evaporitos. Esta autora reconhece sete “fases” evaporíticas, sendo quatro primárias e três secundárias (Quadro 1), as quais podem ser entendidas como fácies sedimentares. As “fases” primárias encontradas apontam para (i) a formação de cristais de gipsita dentro de esteiras algálicas; (ii) formação de nódulos de anidrita em sedimentos do tipo *sabkha*; (iii) formação de anidrita laminar em um sedimento micrítico de ambiente subaquoso e (iv) precipitação de cristais de gipsita colunares em salinas. Na bacia do Araripe, os evaporitos foram aparentemente soterrados a uma profundidade de 350 a 380 metros;

portanto, a gipsita primária encontrava-se dentro de seu campo de estabilidade (q.v. SILVA, 1983, 1988). Entretanto, casos de gipsita secundária foram encontrados, como sendo resultado da transformação das variedades de gipsita primária. Durante o Eocretáceo, a bacia do Araripe esteve hidrologicamente confinada, limitando o afluxo de águas fluviais que, aliado a um clima predominantemente semiárido, estabeleceu condições propícias à formação de um lago salino. Formou-se, então, um ambiente do tipo *playa lake*, onde a precipitação acontece em salinas e em planícies do tipo *sabkha* (Figura 5).

Quadro 1 – “Fases” evaporíticas (~ fácies sedimentares) na bacia do Araripe, segundo Silva (1983, 1988).

“FASES” PRIMÁRIAS	AMBIENTES SEDIMENTARES
Cristais de gipsita colunares	Salinas com profundidades rasas (< 5 m)
Pseudomorfos de gipsita lenticular	<i>Sabkhas</i> , diagênese contemporânea à sedimentação
Nódulos de anidrita	<i>Sabkhas</i> , crescimento dentro de sedimento matriz
Anidrita laminar	Ambiente subaquoso, formação de anidrita em um sedimento micrítico
“FASES” SECUNDÁRIAS	AMBIENTE DIAGENÉTICO
Gipsita porfiroblástica	Diagênese tardia, remobilização de sais
Gipsita alabastrina	Recristalização de gipsita porfiroblástica
Espato cetinado (<i>satin spar</i>)	Preenchimento de fraturas, excesso de sulfato de cálcio

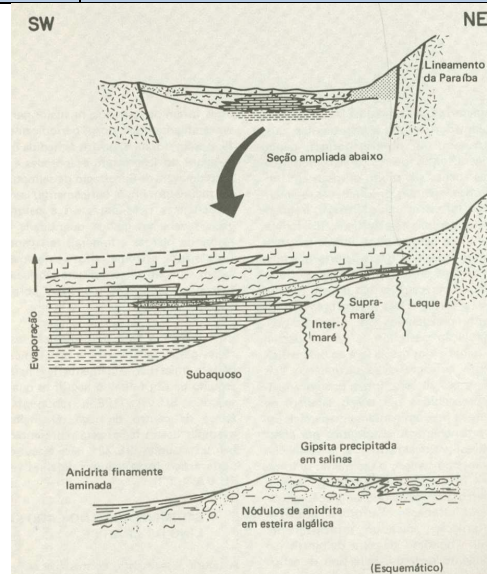


Figura 5 – Representação esquemática dos ambientes deposicionais das diversas “fases” (~fácies) evaporíticas do paleolago associado à sedimentação do Membro Ipubi na bacia do Araripe (SILVA, 1988).

3.2 Bacia do Parnaíba

3.1.1 Contexto geológico.

A bacia do Parnaíba localiza-se na região Nordeste do Brasil, abrange os estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, além de partes dos estados do Pará, Ceará e Bahia, ocupando uma área de aproximadamente 600.000 km², com espessura sedimentar máxima em seu depocentro ultrapassando 3,5 km. Limita-se geologicamente a norte pelo Arco Ferrer-Urbano Santos, que a separa das bacias costeiras de São Luís e Barreirinhas; a noroeste, pelo Arco Tocantins e pela Fossa de Marajó e a Sul e Sudeste por extensões de coberturas de idade pré-cambriana correlatas à Faixa Brasília, chamadas de “bacia de São Francisco”, e a “bacia dos Lençóis”.

A coluna estratigráfica da bacia pode ser dividida em cinco sequências deposicionais (Figura 6): Siluriana, composta pelo Grupo Serra Grande; Mesodevoniana – Eocarbonífera, pelo Grupo Canindé; Neocarbonífera-Eotriássica, correspondente ao Grupo Balsas; Jurássica, composta apenas pela Formação Pastos Bons; Cretácea, composta pelas formações Corda, Grajaú, Codó e Itapecuru. Incluem-se ainda na coluna estratigráfica as formações Mosquito e Sardinha, relacionadas a vulcanismos durante o Jurássico e Cretáceo, respectivamente (VAZ *et al.*, 2007).

Devido à dificuldade de se compreender o quadro tectono-sedimentar no contexto de uma única bacia, Góes (1995) propõe sua divisão da então chamada Província Parnaíba em quatro unidades geotectônicas (Figura 7): bacia do Parnaíba, composta pelos grupos Serra Grande, Canindé e Balsas (GÓES E FEIJÓ, 1994); bacia de Alpercatas, formações Pastos Bons, Corda, Mosquito e Sardinha; bacia do Espigão Mestre, composta por arenitos eólicos em discordância sobre a bacia do Parnaíba; e bacia de São Luis-Grajaú, relacionada a esforços durante a fragmentação do paleocontinente Gondwana. A bacia do Grajaú é separada da bacia

de São Luís pelo Arco Ferrer-Urbano Santos, porém este não exerce nenhuma influência sobre a continuidade da sedimentação entre as duas bacias (GÓES e ROSSETTI, 2001).

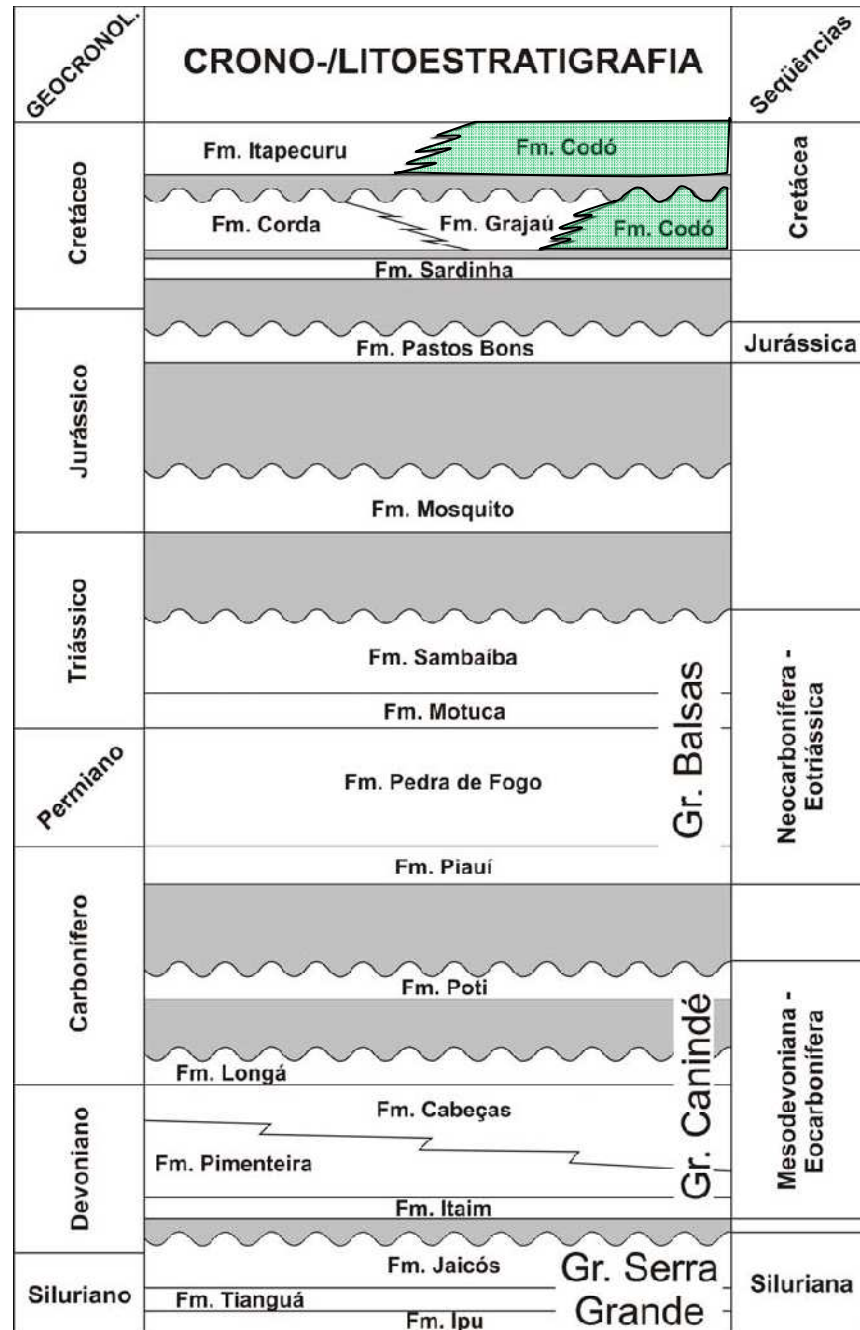


Figura 6 – Diagrama estratigráfico simplificado da bacia do Parnaíba (modificado de VAZ *et al.*, 2007). O intervalo de estudo corresponde à Formação Codó, destacado em verde no diagrama.



Figura 7 – Unidades geotectônicas da Província Parnaíba (PEDREIRA, 2003)

3.1.1 A Formação Codó

A formação Codó é composta por folhelhos negros, rochas evaporíticas (gispita e anidrita) e calcários, interpretados como proveniente de paleoambiente lacustre.

Os depósitos cretácicos da Formação Codó na área de Codó (MA) foram estudados por Paz e Rossetti (2001), onde foram reconhecidas treze fácies, organizadas em três associações de fácies, interpretadas como pertencentes a um paleolago (Quadro 2). Segundo

estes autores, a fácies de evaporito (E) formou-se no intervalo sedimento/salmoura nas áreas centrais do paleolago, o que é evidenciado pela intercalação com folhelhos negros. A presença frequente de inclusões de folhelhos nos minerais evaporíticos sugere que parte deles tenham se precipitado dentro de um sedimento matriz.

Quadro 2 – Síntese das associações de fácies na área de Codó (PAZ e ROSSETTI, 2001).

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	FÁCIES	PROCESSO SEDIMENTAR
AF1 - Lago Central	Folhelho negro (F)	Deposição por suspensão sob condições anóxicas
	Evaporito (E)	Precipitação química e remobilização de sais
AF2 - Lago Transicional	Argilito laminado (Al)	Deposição a partir de suspensão
	Mudstone calcífero (Mc)	Desagregação de componentes orgânicos(?)
	Calcário mesocristalino (Cc)	Precipitação inorgânica sindeposicional de CaCO_3 (?)
	Calcáreo peloidal (Cp)	Deposição de restos orgânicos e micritização
AF3 - Lago Marginal	Pelito maciço (Pm)	Pedogênese
	Gipsita-arenito (G)	Retrabalhamento de grãos de gipsita e, possivelmente, oncolitização
	Calcáreo ostracoidal (Co)	Deposição de coquinas de ostracodes
	Calcáreo pisoidal (Cp)	Precipitação de CaCO_3 bio-induzida (?), com episódios de abrasão
	Tufa (T)	Precipitação de CaCO_3 induzida por cianobactérias
	Calcita arenito (Ca)	Retrabalhamento de grãos de calcita
	Ritmito de calcáreo/folhelho (R)	Deposição ritmica de calcáreo por desagregação de componentes orgânicos e folhelho por suspensão

Na área de Grajaú, Rossetti *et al.* (2004) dividem as fácies sedimentares da Formação Codó em três grupos: evaporitos, calcários e argilitos (Quadro 3). Entre os evaporitos, a gipsita laminada (G1) é a fácies dominante, consistindo na alternância de camadas claras e

escuras variando de poucos milímetros a 15 cm de espessura, nas quais as escuras são formadas por cristais e nódulos de gipsita distribuídos dentro de uma matriz de folhelho negro e as camadas claras são cristais de gipsita orientados verticalmente para cima, formando planos gêmeos. A gipsita maciça/macronodular (Gm) forma corpos sem estrutura que estão em contato brusco ou gradam lateralmente para a gipsita laminada. A fácies gipsarenito (Gy) está entre as camadas de gipsita laminada formando camadas de poucos centímetros de grãos de gipsita que representam retrabalhamento de cristais de gipsita.

Quadro 3 – Síntese das características faciológicas área do Grajaú (modificado de ROSSETTI *et al.*, 2004).

EVAPORITOS	DESCRIÇÃO FACIOLÓGICA	INTERPRETAÇÃO PALEODEPOSICIONAL
Evaporitos	Gl gipsita laminada	Deposição em painéis salinas marginais e <i>mudflats</i>
	Gm gipsita maciça/macronodular	
	Gy gipsarenito	
Calcáreos	Mm <i>mudstone</i> maciço	Ambientes de baixa energia, rasos, distantes de um influxo terrígeno com exposição subaérea periódica
	Mpl <i>mudstone-packstone</i> laminado	
	T tufa	
	Bls <i>boundstone</i> laminado, estromatolítico	
	B brecha	
Argilitos	Al argilito laminado	Deposição por suspensão em Ambientes de baixa energia
	Am argilito maciço	
	Sb folhelho negro	

Paz e Rossetti (2006a) reconheceram através de análise petrográfica, com base em morfologia e relações entre cristais, oito fases de formação de evaporitos, nas áreas de Grajaú e Codó (Quadro 4).

Quadro 4 – Síntese fases petrográficas evaporíticas da Formação Codó segundo Paz e Rossetti (2006a)

FASES EVAPORÍTICAS	INTERPRETAÇÃO DEPOSICIONAL/DIAGENÉTICA
Gipsita em chevron	Precipitação em ambiente subaquoso com lamina d'agua < 2 m
Gipsita nodular	Crescimento de nódulos em poros na zona capilar ou freática
Gipsita fibrosa ou acicular	Substituição de gipsita em chevron no inicio da diagênese
Gipsita em mosaico	Substituição de anidrita/gipsita nos primeiros estágios diagenéticos
Gipsita brechada	Exposição subaérea
Gipsita pseudo-nodular	Estágio tardio da diagênese, mobilização de soluções sulfatadas
Gipsita em rosetas	Estágio final da diagênese, águas intraestratais ou águas superficiais

A gipsita em chevron de Paz e Rossetti (2006a) representa a camada clara da fácies gipsita laminada de Rossetti *et al.* (2004). Forma planos gêmeos com seu eixo maior orientado verticalmente, intercaladas com camadas de gipsita nodular que representa a camada escura da fácies gipsita laminada e, segundo estes autores, cresce dentro de um sedimento matriz, sendo derivados de fluidos supersaturados nos poros da zona capilar ou freática, implicando em momentos de rebaixamento do nível d'água e eventual exposição subaérea. A gipsita fibrosa e a gipsita em mosaico ocorrem como uma fase inicial de substituição da gipsita em chevron e nodular, respectivamente, durante os primeiros estágios diagenéticos das camadas de gipsita laminada. Ocorrem, ainda, entre as camadas de gipsita laminada, gipsarenito, relatando momentos de lamina d'água muito baixa ou até mesmo exposição subaérea. Os psudonódulos de anidrita ou gipsita aparecem com uma fase de diagênese tardia, ligada à mobilização de soluções ricas em sulfatos e provavelmente associada à halocinese. O estágio final de formação de gipsita é designado de gipsita em rosetas, interpretada como sendo proveniente de soluções intraestratais ou de águas superficiais durante o intemperismo.

Utilizando testemunhos de sondagem, Mendes e Borghi (2005) descreveram 12 litofácies referentes à Formação Codó e interpretaram-nas como sendo pertencentes a um sistema lacustre e de *sabkha* continental. Mendes (2005, 2007) classifica como um ambiente de lagos salinos efêmeros e planícies tipo *sabkha* costeira o ambiente deposicional do intervalo evaporítico da Formação Codó.

Paz e Rossetti (2001, 2005, 2006a,b), Rossetti *et al.*(2000), Ramos *et al.* (2006), Paz *et al.*(2005) e Paz (2005) descrevem a Formação Codó na região de Codó como uma unidade formada predominantemente por ambientes lacustres, com ciclos de raseamentos ascendentes, com espessuras de 6 a 8 metros.

Rossetti *et al.* (2004); Paz e Rossetti (2006a) reconheceram através da análise faciológica da Formação Codó, na região de Grajaú, um ambiente salino, de baixa energia e águas muito rasas, com alternância de períodos de maior e menor afluxo de águas (Figura 8).

Paz (2005), com o propósito de melhor reconstruir o paleoambiente evaporítico da Formação Codó, utilizou métodos isotópicos sugerindo a origem não marinha para os evaporitos, através das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, que variaram de 0,70782 a 0,70928, consideradas altas para as razões esperadas oriundas do “Mar Neoptiano” e valores de $\delta^{34}\text{S}$ que também se apresentaram elevados, estando em total desarmonia com tais antigos mares.

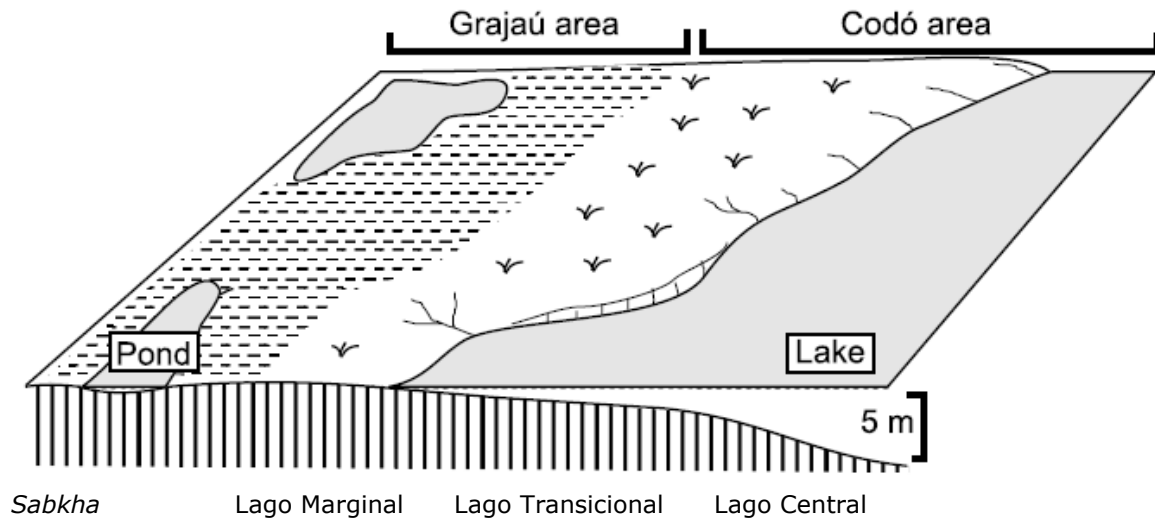


Figura 8 – Modelo deposicional proposto para as áreas de Grajaú e Codó (ROSSETTI *et al.*, 2006a). Observar a localização das partes do paleolago na área de Codó e o ambiente tipo *sabkha* na área de Grajaú.

5 CARACTERIZAÇÃO DE FÁCIES EVAPORÍTICAS

Foram identificadas cinco fácies evaporíticas, apoiadas com a análise de texturas e estruturas microscópicas. Destas, duas foram classificadas como primárias e quatro como diagenéticas. Todas as fácies são correlacionáveis às fácies evaporíticas já descritas nas bacias (Quadro 5).

Quadro 5 – Correlação entre as fácies e fases evaporíticas descritas nas bacias do Parnaíba e Araripe.

<i>Parnaíba</i>			<i>Araripe</i>	<i>Parnaíba/Araripe</i>	
<i>Paz & Rossetti, 2001</i>	<i>Rossetti et al., 2004</i>	<i>Rossetti et al., 2006^a</i>	<i>Silva, 1988</i>	<i>Este trabalho</i>	
Fácies evaporito (E)	Primárias	Gipsita laminada (Gl)	Gipsita colunar	Gipsita prismática (Gp)	
			Gipsita nodular	Pseudomorfos de gipsita lenticular	Gipsita ou anidrita nodular (Gn)
				Nódulos de anidrita	
	Gipsita fibrosa	Espato cetinado	Gipsita fibrosa (Gf)		
	Diagenética	Gipsita maciça (GM)	Gipsita em mosaico	Gipsita alabastrina	Gipsita em mosaicos (Gm)
			Gipsita pseudonodular	Gipsita porfiroblástica	Gipsita pseudonodular (Gps)
			Gipsita em rosetas		
—————	—————	Anidrita laminar			
Gipsarenito (G)	Gipsarenito (Gy)	Gipsita brechada ou gipsarenito			

4.1 Fácies Gp – *Gipsita prismática*

Diagnose – Sucessão de lâminas milimétricas de gipsita castanho escuro, castanho claro e branco com aspecto sacaroidal (Figura 9A).

Descrição – Cristais prismáticos, colunares, de gipsita, alinhados verticalmente, dispendo-se ortogonalmente ao plano de acamamento, formando uma espécie de zig-zag; as lâminas formadas por estes cristais são confinados por uma massa transparente criptocristalina (Figura 9C), ou material terrígeno, muitas vezes sem continuidade lateral.

Ao microscópio, os prismas ocorrem em contatos bruscos, separados em topo e base por gipsita criptocristalina, com aspecto sacaroidal (Figura 9D) e finas lâminas constituídas de material lamoso escuro.

Corresponde à “fase” gipsita colunar de Silva (1988), à gipsita em chevron de Paz e Rossetti (2006a) e à parte clara da fácies gipsita laminada de Rossetti *et al.* (2004).

Interpretação – Cristais colunares de gipsita são reflexo de crescimento em ambientes subaquosos, hipersalinos, com profundidades inferiores a 5m (SCHREIBER e EL TABAKH, 2000). Segundo Warren (2005), os cristais formam planos gêmeos, alinhados verticalmente com faces curvas, formando clivagens em vários ângulos (Figura 9B). Quando crescem empilhados, com ângulos agudos, estreitos, formam uma gipsita com aspecto prismático, chamada de *palmate gypsum*. Esta forma de gipsita muitas vezes é chamada de *pseudo-twin*.

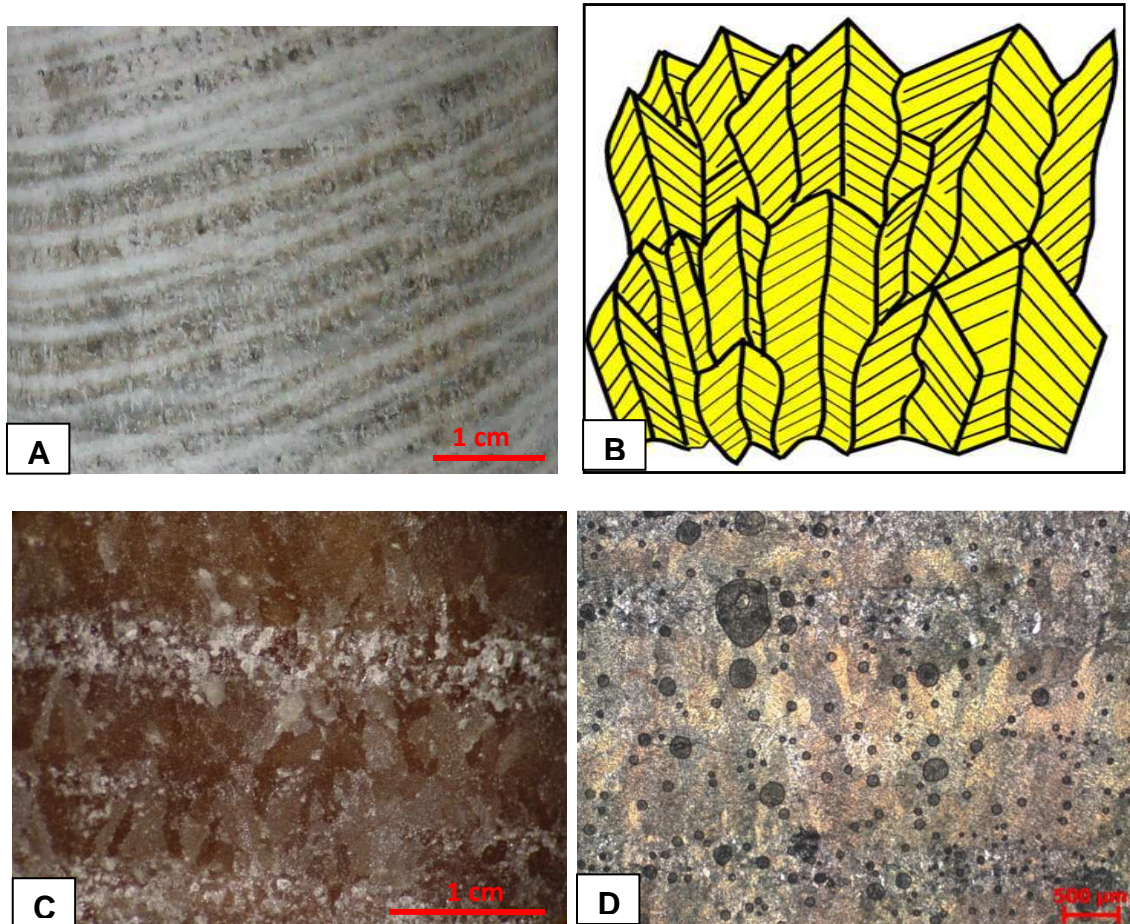


Figura 9 – Fácies gipsita prismática (Gp). (A) Aspecto geral da fácies Gp em amostra de mão. (B) Figura mostrando crescimento alinhado de gipsita colunar (WARREN, 2005). (C) Fotomicrografia de gipsita prismática (luz refletida). (D) Fotomicrografia de gipsita prismática (luz transmitida, NX).

4.2 Fácies Gn – *Gipsita ou anidrita nodular*

Diagnose – Nódulos milimétricos de gipsita de cor castanho claro, imersos em uma matriz calcilutítica (figuras 10A, B).

Descrição – Nódulos milimétricos de gipsita, separados por uma matriz lamosa rica em calcita, formando uma massa leitosa que, a olho nu, é responsável por uma coloração creme claro (Figura 10B).

Frequentemente o conjunto é interceptado bruscamente pelo crescimento de gipsita fibrosa, transparente, formando camadas de até dois centímetros de espessura. Nódulos maiores de gipsita, três centímetros, relacionados a crescimento de gipsita nodular em forma radial, também são encontrados espalhados por todos os intervalos em que a fácies aparece, conhecidos como rosetas ou rosas do deserto (Figura 10C).

Ao microscópio, os pequenos nódulos de gipsita apresentam-se com muitas inclusões de calcita micrítica, formando uma textura poiquilítica, limitados por uma matriz lamosa (terrígena). É possível observar que há formação de mosaicos de gipsita que ultrapassam os limites desses nódulos, os quais são observados por sua continuidade óptica (Figura 10D).

Esta fácies é correlacionável às “fases” anidrita nodular e de pseudomorfos de gipsita lenticular de Silva (1988), à parte escura da fácies gipsita laminada de Rossetti *et al.* (2004) e à gipsita nodular de Paz e Rossetti (2006a)

Interpretação – Segundo Yechieli e Wood (2002), nódulos de gipsita imersos em matriz carbonática, calcilutítica ou terrígena siliciclástica, têm sido interpretados como provenientes de ambiente tipo *sabkha*, continental ou costeira, onde os nódulos crescem dentro de uma matriz hospedeira na zona freática ativa, nos poros dos sedimentos anteriormente depositados que estão preenchidos por água supersaturada em sulfatos. Os intervalos onde há o crescimento de gipsita fibrosa são interpretados como crescimento posterior de gipsita em fraturas provocadas por pressão e desidratação de camadas inferiores de gipsita ou por águas

conatas ricas em sulfatos que, aproveitando planos de fraqueza, crescem em fibras que podem chegar até vinte centímetros.

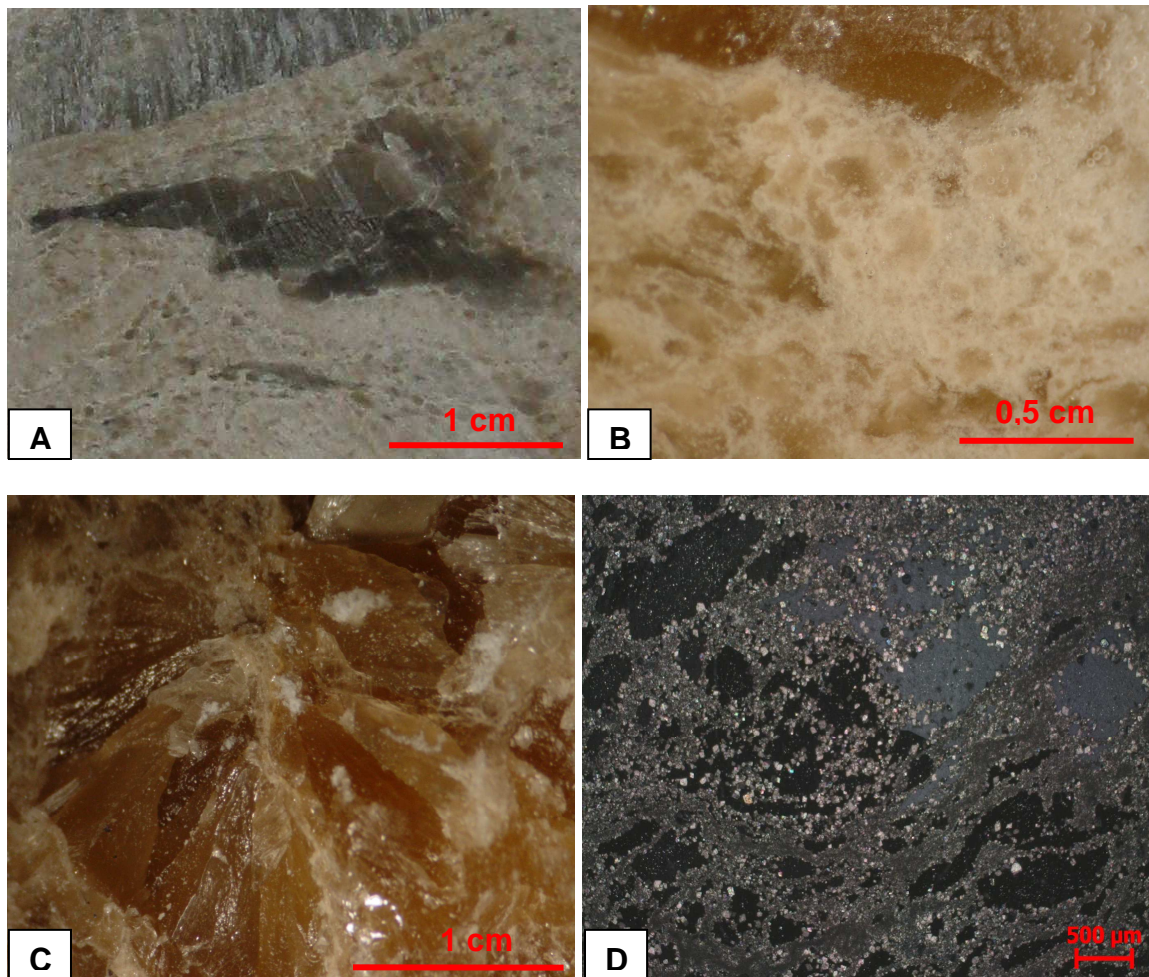


Figura 10 – Fácies gipsita ou anidrita nodular (Gn). (A) Aspecto geral da fácies Gipsita ou anidrita nodular (Gn). (B) Fotomicrografia mostrando detalhe da massa carbonática e dos nódulos de gipsita (luz refletida). (C) Fotomicrografia de roseta de gipsita (luz refletida). (D) Fotomicrografia de nódulos de gipsita imersa em matriz lamosa rica em carbonatos; notar a continuidade óptica dos mosaicos formando mosaicos de gipsita (luz transmitida, NX).

4.3 Fácies Gf – *Gipsita fibrosa*

Diagnose – Camadas de gipsita fibrosa que interceptam lama marrom escura, rica em carbonatos e lâminas compostas por nódulos de gipsita (Figura 11A).

Descrição – Gipsita fibrosa em camadas centimétricas, camadas compostas por nódulos translúcidos, milimétricos de gipsita, envoltos por lama marrom escura e massas sacaroidais brancas de calcita. Há momentos em que a parte fibrosa forma camadas pouco espessas, e encerram-se lateralmente, formando lentes, a gipsita fibrosa também possui inclusões centimétricas do material argiloso anteriormente citado.

Ao microscópio, é observada a presença de gipsita acicular (figuras 11C, D) e, subordinadamente, mosaicos de gipsita que muitas vezes extrapolam, em continuidade óptica, os limites desenhados pela presença de material carbonático e terrígeno, mostrando que sua formação é devida a processos diagenéticos posteriores à deposição.

Esta fácies foi interpretada por Paz e Rossetti (2006a) como fase secundária de gipsita crescendo em substituição à gipsita em chevron, incluída na parte clara da fácies gipsita laminada de Rossetti *et al.* (2004). Corresponde à facies Espato Cetinado de Silva (1988) na bacia do Araripe.

Interpretação – Segundo Warren (2005), a gipsita fibrosa (ou espato cetinado) é interpretada como preenchimento de fraturas em folhelhos e *mudstones*, próximos a unidades evaporíticas submetidas a movimentos provavelmente ligados tectônica (halocinese). Os cristais que preenchem as fraturas são alongados, com seu maior eixo axial perpendicular às paredes das fraturas. Gipsita fibrosa é comumente associada, mas não exclusivamente, com soerguimento tectônico e exumação de unidades evaporíticas.

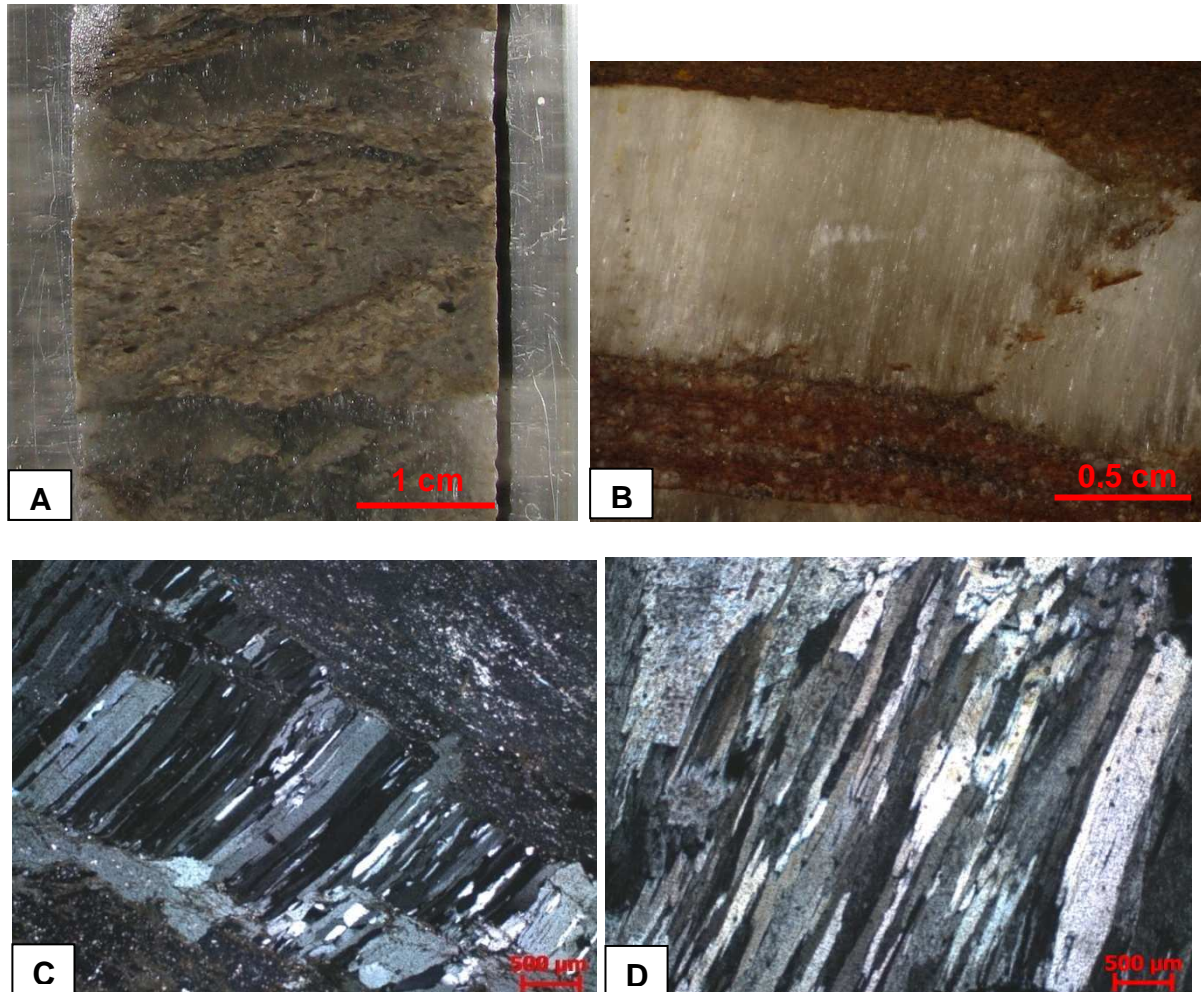


Figura 11 – Fácies gipsita fibrosa (Gf). (A) Aspecto geral da fácies Gf. (B) Fotomicrografia mostrando em detalhe gipsita fibrosa/satinspar em contato com matríz formada por material terrígeno e carbonatos (luz refletida). (C) Fotomicrografia de gipsita fibrosa em contato brusco com material terrígeno (luz transmitida, NX). (D) Fotomicrografia de gipsita fibrosa e acicular (luz transmitida, NX).

4.4 Fácies Gm – Gipsita em mosaicos

Diagnose – Intercalação de gipsita nodular, prismática, transparente e de uma massa leitosa clara com textura criptocristalina. O conjunto forma mosaicos e possui coloração cinza escuro (Figura 12A).

Descrição – Nódulos de gipsita de cor castanha claro a marrom, dividindo espaço caoticamente com aglomerados carbonáticos brancos, em contato brusco com gipsita fibrosa que está disposta em lentes horizontais a subhorizontais, e possui espessura máxima de um centímetro. O conjunto formado por aglomerados carbonáticos brancos e gipsita nodular de cor castanha é muito próximo daquele descrito na fácies Gn (Figura 12B, comparar com 10B), anteriormente descrita, sendo diferida desta por apresentar menor quantidade de material carbonático envolvendo os nódulos. Contudo, na presente fácies, a presença de lentes de gipsita fibrosa em meio ao conjunto supracitado e a cor cinza escuro predominante, fazem com que esta seja separada da fácies Gn.

Ao microscópio, são observados muitos mosaicos de gipsita (Figura 12C), possuindo inclusões de lama carbonática; e material terrígeno rico em calcita, separando os nódulos (Figura 12D). Esta fácies é petrograficamente correlacionável à gipsita em mosaico de Paz e Rossetti (2006)

Interpretação – Os nódulos de gipsita são interpretados como provenientes de crescimento em ambiente do tipo *sabkha* (WARREN, 2005). No entanto, diferentemente da fácies Gn anteriormente descrita, os nódulos desta fácies já estão em um estágio mais avançado de diagênese, sendo observada a sua substituição por mosaicos de gipsita. Durante a diagênese, houve fraturamento e crescimento de gipsita fibrosa formando lentes.

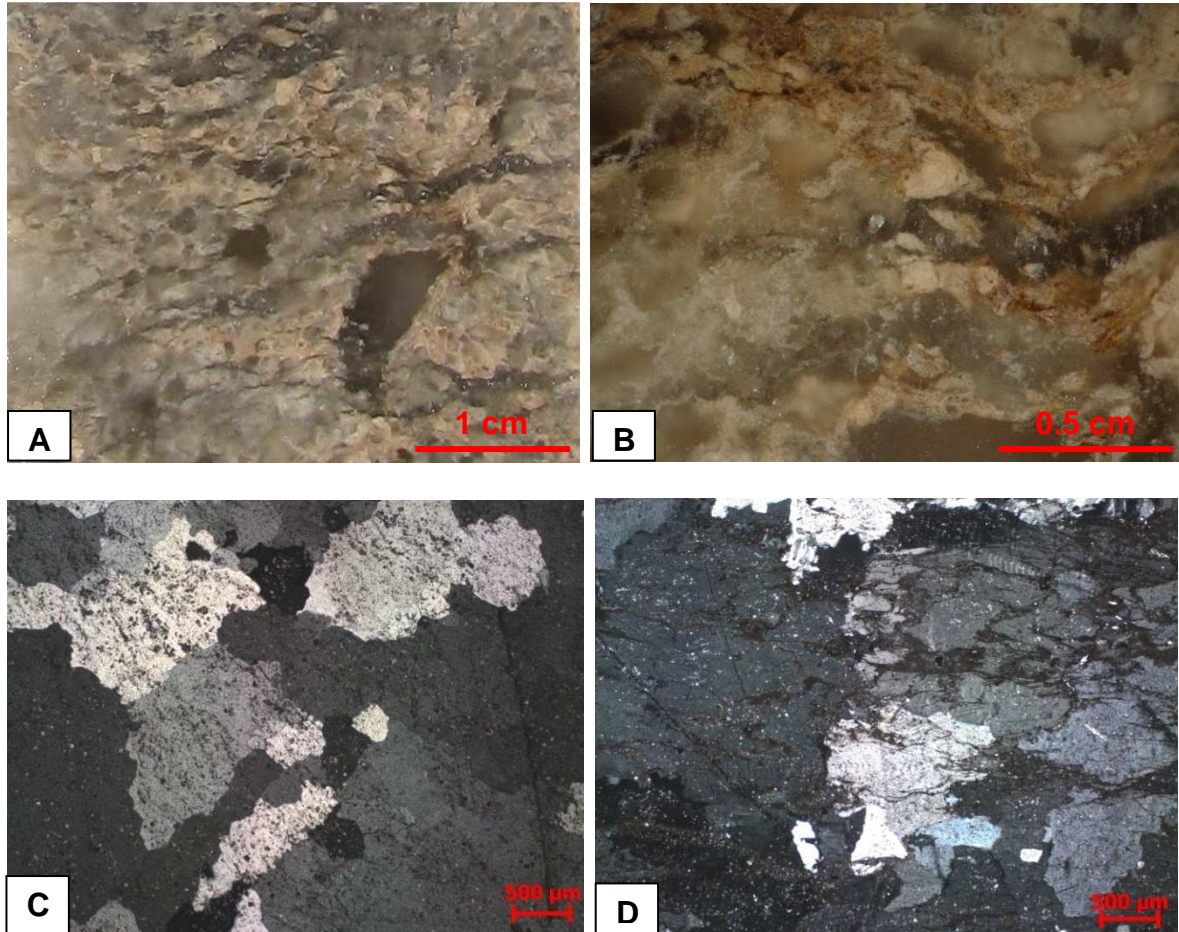


Figura 12 – Fácies gipsita em mosaicos (Gm). (A) Aspecto geral da fácies Gm. (B) Fotomicrografia mostrando em detalhe os nódulos de gipsita envoltos por massa branca carbonática (luz refletida). (C) Fotomicrografia de largos mosaicos de gipsita possuindo inclusões de material terrígeno e calcitas (luz transmitida, NX). (D) Fotomicrografia mostrando nódulos de gipsita em matriz terrígeno carbonática (luz transmitida, NX).

4.5 Fácies Gpn – *Gipsita pseudonodular*

Diagnose – Grandes cristais translúcidos de cor castanha claro a marrom formados por nódulos de gipsita e lentes de gipsita fibrosa (figuras 13A, B). Esta fácies apresenta uma variedade (subfácies Gpn(f)), na qual veios de gipsita fibrosa aparecem preenchendo fraturas (figuras 13 E, F).

Descrição – Gipsita formando cristais de poucos centímetros, prismáticos orientados em várias direções ou equidimensionais constituindo mosaicos com contato entre os grãos brusco e suturado. Lateralmente pode passar para gipsita criptocristalina, formando um agregado branco. Os cristais geralmente são límpidos, ou seja, sem inclusões e por vezes apresenta uma massa branca carbonática, misturada com uma lama marrom ao redor dos nódulos. Alguns cristais de gipsita fibrosa são observados formando lentes, geralmente relacionados às massas brancas anteriormente relatadas.

“Gipsita pseudonodular” é um nome dado por Paz e Rossetti (2006a), para relatar cristais límpidos, sem inclusões, de gipsitas formando grandes cristais. Corresponde faciologicamente à “fase” Gipsita Porfiroblástica de Silva (1988).

Ao microscópio, os nódulos de gipsita são compostos de gipsita alabastrina (Figura 13C, D) ou fibrosa/acicular (Figura 13D), nos quais a primeira é mais frequente e ocorre como pequenos mosaicos (Figura 13C); os cristais são totalmente limpos, ou seja, sem inclusões, salvo quando próximos às massas carbonáticas.

Interpretação – Pseudonódulos de gipsita ou gipsita porfiroblástica, representam a última fase de formação, relacionada à exumação do corpo sedimentar evaporítico exposto a temperaturas baixas e pressão próximas a atmosférica, adicionando um episódio de alteração textural e remobilização de sais. A dissolução parcial por águas meteóricas durante a exumação leva à formação de três texturas principais: *satín spar*; alabastrina e porfiroblástica

(WARREN, 2005). Nessa fácies, as feições primárias foram completamente perdidas, reforçando a interpretação de diagênese tardia.

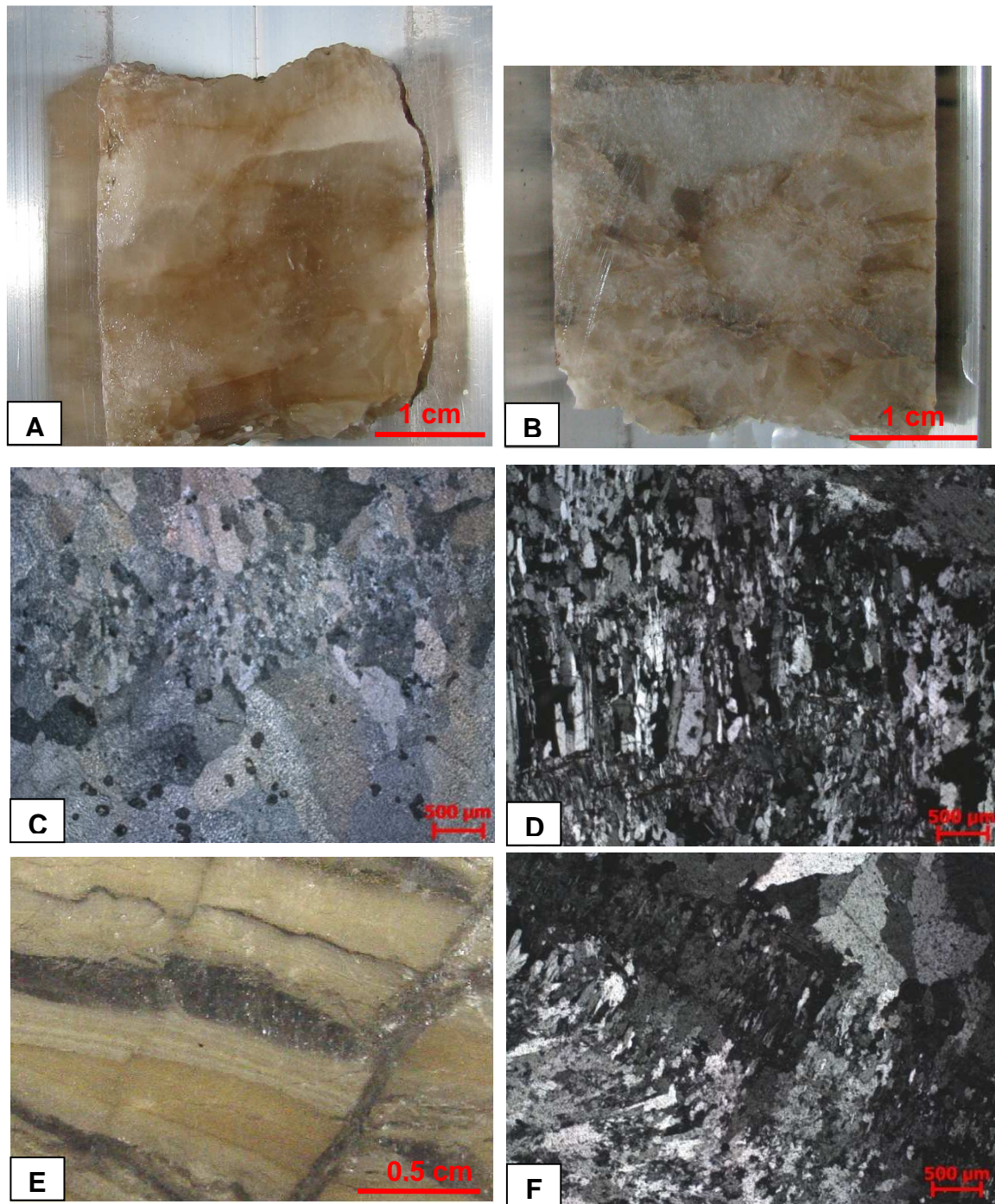


Figura 13 – Fácies Gipsita pseudonodular (Gpn). (A-B) Aspectos gerais da fácies Gpn. (C) Fotomicrografia de gipsita alabastrina envolta por mosaicos de gipsita (luz transmitida, NX). (D) Fotomicrografia de gipsita alabastrina (base) e fibrosa (parte superior) (luz transmitida, NX). (E) Fotomicrografia mostrando aspecto geral da subfácies Gpn-f (luz refletida). (F) Fotomicrografia de pequenos mosaicos (gipsita alabastrina) e largos mosaicos de gipsita separados por um veio de gipsita fibrosa com orientação vertical (luz transmitida, NX).

5 SUCESSÕES FACIOLÓGICAS

As fácies descritas foram organizadas nos perfis faciologicos (figuras 14 e 15), para o melhor entendimento do provável ambiente deposicional dos evaporitos.

A sucessão idealizada entre as fácies descritas seria correspondente às fácies: Gp/Gn (gipsitas que refletem à origem primária) → Gm (gipsitas formadas logo após a deposição, nos primeiros estágios diagenéticos) → Gpn/Gf (gipsitas formadas nos últimos estágios diagenéticos, por movimentos que levam a exumação dos corpos evaporíticos).

A exumação de corpos evaporíticos, transformando anidrita em gipsita pseudonodular, causa excesso de sulfato no sistema, levando ao crescimento de gipsita fibrosa nas fraturas dos materiais terrígenos próximos (WARREN, 2005). A gipsita fibrosa cresce nos sedimentos, os quais que refletem momentos de maior afluxo de água, indicando possíveis momentos de dissolução e, portanto, discordâncias nos evaporitos. Quando estão presentes as fácies gipsita em mosaico e gipsita primárias o processo diagenético não foi muito agressivo, resultando na falta de sulfato solto no sistema e, logo, da fácies gipsita fibrosa (Gf).

No poço 1-UN24-PI (Figura 14), a fácies gipsita em mosaicos (Gm) representa 20,6% dos evaporitos; a fácies gipsita fibrosa (Gf), 11%; gipsita pseudonodular (Gpn), 55,9 %; gipsita prismática (Gp), 5,9% e gipsita nodular (Gn), 6,6%. Duas possíveis discordâncias foram marcadas, uma acima da fácies gipsita fibrosa (Gf) (prof. 146,65 m) e outra acima da fácies gipsita pseudonodular (Gpn) (prof. 141,75 m).

No poço 1-UN32-PI (Figura 14), a fácies gipsita fibrosa (Gf) representa 44,7% dos evaporitos e a gipsita pseudonodular (Gpn), 55,3%. Duas possíveis discordâncias foram assinaladas no topo da fácies gipsita fibrosa (Gf) (prof. 122,60 m e prof. 117,80 m), representando momentos de soerguimento do corpo evaporítico, possivelmente relacionado à tectônica salífera.

No poço 1-PS11-CE (Figura 15), a fácies gipsita pseudonodular (Gpn) representa 82,5% dos evaporitos; a gipsita em mosaicos (Gm), 12,7%; e gipsita fibrosa (Gf), 4,8%. Duas superfícies discordantes foram marcadas; uma no topo do intervalo da fácies gipsita pseudonodular (Gpn) (prof. 74 m) e outra no topo da fácies gipsita fibrosa (Gf) (prof. 70,50 m).

No poço C4-OURICURI-PE (Figura 15), a fácies gipsita pseudonodular (Gpn) representa 70,7% dos evaporitos e a fácies gipsita prismática (Gp), 29,3%. Neste poço, uma superfície discordante foi marcada no limite entre as fácies gipsita pseudonodular (Gpn) e gipsita prismática (Gp) (prof.33,75 m), fácies diagenética e primária, respectivamente e outra superfícies foi marcada no topo da fácies gipsita prismática (Gp) (prof. 25,25 m).

A comparação estratigráfica entre esses poços mostra a possibilidade de correlação de mais de uma sequência evaporítica, limitadas por discordâncias. As discordâncias são formadas por superfícies de carstificação, associadas a períodos de exposição das camadas evaporíticas a águas pluviais. São analisados dois parâmetros para a ocorrência de tais superfícies; mudanças climáticas e tectonismo. O primeiro é essencial para a dissolução das camadas de gipsita, porém, o segundo é questionável. O corpo salino pode somente ter secado completamente expondo as camadas de sal, ou o tectonismo estava atuante durante a sedimentação evaporítica, causando falhamentos e dissolução em uma parte enquanto em outra ainda acontecia episódios de precipitação.

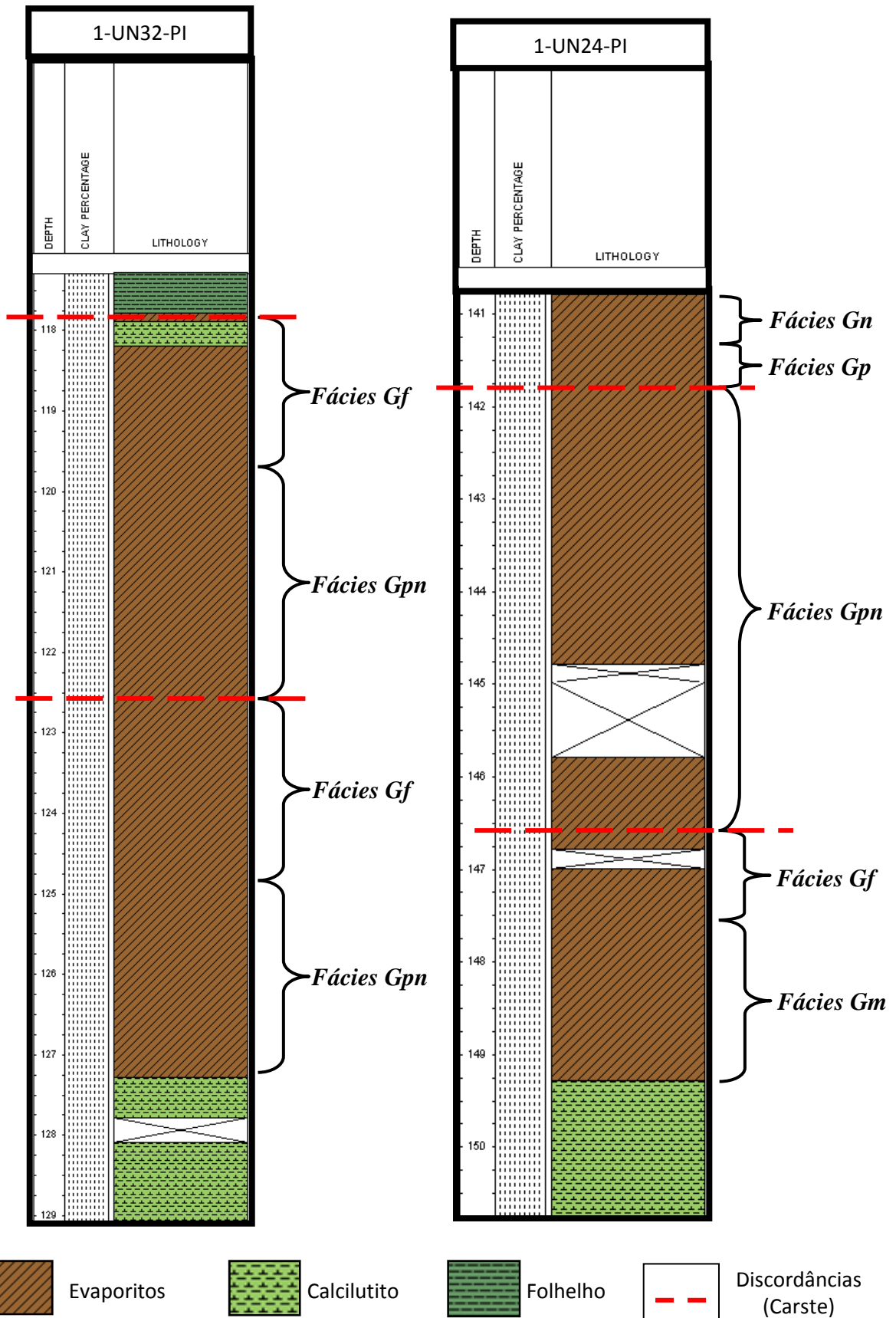


Figura 14 - Perfis litológicos 1-UN32-PI e 1-UN24-PI, Formação Codó – bacia do Parnaíba. Observar os intervalos correspondentes à cada fácies descrita e as discordâncias marcadas nos perfis.

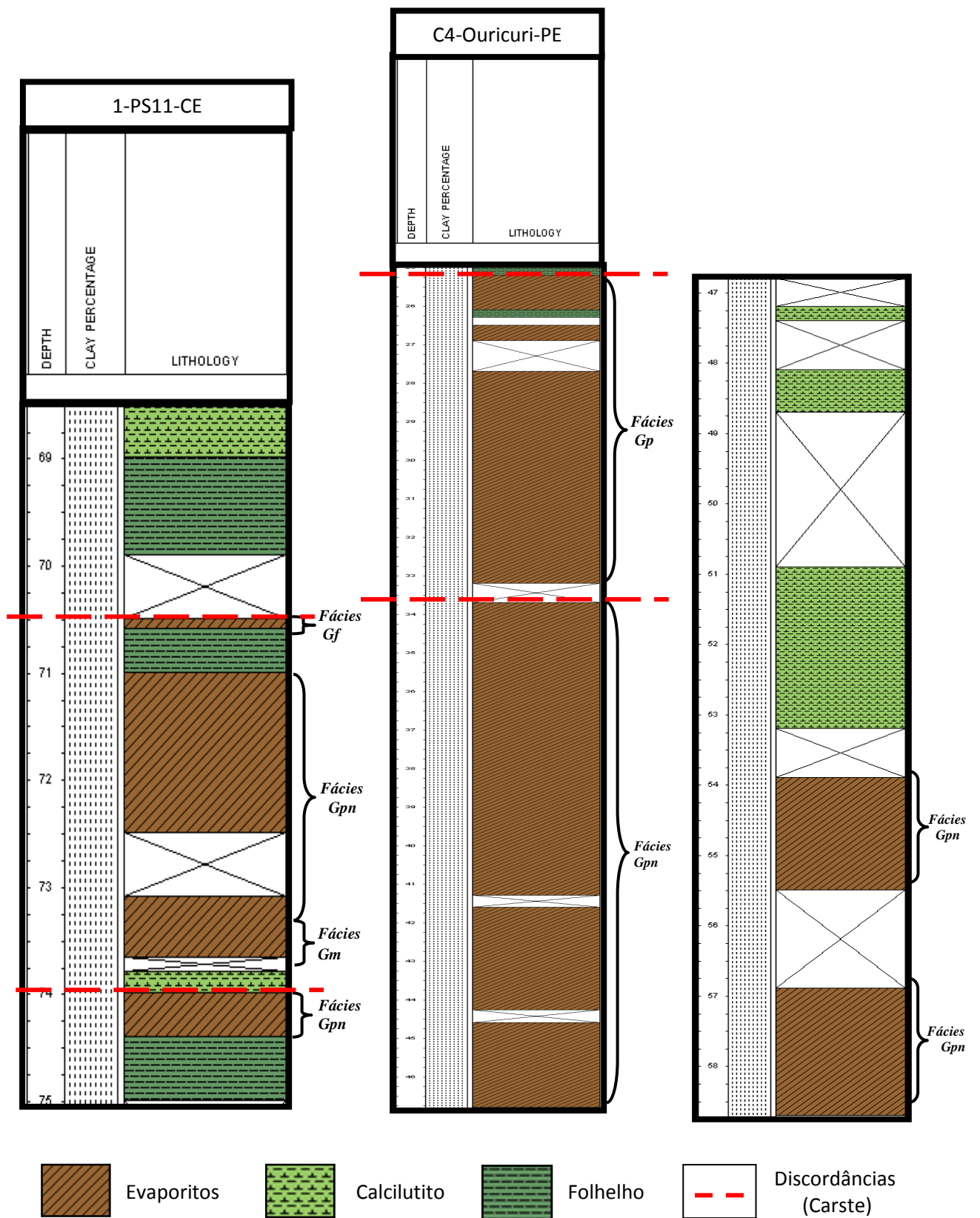


Figura 15 - Perfis litológicos dos poços 1-PS11-CE e C4, Formação Santana – bacia do Araripe. Observar os intervalos correspondentes à cada fácies descrita e as discordâncias marcadas nos perfis.

6 CONCLUSÕES

A interpretação paleoambiental para todo o intervalo é prejudicada pela predominância de fácies diagenéticas (Gm, Gf, Gps), nas quais as características paleoambientais foram completamente perdidas.

Contudo, fácies primárias (Gn, Gp) foram encontradas e interpretadas como pertencentes a ambientes tipo *playa lake*, indicando precipitação em salmouras com lâmina d'água muito pequenas (< 5m).

Por outro lado, as fácies diagenéticas, nas sucessões de fácies, permitiram não só o reconhecimento de eventos de carstificação, como de limites de mais de um ciclo deposicional. Tais ciclos, limitados por discordância (superfícies de carstificação) abrem a possibilidade de reconhecimento de eventos tectônicos associados a depósitos evaporíticos nas bacias, e não climáticos, em virtude de seu alcance em termos estratigráficos.

Superfícies de carstificação são formadas pela solubilização de corpos expostos à condições mais úmidas. Esta exposição pode ser em função de movimentos tectônicos ou apenas por ressecamento do ambiente aquoso em questão. O primeiro caso levaria a várias superfícies de carstificação, dependendo da atividade tectônica atuante na bacia, por outro lado, o segundo caso levaria a precipitação de sais mais solúveis, como cloretos, em função do ressecamento e salinização progressiva do corpo aquoso. Cloretos não são encontrados nestas bacias, fato que pode ser explicado pela solubilização destes sais, que são mais solúveis, durante o episódio de exposição.

Para as bacias estudadas, o reconhecimento de mais de uma superfície em um intervalo relativamente pequeno de rocha evaporítica aponta, inclusive devido ao contexto geológico-tectônico, para movimentos tectônicos constantes na bacia.

7 Referências bibliográficas

- CRUZ, W. B. *et al.* **Projeto carvão da bacia do Parnaíba**. Recife: DNPM/CPRM, 1973. 58p. Relatório final da 1ª etapa.
- GÓES, A.M.O., Feijó, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências Petrobras**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.57-67, 1994.
- GÓES, Ana Maria. **A Formação Poti (Carbonífero Superior) da bacia do Parnaíba**. 1995. 171f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- GÓES, A.M. e ROSSETTI, D.F. Gênese da bacia de São Luís-Grajaú, meio norte do Brasil. In: D.F. ROSSETTI; A.M. GÓES & W. TRUCKENBRODT (Eds.) **O Cretáceo da bacia de São Luís-Grajaú**. Belém, Coleção Friedrich Katzer, Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 15-31. 2001.
- LEITE, J.F., ABOARRAGE, A. M., DAEMON, R.F. **Projeto carvão na bacia do Parnaíba**. Recife: DNPM/CPRM, 1975. 36p. Relatório final das etapas II e III.
- MENDES, Marcelo da Silva. **Análise estratigráfica do intervalo formacional Grajaú-Codó (Aptiano) da bacia do Parnaíba, NE do Brasil**. 2007. 164f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MENDES, Marcelo da Silva. **Análise faciológica da Formação Codó (Aptiano/Albiano) na Bacia do Parnaíba**. 2005. 85f. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MENDES, Marcelo da Silva; BORGHI, Leonardo. Análise faciológica da Formação Codó (Cretáceo, bacia do Parnaíba) em testemunhos de sondagem. **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Salvador, 2005.
- MOHRIAK, W., SZATMARI, P., ANJOS, S. M. C. (Eds). **Sal: Geologia e Tectônica**. São Paulo: Beca edições Ltda, 2008. 448p.
- MOURA, Max Vasconcellos de. **Análise estratigráfica do Andar Alagoas na borda Leste da bacia do Araripe**. Rio de Janeiro, 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MOURA, Max Vasconcellos de.; BORGHI, Leonardo. Análise faciológica da Formação Santana (bacia do Araripe) em testemunhos de sondagem. **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Salvador, 2005.
- PAZ, Jackson Douglas da Silva; ROSSETTI, Dilce de Fátima. Reconstrução Paleoambiental da Formação Codó (Aptiano), borda leste da bacia do Grajaú, MA. IN: ROSSETTI, D. de F., GÓES, A. M., TRUCKENBRODT, W. (Eds). **O Cretáceo da bacia de São Luís–Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi (Coleção Friedrich Katzer), 2001, p. 77-100.

PAZ, J. D., ROSSETTI, D. F. Linking lacustrine cycles with sin-sedimentary tectonic episodes: an example from the Codó Formation (Late Aptian), northeastern Brazil. **Geological Magazine**, Cambridge, v.142, n. 3, p. 269-285, 2005.

PAZ, J. D., ROSSETTI, D. F. Petrography of gypsum-bearing facies of the Codó Formation (Late Aptian), Northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.78, n.3, p. 557-572, 2006a.

PAZ, J. D., ROSSETTI, D. F. Paleohydrology of an Upper Aptian lacustrine system from northeastern Brazil: Integration of facies and isotopic geochemistry. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v.241, p.247-266, 2006b.

PAZ, J. D., ROSSETTI, D. F., MACAMBIRA, M. J. B. An upper Aptian saline pan/lake system from Brazilian equatorial margin: integration of facies and isotopes. **Sedimentology**, Amsterdam, v. 52, p. 1303-1321, 2005.

PAZ, Jackson Douglas Silva da. **Fácies, petrografia e geoquímica da Formação Codó, neoaptiano, bacia de São Luís-Grajaú**. 2005. 148f. Tese (Doutorado em Geologia) – Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém.

PEDREIRA, A. J. *et al.* Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: Bizzi, *et al.* (Eds). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003, p. 55-85.

PONTE, Francisco Celso; PONTE FILHO, Francisco Celso. **Estrutura geológica e evolução tectônica da bacia do Araripe**. Recife: DNPM/PE DNPM/CE, 1996. 68p (relatório interno).

PONTE, Francisco Celso. Sistemas deposicionais na bacia do Araripe, nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁCIAS BRASILEIRAS, 2., 1992, Rio Claro. **Resumos Expandidos...** Rio Claro: UNESP, 1992, p. 81-84.

RAMOS, M. I. F., ROSSETTI, D. F., PAZ, J. D. Caracterização e significado paleoambiental da fauna de ostracodes da Formação Codó (neoaptiano), leste da bacia de Grajaú, MA, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 339-348, 2006.

REGALI, Marília da Silva Pares. A idade dos evaporitos da plataforma continental do Ceará, Brasil, e sua relação com os outros evaporitos das bacias nordestinas. **Boletim IG-USP**, Publicação Especial. São Paulo, v.7 p.139-143, 1989.

ROSSETTI, D. F., PAZ, J. D. S., GÓES, A. M. Facies analysis of the Codó Formation (Late Aptian) in the Grajaú Area, Southern São Luís-Grajaú Basin. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 76, n.4, p. 791-806, 2004.

ROSSETTI, D. F. *et al.* Sequential analysis of the aptian deposits from the São Luís and Grajaú basins, Maranhão state (Brazil) and its implication for unraveling the origin of evaporites. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v. 30, n. 3, p. 466-469, 2000.

SILVA, Maria Augusta Martins da. Evaporitos do Cretáceo da bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. **Boletim de Geociências da Petrobras**. Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 53-63, 1988.

SILVA, Maria Augusta Martins da. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe basin, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v.16, n.3, p. 306-310, 1986a.

SILVA, Maria Augusta Martins da. Lower Cretaceous sedimentary sequences in the basin, Northeastern Brazil: a revision. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v. 16, n. 3, p. 311-319, 1986b.

SILVA, Maria Augusta Martins da. **The Araripe basin, Northeastern Brazil**: regional geology and facies analysis of a Lower Cretaceous evaporitic depositional complex. 1983. 290f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Graduate school of Arts and Sciences, Columbia University, New York.

SCHEID, C., MUNIS, M. B., PAULINO, J. **Projeto Santana**. Recife: DNPM/CPRM, 1978. Relatório final da etapa II.

SCHREIBER, B. Charlotte, EL TABAKH, Mohamed. Deposition and early alteration of evaporites. **Sedimentology**. Tulsa, v. 47, p. 215-238, 2000.

VAZ, P. T. *et al.* Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.253-263, 2007.

WARREN, John K. **Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons**. Berlin: Springer, 2005. v.1, 1035p.

YECHIELI, Yoseph; WOOD, Warren W. Hydrologic processes in saline systems: playas, sabkhas, and saline lakes. **Earth-Science Reviews**. Amsterdam, v. 58, p. 343-365, 2002.