UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL DOS SEDIMENTOS CODÓ - GRAJAÚ, BACIA DE SÃO LUÍS (MA)

Tese Apresentada por

ANA MARIA NUNES BATISTA

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

GEOLOGIA

Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Pará

Aprovado: 25.06.92

Comitê de Tese

Werner Tuckenbrodt
WERNER TUCKENBRODT (ORIENTADOR)

Mario Vicente Caputo
MARIO VICENTE CAPUTO

Marília da Silva Pares Regali
MARILIA DA SILVA PARES REGALI

BATISTA, Ana Maria Nunes. Caracterização Paleoambiental dos Sedimentos Codó-Grajaú. Bacia de São Luís (MA). Belém, GG/UFPa. 1990. 104 p.

Tese apresentada ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, para obter o grau de Mestre em Ciências na área de Geologia.

1- Sedimentologia. 2. Estratigrafia. 3- Sedimentos Codó-Grajaú. 4- Bacia de São Luís. I. Título.

Ao meu Pai.

EPÍGRAFE

"... Não é a posse do conhecimento que faz o homem de ciência - ao contrário - é a persistente procura crítica da verdade..."

Karl Koffen

AGRADECIMENTOS

A autora agradece:

Ao Dr. Werner Truckenbrodt, orientador da tese e ao palinólogo Eglemar Conde Lima, ex-funcionário da Petrobrás, pelas discussões, críticas e sugestões dispensadas.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pela concessão de uma bolsa de estudo.

À Petróleo Brasileiro S/A. (PETROBRÁS) que tornou disponível todo o material utilizado.

Ao Centro de Geociências da UFPa, mais especificamente aos Professores Dr. Raimundo Netuno Nobre Villas e Dr. José F.F. Ramos.

Ao Superintendente do Distrito Norte (DENOR/PETROBRÁS), Sr. Laércio Aranha e ao Chefe da Divisão de Interpretação Sr. Mariano Stamato pela facilidade de acesso aos dados.

À palinóloga Elizabeth Pedrão pelos ensinamentos em palinologia e ajuda nas interpretações palinológicas.

Aos geólogos Nilo Matsuda, Ilma Barrilari e João Alberto pelo apoio na execução dos trabalhos fotográficos.

Ao Dr. Mário Vicente Caputo e à Dr. Marília da Silva Paes Regali pela participação na banca examinadora.

Ao apoio técnico fornecido pelo pessoal dos Setores de Laboratório e Bacias Terrestres da Petrobrás e Laboratórios de

Sedimentologia e Difratometria de Raio-x da UFPa, mais especificamente a: Luís Carlos Farias, Elizabeth Saldanha, Jaime Lobato to, Maria do Socorro Martins e a Dagoberto Encarnação.

Enfim, a todos os colegas que contribuíram para este trabalho sou imensamente grata.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS p.

Figura 1 - Posicionamento geográfico da Bacia de São Luís e localização da área em estudo. 4

Figura 2 - Mapa do arcabouço estrutural da Bacia de São Luís. 12

Figura 3 - Carta Crono-litoestratigráfica da Bacia de São Luís. 16

Figura 4 - Facies conglomerática Cgx com intraclastos argilosos. Poço 1-RL-1-MA; 1172,30 m. 23

Figura 5 - Facies conglomerática Cgx com estratificação cruzada. Poço 1-RL-1-MA; 1159,95 m. 23

Figura 6 - Contato entre o arenito da facies Ax e conglomerados da facies Cgx. Poço 1-RL-1-MA; 1159,10 m. 24

Figura 7 - Facies conglomerática Cgx mostrando gradação normal para a facies arenosa Ax. Poço 1-RL-1-MA; 1168,10 m. 24

Figura 8 - Perfil litológico do testemunho nº 1 do poço 1-RL-1-MA. 25

Figura 9 - Brecha intraformacional maciça (facies Bm) com intraclastos de folhelhos laminados. Poço 1-CI-1-MA; 854,50 m. 27

Figura 10 - Arenito estratificado (facies Ax) com trapeamento da matéria orgânica carbonizada. Poço 1-RL-1-MA; 1167,70 m. 27

Figura 11 - Arenito com estratificação cruzada e fluidização (facies Ax). Poço 1-RL-1-MA; 1170,65 m. 28

Figura 12 - Arenito estratificado e bioturbado (facies Ax). Poço 1-CI-1-MA; 879,40 m. 28

Figura 13 - Perfil litológico do testemunho nº 2 do poço 1-RL-1-MA. 29

Figura 14 - Perfil litológico dos testemunhos nºs 5 e 6 do poço 1-CI-1-MA. 31

Figura 15 - Arenito com "climbing-ripples", trapeamento de matéria orgânica e estratificação cruzada truncada (facies Ac).Poço 1-CI-1-MA; 865,40 m. 32

P.

Figura 16 - Arenito com laminação cruzada "climbing-ripples" e bioturbação (facies Ac). Poço 1-RL-1-MA;1155,35m. 32

Figura 17 - Arenito (facies Ac) com desenvolvimento de paleossolo. Poço 1-RL-1-MA; 1153,55 m. 33

Figura 18 - Perfil litológico do testemunho nº 4 do poço 1-CI-1-MA. 35

Figura 19 - Siltito argiloso intensamente bioturbado (facies Sb). Poço 1-RL-1-MA; 1159,40 m. 36

Figura 20 - Siltito bioturbado (facies Sb). Poço 1-CI-1-MA; 890,75 m. 37

Figura 21 - Folhelho e siltito com laminação plano-paralela (facies FS). Notar gradação normal de grãos e estrutura de erosão. Poço 1-PE-1-MA; 1567,70 m. 39

Figura 22 - Perfil litológico do testemunho nº 2 do poço 1-PE-1-MA. 40

Figura 23 - Folhelho com acamamento ondulado-rugoso (facies Fo). Poço 1-CI-1-MA; 856,15 m. 41

Figura 24 - Folhelho betuminoso laminado com intercalações de calcita e gipsita (facies Fd). Poço 1-CI-1-MA; 844,80 m. 41

Figura 25 - Folhelho betuminoso com laminação plano-paralela (facies Fd).Poço 1-CI-1-MA; 859,80 m. 45

Figura 26 - Gretas de dissecação no folhelho da facies Fd com tepee senil associado. Poço 1-CI-1-MA; 856,25 m. 45

Figura 27 - Folhelho betuminoso (facies Fd) com "tepee". Poço 1-CI-1-MA; 849,95 m. 46

Figura 28 - Calcrete associado ao folhelho betuminoso (facies Fd) com feições de microfraturamento. Poço 1-CI-1-MA; 830,15 m. 46

Figura 29 - Folhelho betuminoso (facies Fd) com concreções carbonáticas. Poço 1-CI-1-MA; 845,35 m. 46

Figura 30 - Folhelho betuminoso (facies Fd) rico em matéria orgânica com intercalação carbonática e níveis de "hardground". Poço 1-CI-1-MA; 851,35 m. 47

P.

Figura 31 - Perfil litológico do testemunho nº 3 do poço 1-CI-1-MA. 48

Figura 32 - Folhelho betuminoso (facies Fd) com acamamento plano-paralelo e lâminas de calcita. Poço 1-CI-1-MA; 869,40 m. 49

Figura 33 - Ostracodito (facies Fd). Poço 1-CI-1-MA; 891,40 m. 50

Figura 34 - Calcário maciço intercalado ao folhelho cinza-esverdeado (facies Fd). Poço 1-IV-1-MA; 1270,15 m. 50

Figura 35 - Perfil litológico do testemunho nº 1 do poço 1-IV-1-MA. 51

Figura 36 - Folhelho vermelho com acamamento lenticular (facies Fd). Poço 1-RL-1-MA; 1157,45 m. 52

Figura 37 - Difratogramas de raio-x para amostras de folhelho da facies Fn e intraclasto pelítico da facies Cgx (poço 1-RL-1-MA). 54

Figura 38 - Difratogramas de raio-x para amostra de folhelho da facies Fn (poço 1-RL-1-MA). 55

Figura 39 - Folhelho betuminoso com lente de pelmicrito. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 56

Figura 40 - Travertino com fragmentos de algas. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 56

Figura 41 - Travertino com ostracode micritizado. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 58

Figura 42 - Travertino com fábrica de calcita radial. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 58

Figura 43 - Ostracodito. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 59

Figura 44 - Folhelho betuminoso com ostracode preservado. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 59

Figura 45 - Seção esquemática SE-NE na Bacia de São Luís. 61

Figuras 46 a 50 - Palinomorfos. ANEXO

Figuras 51 a 59 - Palinomorfos. ANEXO

Figura 60 - Pelecípodes preservados em molde (facies Fd). Poço 1-PE-1-MA. 82

Figura 61 - Equinodermas. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 82

P.

Figura 62 - Equinodermas. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 84

Figura 63 - Folhelho betuminoso com algas. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 84

Figura 64 - Algas (detalhe) apresentando cruz pseudo-uniaxial. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 85

Figura 65 - Algas (detalhe). Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA. 85

Figura 66 - Modelo deposicional do sistema lacustre Codó-Grajaú. 87

Legenda correspondente às figuras 8,13,14,18,22,32,35. ANEXO

TABELAS

Tabela 1 - Palinomorfos encontrados nos sedimentos Codó-Grajaú do poço 1-RL-1-MA. 70

Tabela 2 - Palinomorfos encontrados nos sedimentos Codó-Grajaú do poço 1-PE-1-MA. 71

Tabela 3 - Palinomorfos encontrados nos sedimentos Codó-Grajaú do poço 1-IV-1-MA. 72

Tabela 4 - Palinomorfos encontrados nos sedimentos Codó-Grajaú para o poço 1-CI-1-MA. 73

Tabela 5 - Distribuição da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-RL-1-MA. 75

Tabela 6 - Distribuição da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-IV-1-MA. 75

Tabela 7 - Distribuição da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-PE-1-MA. 76

Tabela 8 - Distribuição da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-CI-1-MA. 76

Tabela 9 - Resultados micropaleontológicos para os sedimentos Codó-Grajaú estudados. 79

SUMÁRIO

P.

Dedicatória ——— i

Epigráfe ——— ii

Agradecimentos ——— iii

Lista de Ilustrações ——— v

Resumo ——— 1

Abstract ——— 2

1. INTRODUÇÃO ——— 3

2. METODOLOGIA DE TRABALHO ——— 5

2.1 DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM 5

2.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA——— 5

2.3 ANÁLISE MICROPALEONTOLÓGICA ——— 6

2.4 ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X ——— 7

3. BACIA DE SÃO LUÍS ——— 9

3.1 EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR ——— 9

3.2 ESTRATIGRAFIA ——— 13

P.

4. SEDIMENTOS CODó-GRAJAú ——— 17

4.1 TRABALHOS PRÉVIOS ——— 17

4.2 CARACTERIZAÇÃO LITOFACIOLóGICA DOS SEDIMENTOS CODó-GRAJAú. ——— 20

4.2.1 Litofacies Conglomerado polimítico (Cgp).—— 21

4.2.2 Litofacies Conglomerado Intraformacional com estratificação cruzada (Cgx). ——— 22

4.2.3 Litofacies Brecha Intraformacional maciça (Bm) ——— 26

4.2.4 Litofacies Arenito com estratificação cruzada (Ax). ——— 26

4.2.5 Litofacies Arenito com "climbing-ripples" (Ac). ——— 30

4.2.6 Litofacies Siltito argiloso bioturbado Sb). —— ——— 34

4.2.7 Litofacies Folhelho e Siltito intercalados (FS). ——— 38

4.2.8 Litofacies Folhelho/Carbonato com laminação ondulada-rugosa (Fo). ——— 38

4.2.9 Litofacies Folhelho negro (Fn). ——— 42

4.2.10 Litofacies Folhelho com cores diferenciadas (Fd). ——— 42

5. ASPECTOS MINERALóGICOS E MICROFACIOLóGICOS ——— 53

P.

6. ASSOCIAÇÕES FACIOLÓGICAS ——— 60

6.1 INTRODUÇÃO ——— 60

6.1.1 Associação A ——— 60

6.1.2 Associação B ——— 62

6.1.3 Associação C ——— 64

6.1.4 Associação D ——— 64

6.1.5 Associação E ——— 65

7. DADOS PALEONTOLÓGICOS ——— 68

7.1 INTRODUÇÃO ——— 69

7.2 PALINOMORFOS ——— 69

7.3 FAUNA ——— 78

7.3.1 Ostracodes ——— 78

7.3.2 Moluscos ——— 80

7.3.3 Equinodermos ——— 81

7.3.4 Algas ——— 81

8. MODELO DEPOSICIONAL ——— 86

9. CONCLUSÕES ——— 90

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ——— 91

ANEXO

RESUMO

Os Sedimentos Codó-Grajaú, de idade Neo-aptiana, integram um sistema deposicional do tipo flúvio-deltaico-lacustre com breves invasões marinhas. Este pacote sedimentar, constituído principalmente por folhelhos betuminosos, carbonatos, arenitos e conglomerados, se acumulou na Bacia de São Luís (Norte do Estado do Maranhão) durante sua formação inicial.

A partir da análise de testemunhos, efetuada em quatro poços, dez litofácies foram individualizadas e assim denominadas: conglomerado polimítico (Cgp), conglomerado intraformacional com estratificação cruzada (Cgx), brecha intraformacional maciça (Bm), arenito com estratificação cruzada (Ax), arenito com "climbing-ripples" (Ac), siltito argiloso bioturbado (Sb), folhelho e siltito intercalados (FS), folhelho negro (Fn), folhelho com laminação ondulada-rugosa (Fo), e folhelhos com cores diferenciadas (Fd). Estas litofácies, agrupadas em cinco associações genéticas, indicam a presença dos seguintes paleoambientes: (1) leque aluvial, (2) planície-deltaica, (3) lobo de suspensão, (4) lacustre e (5) lagunar.

O sistema Codó-Grajaú se desenvolveu, provavelmente, não muito longe da linha costeira marinha, sendo sugerida esta situação paleogeográfica pela presença de polens do gênero Classopollis sp., associados a cistos de dinoflagelados e carapaças quitinosas de foraminíferos na parte inferior da Formação Codó. A influência marinha, na parte inferior da formação Codó, é também confirmada pelo aparecimento de holotúrios e equinoídes. A assembléia polínica (Classopollis sp., Araucariacites sp. e Afropollis sp.), a presença de esmectita nos folhelhos e de calcrete sugerem que o clima predominante durante a deposição dos sedimentos Codó-Grajaú tenha sido do tipo semi-árido.

ABSTRACT

The Codó-Grajaú sediments, of Late Aptian age, accumulated in the São Luís basin (located on the Brazilian equatorial continental margin - northern part of the state of Maranhão) during the initial stage of its formation, were laid down in a fluviatile-deltaic-lacustrine system with marine ingressions. The deposits are constituted mainly of shales, sandstones, carbonates and rudaceous rocks. On the basis of core analysis carried out on four wells, ten facies were distinguished: 1) polimitic conglomerate (Cgp); 2) cross-bedded intraformational conglomerate (Cgx); 3) massive intraformational breccia (Bm); 4) cross-bedded sandstones (Ax); 5) sandstones with climbing-ripples (Ac); 6) bioturbated clayey siltstones (Sb); 7) intercalated shale/siltstone (FS); 8) shale with wavy-wrinkled lamination (fo); 9) black shale (Fn); and 10) shales with different colours (Fd). These facies grouped together in five genetically related associations indicate their generation in the following environments: alluvial, delta plain, suspension lobes, open lake and coastal lagoon.

The Codó-Grajaú formation probably developed not very distant from the marine coast line. This paleogeographic situation is suggested from the presence of pollens of the genus Classopollis sp., associated with dinoflagellates cysts and chitinous shells of foraminifera in the lower part of the Codó Formation. The marine influence is proved also by the appearance of holoturians and echinoids. The pollen assemblages (Classopollis sp., Araucariacites sp., and Afropollis sp.), the occurrence of smectite in shales and the calcrete point to a prevailing semi-arid climate during the deposition of the Codó-Grajaú sediments.

1 - INTRODUÇÃO

Entre as unidades sedimentares que compõem a Bacia de São Luís, localizada ao Norte do Estado do Maranhão, entre as coordenadas 1º 30' e 3º de latitude Sul e 44º e 46º de longitude Oeste, o Sistema Codó-Grajaú tornou-se recentemente um foco de atenção devido à descoberta de óleo e gás, sendo os folhelhos betuminosos da Formação Codó as principais rochas geradoras de hidrocarbonetos.

Apesar de seu significado econômico, o Sistema Codó-Grajaú é insuficientemente estudado quanto aos seus aspectos estratigráfico e ambiental. Por essa razão, o objetivo deste estudo é descrever as características das facies e sua distribuição, especificamente, na seção NE-SW da Bacia de São Luís, bem como desenvolver um modelo deposicional para esses sedimentos. Para melhor esclarecer a origem marinha ou não-marinha destes sedimentos, análises micropaleontológicas foram executadas como ferramentas mais seguras na interpretação paleoambiental.

A área de estudo compreende a parte sudoeste da Bacia de São Luís, onde quatro poços de sondagem (Rio Laranja [1-RL-1-MA]; Igarapé da Volta [1-IV-1-MA]; Cocalinho [1-CI-1-MA] e Pericumã [1-PE-1-MA]) foram analisados. A localização desses poços, assim como de outros dois (Rio Turiaçu [1-RT-1-MA] e Curva Grande [1-CG-3-MA]) utilizados como poços auxiliares, encontra-se na Figura 1.

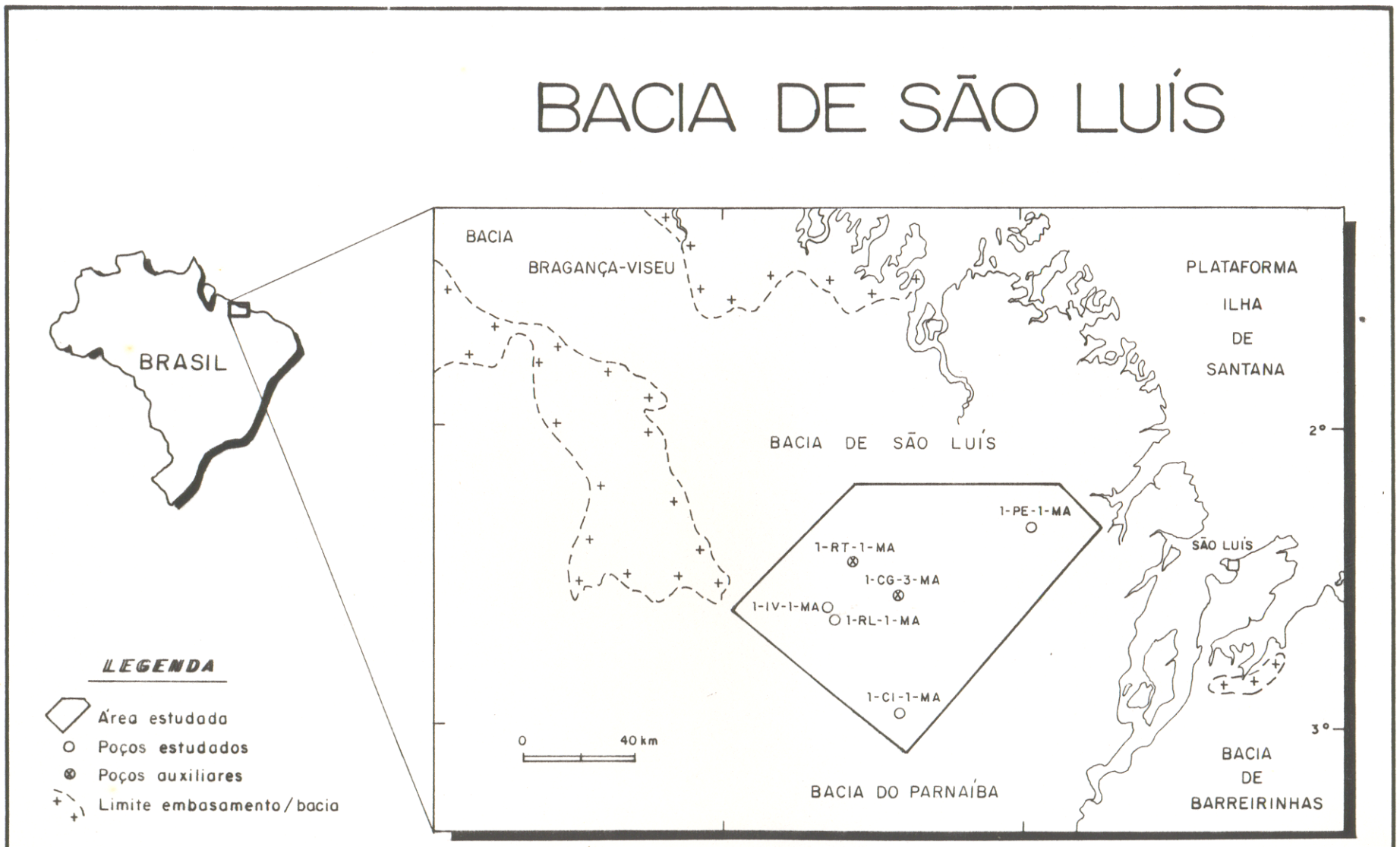


Figura 1 - Posicionamento geográfico e localização da área de estudo.

2 - METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1 - DESCRIÇÃO DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

A análise litofaciológica baseou-se na descrição de oito testemunhos de sondagens e avaliação de seus respectivos perfis elétricos. Dos dezoito poços perfurados pela PETROBRÁS na bacia, foram escolhidos quatro, para estudo em detalhe. Na seleção dos poços, levou-se em consideração a quantidade do material testemunhado e seu estado de preservação, para que se obtivesse o maior número possível de informações.

Os testemunhos de sondagem escolhidos, totalizando 100 m de amostragem, foram descritos macroscopicamente e registrados, em sua maioria, em escala de 1:20 e depois reduzidos para escala 1:100. Durante a descrição procurou-se detalhar os aspectos de natureza física, química e biológica dos sedimentos. Os aspectos físicos foram descritos em termos de textura, coesão, acamamento, estruturas sedimentares e tipos de contato. Os aspectos biológicos, por sua vez, compreenderam as estruturas sedimentares oriundas de atividade biológica e microfósseis. Quanto às feições químicas, foram registrados os produtos oriundos de concrecionamento e cimentação, bem como, as diversas cores dos sedimentos. Juntamente à descricão dos testemunhos foram fotografadas suas texturas e estruturas mais representativas.

2.2 - ANÁLISE PETROGRÁFICA

Quinze lâminas delgadas de carbonatos e folhelhos foram pre-

paradas no laboratório de sedimentologia do Distrito Norte/PETROBRÁS, seguindo a técnica de preparação de lâminas delgadas elaborada por De Ros et al., (1989), e depois examinadas sob o microscópio petrográfico. De acordo com o método, as amostras foram impregnadas com resina colorida (epoxy azul) cuja utilização propicia a distinção segura da porosidade das rochas.

2.3 - ANÁLISE MICROPALEONTOLÓGICA

O tratamento dos fósseis foi fundamentado, principalmente, através dos métodos micropaleontológicos, os quais incluíram análise palinológica e análise de microfósseis.

Para a análise de palinomorfos é necessário desintegrar as amostras e eliminar seus componentes mineralógicos e orgânicos indesejáveis.

O método de preparação adotado para enriquecer o resíduo final (Uesugui, 1979) em sedimentos cretácicos é aquele utilizado nos laboratórios de Paleontologia da PETROBRÁS, onde todo o material foi tratado. Antes, porém, do processamento palinológico padrão das novas amostras coletadas, foi feita a recuperação dos resíduos palinológicos de amostragens antigas, com indícios de ressecamento e floculação, através da desagregação por ultra-som, o que tornou possível o reaproveitamento deste material. O processo na preparação palinológica resume-se de uma maneira geral, nos seguintes passos:

A) Seleção de amostras dos horizontes representativos das Formações Codó e Grajaú. Para este propósito coletou-se não só amostras de testemunhos, mas também amostras de calha dos intervalos

não testemunhados.

B) Ataque químico aos componentes mineralógicos e à matéria orgânica pelos ácidos clorídrico (10%), fluorídrico (concentrado) e nítrico (concentrado). O uso desses reagentes químicos não destrói os palinomorfos fósseis, dado ao fato destes possuírem uma carapaça de composição quitinosa no caso dos microforaminíferos e no caso dos grãos de polen, a celulose, que resiste a ácidos altamente concentrados.

C) Separação do material orgânico e inorgânico do resíduo final enriquecido em palinomorfos por meio da solução de cloreto de zinco (densidade 1.98 g/cm^3).

D) Limpeza do resíduo final com hidróxido de potássio.

E) Montagem de lâminas com resíduo final utilizando líquido dispersante Entellan e fixação com bálsamo do Canadá.

No tratamento para microfósseis, 120 gramas de sedimento por amostra foram coletados e submetidos ao tratamento por peróxido de hidrogênio a 130^{o} vol. Posteriormente a amostra foi lavada e peneirada utilizando-se peneiras no intervalo de 0.071 mm a 0.35 mm, que foram eficientes para reter uma grande variedade de organismos, desde fragmentos de equinodermas a carapaças de ostracodes.

2.4. - ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIO-X

Foram efetuadas 17 análises de difração de raio-x para determinar os tipos de argilominerais na fração < 2 (lâmina de argila orientada) e 24 análises para identificar a composição mineralógica dos folhelhos (amostra de pó).

A fração < 2 foi obtida pela desagregação das amostras em um aparelho de ultra-som e posterior centrifugação da suspensão usando 1000 rpm, durante dois minutos. Na confecção de lâmina orientada, utilizou-se a técnica " pipette-on-slide", considerando as possíveis desvantagens que este método apresenta (Gibbs 1968; Stokke & Carson 1973). Os argilominerais foram identificados em difratogramas obtidos de lâminas normais, saturadas com etilenoglicol e aquecida a 550° C / 1 hora.

3. BACIA DE SÃO LUíS.

3.1 - EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR

A Bacia de São Luís, localizada na margem do Oceano Atlântico Equatorial, teve sua origem e evolução ligadas a ruptura da litosfera e à consequente separação das placas Africana e Sul-americana.

No fim do Pré-Cambriano os blocos Brasileiro, Africano e Indiano formavam um único e grande complexo continental, chamado "Gondwana". Neste tempo, a área onde hoje está localizada a bacia sedimentar de São Luís, destacava-se como uma região cratônica com rochas do Ciclo Transamazônico (2000 Ma) e rochas do Ciclo Brasiliano (550 Ma) segundo Almeida (1968) apud Miura & Barbosa (1972), idades confirmadas por Cordani et al. (1984).

Do Cambriano até o ínicio do Ordoviciano uma cobertura espessa (2000 m) de folhelhos escuros silicificados e arenitos basais (Formação Bequimão), seguida por sedimentos do Grupo Serra Grande, de idade ordoviciano-siluriana, foi depositada. Mais tarde, ambas as seqüências tornaram-se o assoalho da Bacia de São Luís (Aranha et al., 1990). Nesse tempo, de acordo com Miura & Barbosa (1972), o cráton, como um todo, atuava como borda da recém-formada Sinéclise do Parnaíba e controlava então a deposição dos sedimentos paleozóicos no interior da mesma.

No Mesozoíco, ainda como complemento à composição do assoalho da Bacia de São Luís, foram acrescentados sedimentos jurássicos e triássicos (Aranha et al., 1990).

A movimentação das placas Africana e Sul-americana teve início no Neocomiano com rotação, no sentido horário, da América do Sul em torno do pólo 39º W e 7º S (Szatmari & Françolin, 1987), proporcionando esforços compressivos e distensivos que culminaram nos processos de abertura do Oceano Atlântico Sul.

Ainda no Cretáceo, no Aptiano, iniciaram-se os processos de abertura do Oceano Atlântico Equatorial (Szatmari et al.,, 1987; Azevedo, 1991). Relacionada a esta abertura, são reconhecidas quatro fases de sedimentação nas bacias costeiras do Brasil: pré-rift, rift, proto-oceânica e oceânica. As seqüências pré-rift e rift são caracterizadas por depósitos não-marinhos, enquanto a fase proto-oceânica é marcada principalmente pela formação de depósitos evaporíticos e a fase oceânica por depósitos tipicamente marinhos (Ponte et al., 1972).

Um modelo de evolução tectono-sedimentar da Bacia de São Luís foi proposto por Aranha et al. (1990). Segundo estes autores, a bacia passou por duas fases de desenvolvimento tectono-sedimentar: a) estágio pré-rift, relacionado a um estiramento crustal que provocou a formação de uma suave depressão com deposição concomitante dos sedimentos Codó-Grajaú e b) estágio rift, caracterizado pela implantação de um complexo de falhas normais e pela deposição dos sedimentos da Formação Itapecuru.

Ainda segundo estes autores, em continuidade a essas fases, movimentos de reativação e um basculhamento generalizado no sentido NE, finalizaram o desenvolvimento da Bacia de São Luís. As fases de sedimentação proto-oceânica e oceânica não foram reconhecidas nesta bacia (Petri, 1977).

Dessa maneira, a Bacia de São Luís é um graben, limitado por falhas normais; posicionado-se na porção intermediária de um baixo estrutural regional, que se estende em direção E-W a partir do Alto do Gurupi (Cerqueira & Marques, 1985) (Figura 2). Os limites laterais do Graben de São Luís são representados pelo Alto do Gurupi, que separa a Bacia de Bragança-Vizeu a Oeste, e pelo Alto do Curupu, separando o Graben de Ilha Nova, a leste. Para o Norte, a Bacia de São Luís é limitada por uma zona de flexura, caracterizada por blocos falhados (Asmus & Guazelli, 1981), que representa a transição da área da Bacia de São Luís para a Plataforma de Ilha de Santana. Em contraposição, o limite Sul é marcado pelo Arco Ferrer Urbano-Santos, separando a bacia em questão da Bacia Paleozóica do Parnaíba (Figura 2).

Os contatos com o embasamento na bacia ocorrem, principalmente, a Oeste, através do Alto Tromaí e Arco do Guamá, e a Sul pelo Arco Ferrer Urbano-Santos, cujo lineamento estrutural segue a direção NW-SE.

De uma maneira geral, a Bacia de São Luís é constituída de altos e baixos estruturais, confinados a falhamentos normais com direção E-W e falhamentos transcorrentes. Destacam-se os baixos de Maracaçumé e Bequimão; o Alto do Rio Paraná e as Falhas de Paracaí e Turiaçu (Figura 2). As falhas normais predominam, e aquelas relacionadas aos limites da bacia podem alcançar 2000 m de rejeito vertical (Mesner & Wooldridge 1964). Falhamentos têm sido observados tanto em superfície como em subsuperfície, estes últimos detectados através dos métodos geofísicos.

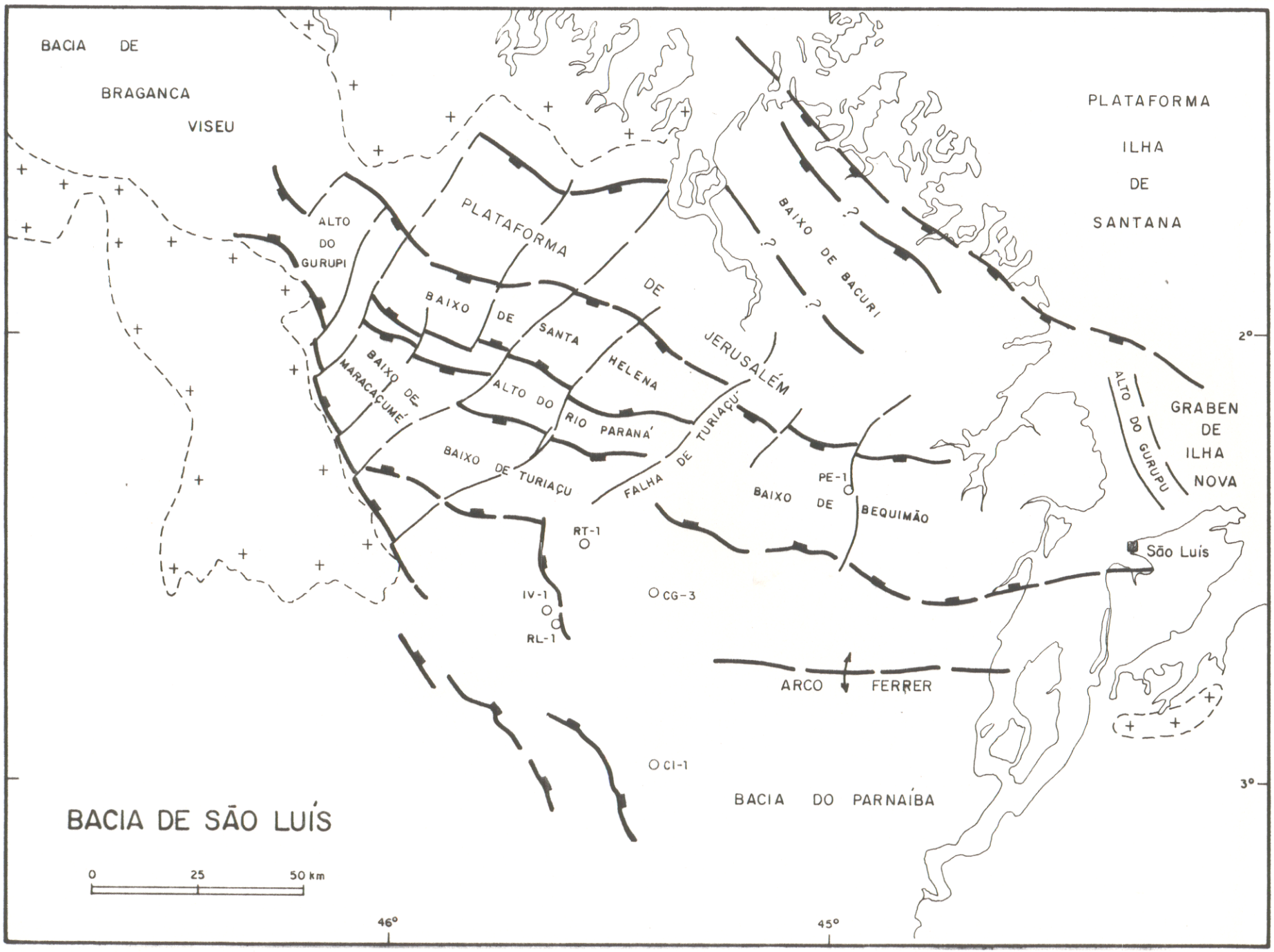


Figura 2 - Mapa do arcabouço estrutural da Bacia de São Luís (Fonte: Sebat II- PETROBRÁS/DENOR).

3.2 - ESTRATIGRAFIA

A Bacia de São Luís, com um pacote sedimentar de aproximadamente 4.500 m de espessura, mostra uma coluna estratigráfica com poucas subdivisões. Antes de chegar a carta estratigráfica hoje aceita (Aranha et al., 1990), muitos pesquisadores tentaram definir um empilhamento estratigráfico para os sedimentos da Bacia de São Luís através de correlações entre bacias, trabalhos indiretos, ou trabalhos de campo e fotointerpretação. O primeiro estudo desta categoria foi realizado por Blankennagel (1951) que propôs a seguinte seqüência lito-estratigráfica para a Bacia de São Luís: Formação Codó que repousa discordantemente sob a Formação Itapecuru, datada na época como Terciário Inferior; Formação Itapecuru subdividida, ainda, em dois membros: o Membro indiferenciado, em contato discordante com a Formação Codó, e o Membro Pirabas; Formação São Luís (Plioceno), em discordância ao então Membro Pirabas, Formação Perdizes (Quaternário) e os depósitos Quaternários Indiferenciados.

Um trabalho de fotointerpretação geológica, associado a informações de geofísica e geologia de campo, conduziram Cunha (1968) à modificação da seqüência proposta por Blankennagel (1951). Segundo Cunha (1968), as formações mais antigas seriam Pré-silurianas e repousariam diretamente sobre o embasamento Pré-Cambriano, composto por rochas da Série Gurupi. Sobre os sedimentos Pré-silurianos em contato discordante, estaria a Formação Codó seguida da Formação Itapecuru (Albiano Superior). O Cretáceo Superior seria representado por sedimentos da Formação Alcântara

(Cenomaniano) e o Terciário pela Formação Alter do Chão e pelo Membro Pirabas. Para os sedimentos mais novos, foi aceita a terminologia proposta por Rezende (1967) apud Cunha (1968), ou seja, a Formação Açuí, representando depósitos Quaternários.

Até a década de 70, a presença de sedimentos da Formação Grajaú na Bacia de São Luís não havia sido citada, e para alguns, tais como, Pamplona & Rezende (1970), a presença da Formação Codó seria inadmissível pois, segundo esses autores, a bacia ter-se-ia formado apenas durante o Albiano Superior, com o soerguimento do Arco Ferrer Urbano-Santos. Antes desse soerguimento teriam sido encontrados os sedimentos datados do Eo-cambriano, Siluriano, Triássico e Jurássico, depositados em continuidade à seqüência sedimentar da Bacia do Parnaíba.

Miura & Barbosa (1972), Sampaio & Northfleet (1973) e Fernandez & Piazza (1978) contradisseram Pamplona & Rezende (1970). Apontaram e defenderam a existência da Formação Codó, e a associaram a uma seqüência de sedimentos de um ciclo evaporítico, denominado Codó-Grajaú. A presença dessa seqüência evaporítica é explicada por Sampaio & Northfleet (1973) pelo avanço do mar, vindo do oeste, até a Bacia de São Luís.

Concordando com Sampaio & Northfleet (1973), Zembruscki (1984) e Cerqueira & Marques (1985) mostraram que a Bacia de São Luís é constituída por uma seqüência cretácica (Formações Grajaú, Codó e Itapecuru) sobrejacente a rochas paleozóicas. Cerqueira & Marques (1985) discordaram apenas com respeito às condições ambientais e propuseram dois ciclos sedimentares principais no Cretáceo Inferior. O primeiro, constituído pelas Formações Codó e Grajaú, seria caracterizado por um sistema deltaico-lagunar e o

segundo, abrangendo a Formação Itapecuru, teria origem flúvio-lacustre.

Em 1987, Carvalho dividiu os sedimentos cretácicos da Bacia de São Luís em uma seqüência inferior, composta pelos sedimentos Codó-Grajaú e uma seqüência superior constituída pela Formação Itapecuru, ambas ocorrentes sobre rochas paleozóicas ou pré-cambrianas. Aranha et al., (1990) seguiram, de uma maneira geral, o esquema estratigráfico de Carvalho (1987), porém propuseram novas divisões e denominações para os depósitos paleozóicos (Formação Bequimão, Grupo Serra Grande e rochas devoniano-carboníferas), e ainda acrescentaram informações sobre a presença de rochas triássicas e jurássicas (Figura 3). As unidades do embasamento comporiam as rochas do Cráton São Luís. Todas essas unidades pré-cretácicas serviriam como assoalho para a sedimentação cretácica da bacia. Além dessas distinções, uma inovação foi apresentada para as formações cretácicas, as quais foram divididas em três ciclos deposicionais distintos: o primeiro ciclo correspondendo aos depósitos interdigitados Codó-Grajaú, e os outros relacionados à história deposicional da Formação Itapecuru.

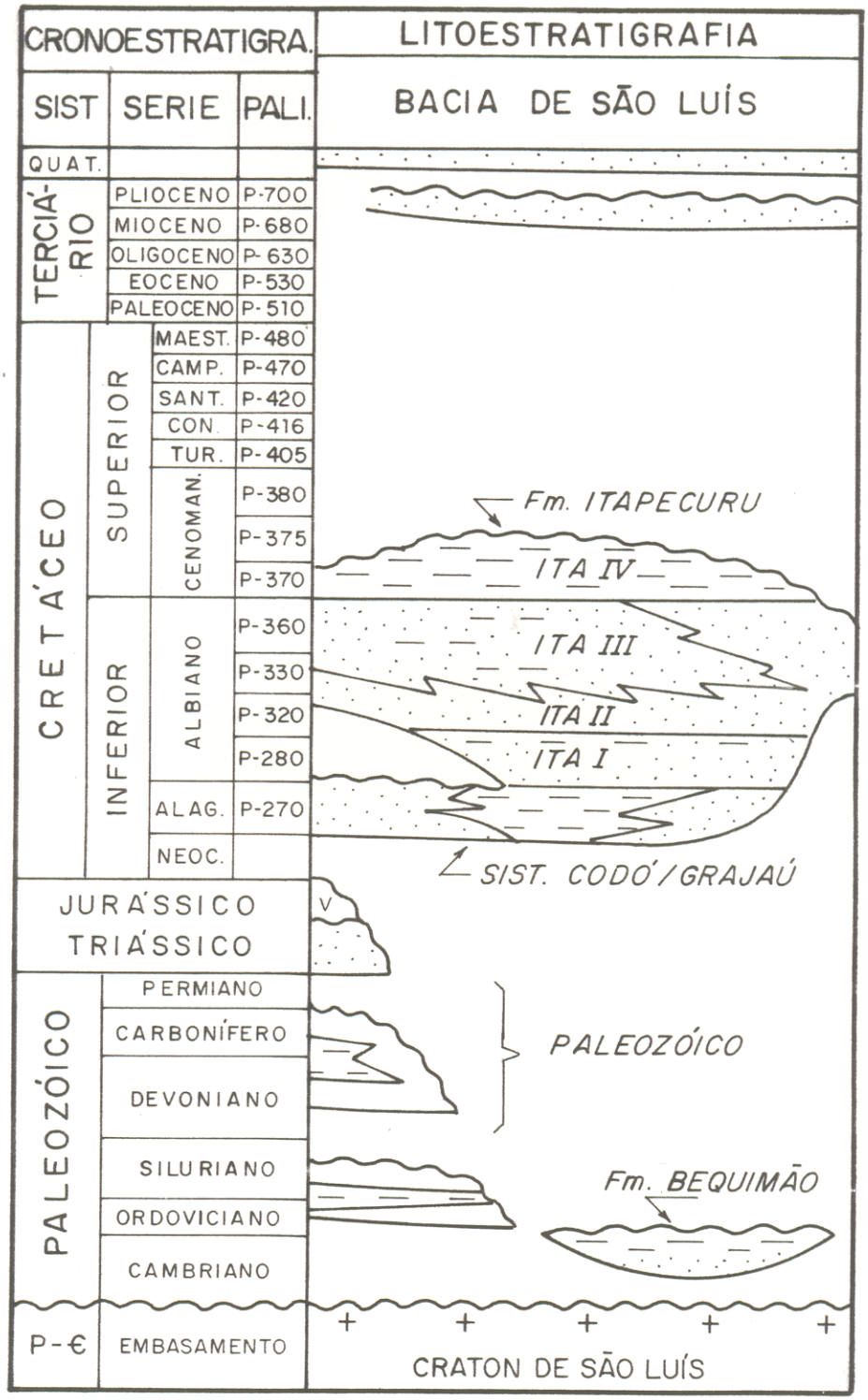


Figura 3 - Carta litoestratigráfica da Bacia de São Luís (Fonte: Aranha et al 1990).

4 - SEDIMENTOS CODó-GRAJAÚ

4.1 - TRABALHOS PRÉVIOS

A Formação Codó e a Formação Grajaú foram reconhecidas inicialmente por Lisboa (1935), na Bacia do Parnaíba. Este descreveu a Formação Codó como uma unidade de folhelhos betuminosos associada a carbonatos e denominou os arenitos de "arenito Grajaú", posicionando-os sob os folhelhos da Formação Codó. Aguiar (1969) adotou o mesmo critério estratigráfico utilizado por Lisboa (1935), porém, elevou os arenitos Grajaú ao nível de Formação Grajaú. Segundo Carneiro (1974), a Formação Grajaú consiste de arenitos com intercalações de argilitos vermelhos. Os arenitos, de cor branca a creme, são finos a conglomeráticos, com grãos arredondados e exibem estratificações cruzada e plano-paralela (Schobbenhaus et al., 1984).

Uma primeira subdivisão litológica da Formação Codó foi efe- |)a por Mesner & Wooldridge (1962) e modificada dois anos de-

Lima & Leite (1978), utilizando a mesma linha do trabalho anterior, também dividiram a Formação Codó em três subunidades que diferenciavam categoricamente das acima descritas. A seção inferior da Formação Codó foi interpretada como ínicio de uma transgressão marinha que terminou com os ciclos evaporíticos, e tinha como representantes conglomerados basais sobrepostos por folhelhos cinza-esverdeados a pretos, às vezes betuminosos, piritosos e com alguns níveis de calcários e camadas de gipsita. A seção intemediária registrava uma nova transgressão apresentando na base um conglomerado polimítico com seixos da seção inferior retrabalhados, passando para folhelhos com gastrópodes. A seção superior mostrava, segundo esses autores um ambiente provavelmente de planície de maré, que teria se iniciado com a deposição de arenitos e siltitos cinza, carbonosos, com restos vegetais, calcíferos e piritosos.

Carneiro (1974), assinalou uma equivalência cronoestratigráfica por interdigitação entre os folhelhos da Formação Codó e os arenitos da Formação Grajaú, o que é aceito até o momento.

Na Bacia de São Luís, a primeira tentativa de reconhecimento da presença da Formação Codó deve-se a Blankennagel (1951). No seu conceito, essa formação consistiria de siltitos e arenitos muito finos de coloração cinza, com abundantes nódulos de marcassita e madeira carbonizada. O que o levou a interpretar estes sedimentos como sendo da Formação Codó foi a presença de madeira carbonizada e a existência de fósseis cretácicos. Cunha (1968), baseando-se em dados de sondagem, definiu espessuras de até 220 m para a Formação Codó e a descreveu como folhelhos escuros e calcários fossilíferos, ricos em matéria orgânica, e de fácies es-

sencialmente marinha.

Trabalhos como os de Mesner & Wooldridge (1964), Miura & Barbosa (1972), Sampaio & Northefleet (1973), Carneiro & Jucá (1977), Fernandez & Piazza (1978) e Zembruscki (1984) defenderam a existência de um mar com ciclos evaporíticos no tempo Codó.

De acordo com Mesner & Woodridge (1964), as unidades definidas como Formação Codó, na Bacia do Maranhão, tornam-se mais indistintas e mais marinhas na Bacia de São Luís. Sampaio & Northefleet (1973) aceitaram a seção de folhelhos negros com intercalações de carbonatos e anidritas como Codó, e atribuíram sua origem ao avanço do mar a partir do oeste na bacia, porém, não admitiram concomitância de deposição entre as formações Codó e Grajaú. Fernandez & Piazza (1978) tentaram estender a divisão estratigráfica proposta por Mesner & Wooldridge (1962) na Bacia do Maranhão para a Bacia de São Luís. Um resultado satisfatório não foi alcançado, entretanto, estes autores observaram folhelhos pirobetuminosos com evaporitos associados, representativos da unidade inferior, e depositados, segundo eles, sob condições redutoras em um ambiente lagunar.

A existência de condições anóxicas passou a ser aceita até recentemente por vários autores. Segundo Cerqueira & Marques (1985), os folhelhos Codó teriam sido depositados sob condições anóxicas em um ambiente lagunar e os arenitos Grajaú correspondentes representariam depósitos de leques deltaicos. Discordando destas interpretações, Carvalho (1987) propôs uma origem lacustre para a Formação Codó e uma origem fluvial para os depósitos arenosos da Formação Grajaú.

Aranha et al., (1990) interpretaram os sedimentos Codó-Grajaú como um sistema deposicional lacustre incluindo ambiente flúvio-deltaico.

Desde que se iniciaram os trabalhos exploratórios na Bacia de São Luís, os estudos paleontológicos pouco contribuíram para estabelecer sua coluna estratigráfica. Durante este período foram realizados estudos sistemáticos palinológicos de apenas alguns poços, cujos resultados não foram divulgados à comunidade científica. Da mesma forma que nos estudos palinológicos, os macro e microfósseis (gastropódes, pelecípodes, ostracodes, etc.), são citados apenas em relatórios internos da PETROBRÁS, porém, sem uma avaliação criteriosa do seu papel bioestratigráfico e ambiental.

Recentemente com a participação no projeto "Estudos sobre as bacias riftes costeiras da margem Norte", sob a coordenação da palinóloga Elizabete Pedrão (CENPES), a autora realizou um estudo bioestratigráfico, com base em microfósseis, em dez poços da Bacia de São Luís. Os resultados obtidos nesse projeto, em termos bioestratigráficos, geraram uma coluna sedimentar Eo-cretácica onde as espécies índices de palinomorfos determinaram um intervalo de tempo Neo-aptiano para a deposição dos sedimentos Codó e Grajaú. Tais resultados, corroboram àqueles sugeridos por Lima (1982), para a Formação Codó na Bacia do Maranhão.

4.2 - CARACTERIZAÇÃO LITOFACIOLÓGICA DOS SEDIMENTOS CODÓ-GRAJAÚ

Neste capítulo serão apresentados os resultados sedimentológicos obtidos das descrições dos testemunhos que compõem uma se-

ção sedimentar, na qual estão individualizados a Formação Grajaú e os membros Inferior, Médio e Superior da Formação Codó.

O estudo litofaciológico destes testemunhos (Figuras 8, 13, 14, 18, 22, 32, e 35) permitiu a identificação de dez facies. Cada descrição das facies inclui as feições texturais e estruturais mais características e está acompanhada de uma breve discussão dos prováveis processos deposicionais.

4.2.1 - Conglomerado polimítico (Cgp)

O conglomerado polimítico, bastante friável, é constituído predominantemente por seixos de quartzo, pelitos e rochas vulcânicas. Estes seixos são, em geral, angulosos a subarredondados, têm comprimento de 5 a 10 cm e estão envolvidos por uma matriz de arenito fino. Devido ao caratér desagregado do conglomerado, aspectos sobre seu arcabouço e estruturas primárias não puderam ser, claramente, analisados. Entretanto, um decréscimo da granulometria é marcado na porção mais superior desta facies, onde ocorre uma estratificação cruzada indistinta.

A facies reflete condições de fluxo de corrente, com energia alta a moderada controlada por processos dinâmicos trativos que sofreram posterior decréscimo de energia.

O conglomerado polimítico ocorre exclusivamente no testemunho nº 3 (profundidade 1632m) do poço 1-PE-1-MA e apresenta uma espessura de aproximada de 1.5 m.

4.2.2 - Conglomerado intraformacional com estratificação cruzada (Cgx).

Este conglomerado é caracterizado pela presença de clastos mal selecionados, com distribuição polimodal, matriz areno-argilosa e cimento de calcita. Os clastos, comumente de origem intraformacional, são compostos, principalmente, por folhelhos cinza-esverdeados. Esses apresentam-se geralmente alongados e bastante achatados, com bom a médio grau de arredondamento.

A estrutura sedimentar registrada é a estratificação cruzada tipo acanalada, que é facilmente reconhecida através da orientação dos clastos de folhelho (Figura 4). Os estratos se inclinam 10º em média. Alguns "sets" podem ainda ser individualizados (Figura 5) exibindo gradação normal dos grãos de areia.

A facies Cgx representa uma unidade depositada por fluxos unidirecionais altamente erosivos, de correntes trativas, sob um regime de fluxo moderado a superior. Seus constituintes parecem não ter experimentado longo transporte devido a sua fragilidade. A gradação observada nos "sets" indica a variação de velocidade do fluxo.

Este conglomerado ocorre em pacotes com espessuras entre 10 a 30 cm, e geralmente mostra um contato basal de caratér brusco (Figura 6). Uma passagem gradacional determina o contato desta com a facies superior arenosa (facies Ax) (Figuras 7 e 8).

Figura 4 -Facies conglomerática Cgx com intraclastos argilosos evidenciando estratificação cruzada.

Figura 5 -Facies conglomerática com estratificação cruzada (Cgx) mostrando gradação normal. Notar presença de calcrete na base da foto, sugerindo exposição subáerea.

Figura 6 -Contato entre o arenito da facies Ax e o conglomerado da facies Cgx.

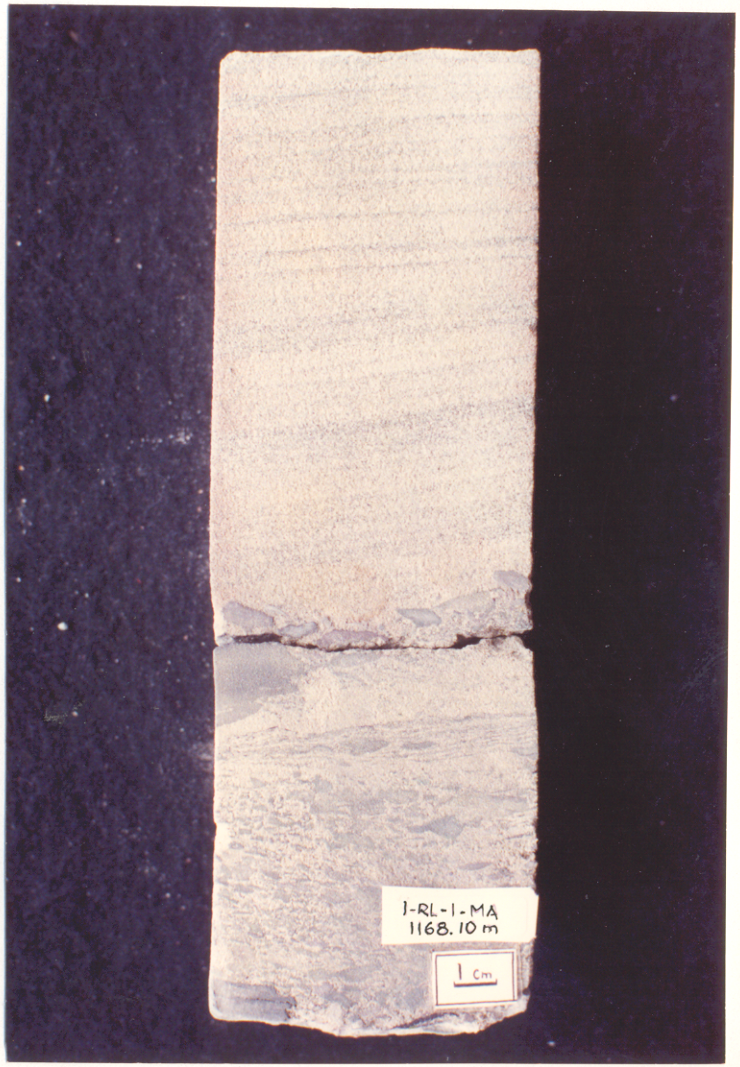
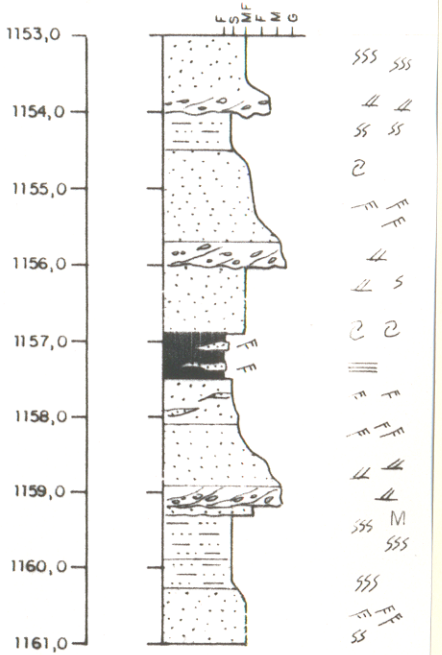


Figura 7 -Facies conglomerática Cgx com passagem para a facies Arenito estratificado Ax.



Fa-cies	Conteúdo Fóssil	Mineralogia	Descrição
Ac	estéril	I,Cl	Arenito fino com " climbing - ripples ." Presença de calcrete e estruturas de bioturbação.
Sb			Siltito bioturbado.
Ac	estéril	Qz,Pl,Cl,S	Arenito fino a muito fino com estratificação cruzada cavalgante.
Cgx	o,l,esp.(?)		Conglomerado c/ estrat. cruzada.
Ax			Arenito fino a médio, com estratificação cruzada e fluidização.
Fv		I,Cl,Int(?)	Folh. vermelho com lentes de siltito.
Ax	o	Qz,Pl,S,Cl,I	Arenito médio com estratificação cruzada com passagem gradativa para a facies Ac.
Cgx			Conglomerado com estrat. cruzada.
Sb			Siltito intensamente bioturbado.
Ac	o,l		Arenito fino com "climbing-ripples."

Figura 8 - Perfil litológico e características das facies diagnosticadas no testemunho 1 dopoço 1-RL-1-MA.

4.2.3 - Brecha intraformacional maciça (Bm)

Os fragmentos dessa brecha são compostos por folhelhos escuros e laminados de tamanho variado e distribuídos aleatoriamente em um cimento carbonático de textura grosseira (Figura 9). Ocorrem também cristais de anidrita preenchendo fraturas.

A brecha intraformacional é interpretada como brecha de colapso, cuja origem está associada à exposição subáerea e à dissolução de minerais evaporitos.

A facies Bm ocorre com espessura máxima de 3 m e é vista apenas no poço 1-CI-1-MA. Assenta-se sobre a facies Fo e é sobreposta pelos folhelhos carbonáticos da facies Fd.

4.2.4 - Arenito com estratificação cruzada (Ax)

A facies Ax é constituída de arenitos verdes a amarelados, micáceos, com granulometria fina a média. Estes são localmente calcíferos e se destacam pelo alto conteúdo de minerais micáceos (muscovita e biotita) e restos de matéria orgânica carbonizada seguindo a orientação do acamamento (Figura 10). Os restos orgânicos são freqüentemente oxidados, com auréolas e manchas amareladas em torno deles. Bolas de argila e manchas de óleo são observadas nesta facies, no poço 1-PE-1-MA.

A estratificação cruzada mostrando baixo-ângulo é a estrutura mais comum, cujos "sets" têm espessuras que variam de 10 a 30 cm. Fluidização e bioturbação ocorrem subordinadamente (Figuras 11 e 12). Estas estruturas encontram-se com mais freqüência nos arenitos do poço 1-RL-1-MA (figuras 8 e 13), enquanto são mal

Figura 9 -Brecha intraformacional (facies Bm) com intraclastos de folhelho laminado.

Figura 10 -Arenito de textura média com estratificação cruzada (facies Ax) evidenciada pelo trapeamento de matéria orgânica carbonizada no plano de acamamento (topo).

Figura 11 -Arenito de textura média com estratificação cruzada e estrutura de "escape" de fluídos (Ax).

Figura 12 -Arenito fino a médio com estratificação cruzada e bioturbação (facies Ax).

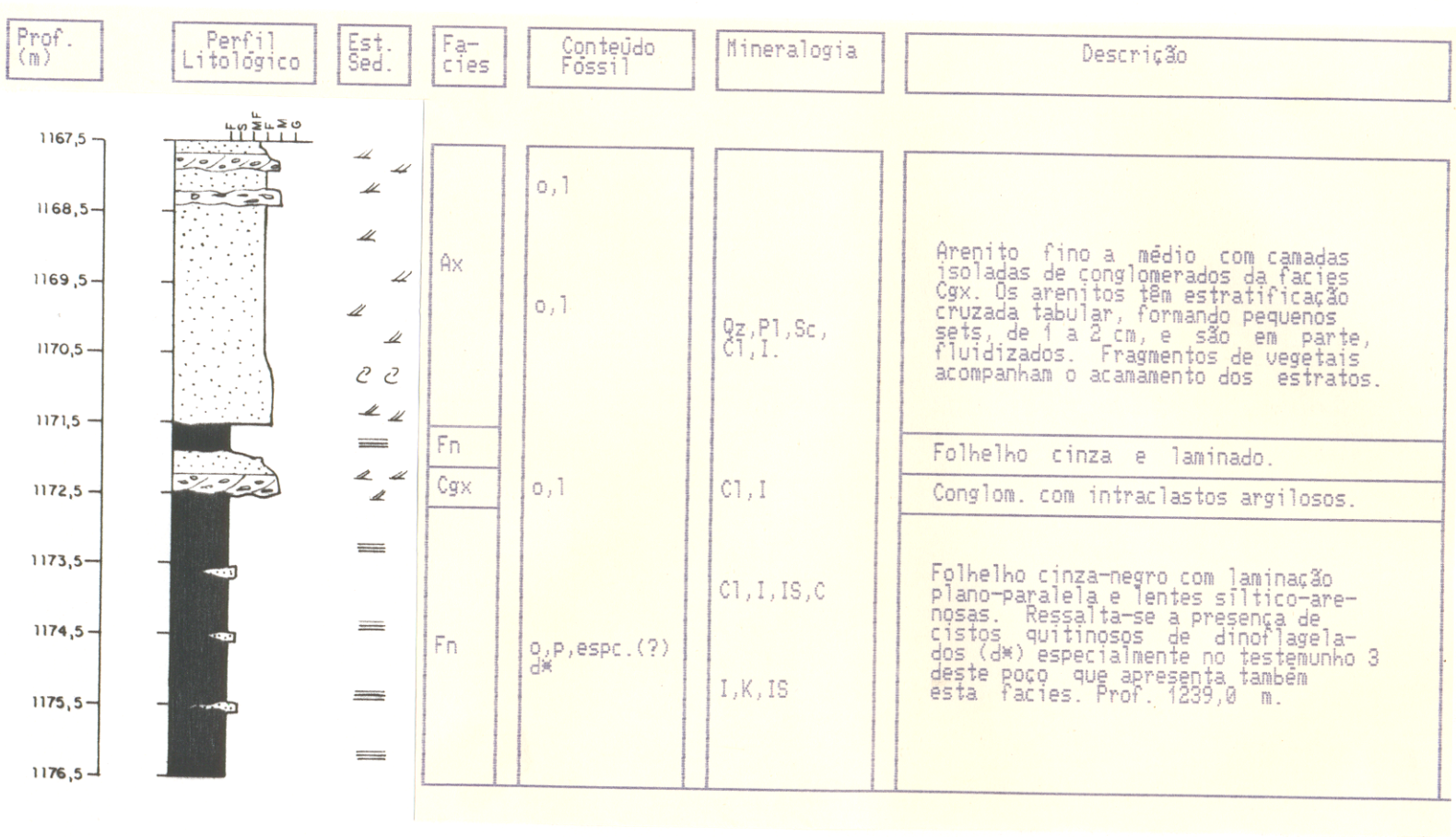


Figura 13 - Perfil litológico e características das facies diagnosticadas no testemunho 2 do poço 1-RL-1-MA.

preservadas ou quase imperceptíveis no poço 1-CI-1-MA (Figura 14).

Os efeitos estruturais da hidrodinâmica responsável pela concentração destes corpos arenosos indicam deposição por correntes de tração, em condições de energia variável.

A facies Ax é bastante espessa nos poços 1-CI-MA e 1-RL-1-MA. Nas demais ocorrências, seu aparecimento está geralmente associado à facies Cgx.

4.2.5 - Arenito com "climbing-ripples" (Ac)

Este arenito, de coloração verde a amarelada, tem granulometria fina a muito fina. É argiloso, micáceo e rico em fragmentos de matéria orgânica.

A estrutura predominante é a laminação cruzada cavalgante, ressaltada pela presença de matéria orgânica trapeada nos planos de estratificação (Figuras 15 e 16). Subordinadamente ocorrem feições de bioturbação.

No topo desta facies é comum uma passagem gradativa à facies de siltito argiloso e bioturbado, que será descrita mais adiante. Em alguns intervalos, principalmente no testemunho nº 1 do poço 1-RL-1-MA, encontram-se arenitos de coloração vermelha, pequenos nódulos de calcrete e feições de bioturbação.

A textura fina e o domínio da laminação cruzada cavalgante apontam para uma deposição em regime de descarga rápida, com cavalgamento de marcas onduladas migratórias, incluindo processos de tração e suspensão. A passagem gradativa na porção superior da facies Ac implica num rebaixamento na velocidade de fluxo. A co

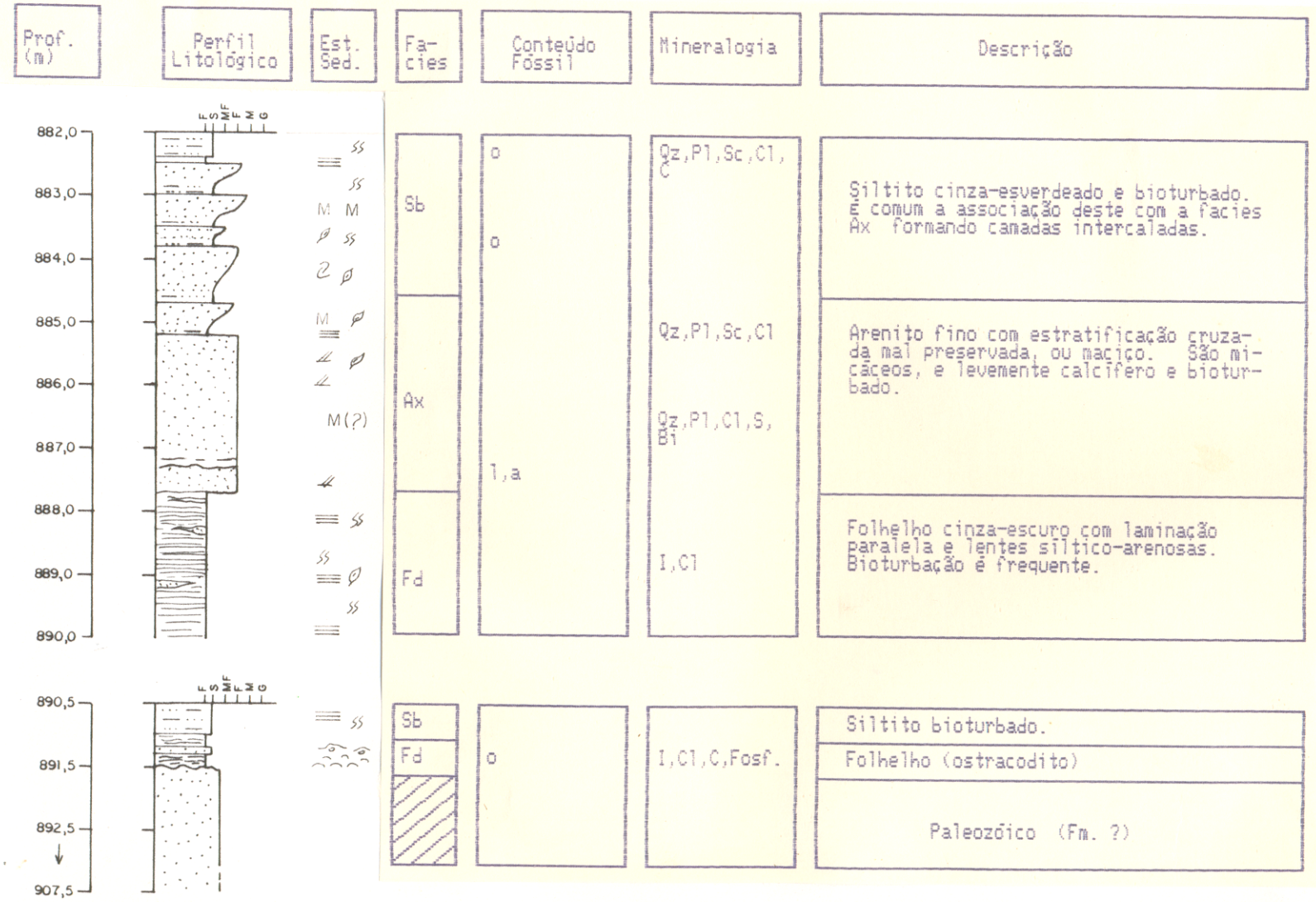


Figura 14 - Perfil litológico e características das facies diagnosticadas nos testemunhos 5 e 6 do poço 1-CI-1-MA.

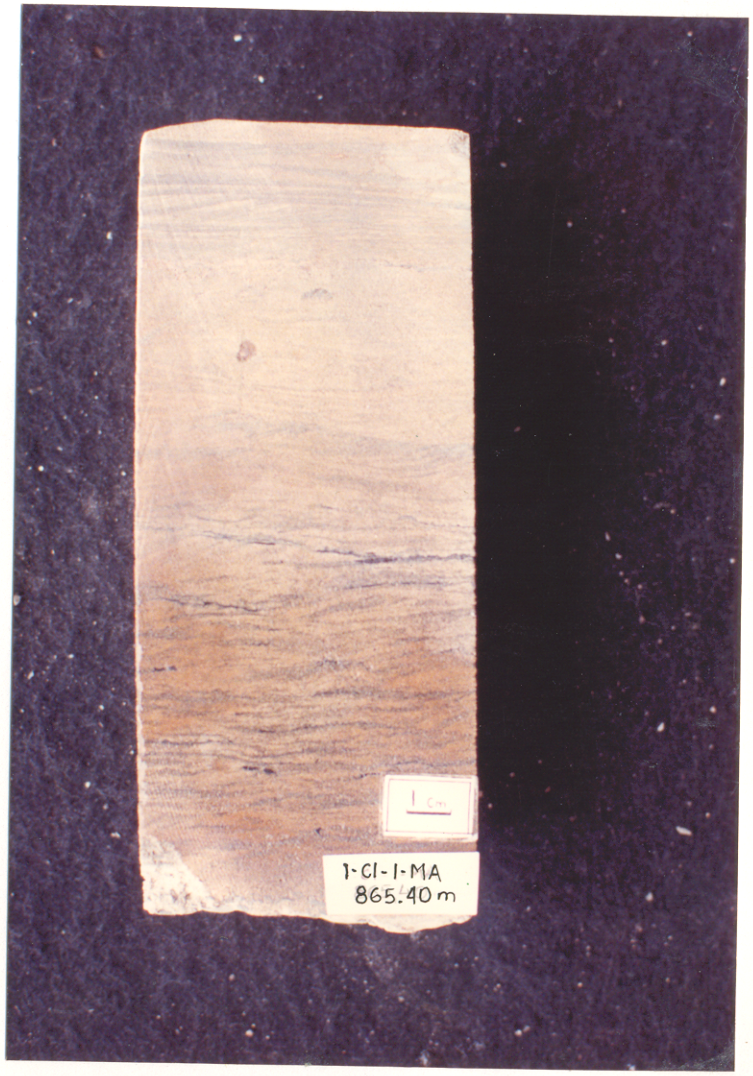


Figura 15 -Arenito fino a médio com "climbing-ripples" (facies Ac) ressaltados pela presença de matéria orgânica lenhosa carbonizada.

Figura 16 -Arenito fino com laminação cruzada (Ac) apresentando "climbing-ripples". Feições de bioturbação ocorrem ocasionalmente.

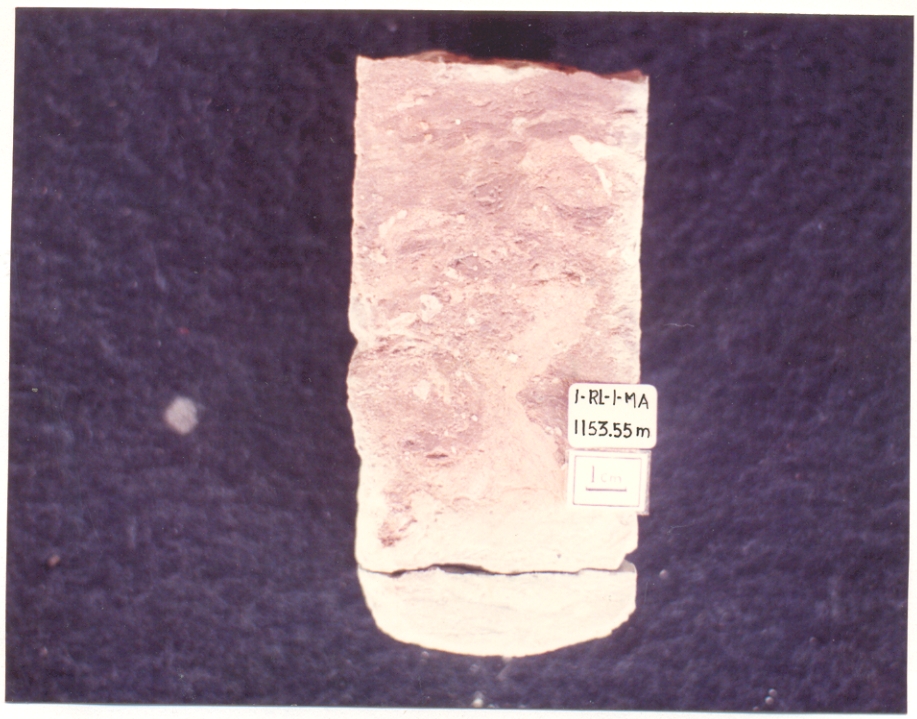


Figura 17 -Arenito da facies Ac com desenvolvimento de paleossolo. Notar a coloração vermelha proveniente da intensa oxidação.

loração vermelha e a presença de calcrete indicam condições continentais de deposição em condições de clima com tendência a aridez (Figura 17).

A facies Ac ocorre, principalmente, nos testemunhos nº 1 e 2 do poço 1-RL-1-MA, associada às facies Sb e Ax (Figura 13 e 14), e secundariamente, nos poços 1-PE-1-MA e 1-CI-1-MA, em associação à facies Fn (Figura 18). Em média, mostra espessura de 2.0 m.

4.2.6 - Siltito argiloso bioturbado (Sb)

A litofacies Sb consiste de siltito cinza-esverdeado, mosqueado devido à intensa bioturbação (Figura 19). Nas porções menos bioturbadas é ainda perceptível a presença de lentes de arenito fino (Figura 20). Ocorrem ainda pequenas concreções carbonáticas distribuídas aleatoriamente com formas irregulares ou elongadas. Frequentemente, muscovita, pirita e matéria orgânica carbonizada, destacam a estratificação.

A presença de acamamento lenticular indica deposição em ambiente de baixa energia, a partir de suspensão e com alguma tração. A intensa bioturbação e as cores cinza esverdeadas destes sedimentos sugerem condições deposicionais não muito redutoras, as quais permitiram a atividade de animais escavadores.

A facies Sb ocorre dominantemente no poço 1-CI-1-MA, com espessura de até 2.0 m, associada à facies arenosa Ax (Figura 18). Apresenta tanto contatos bruscos quanto gradativos, no poço 1-RL-1-MA.

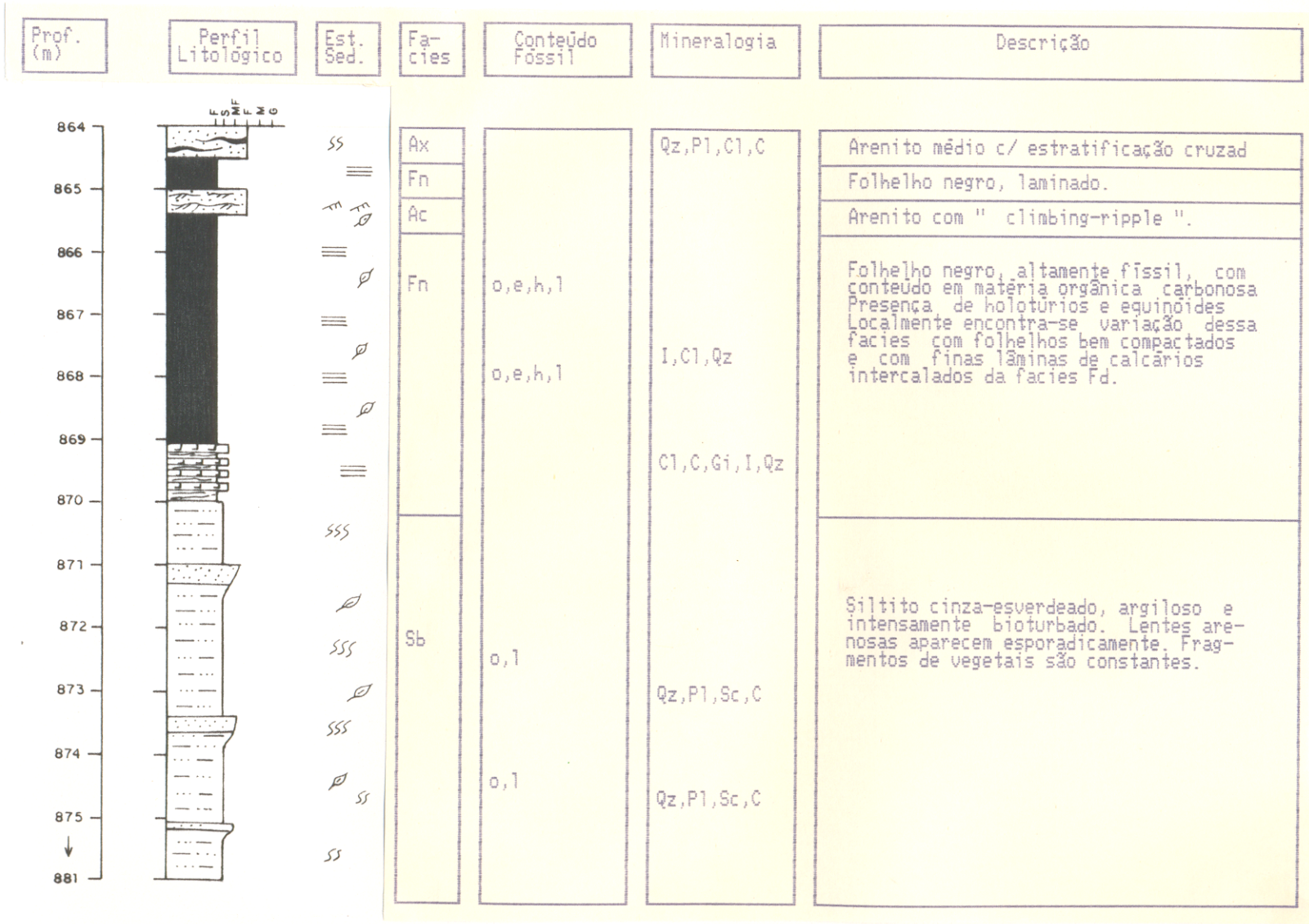


Figura 18 -Perfil litológico e características das facies diagnosticadas no testemunho 4 do poço 1-CI-1-MA.

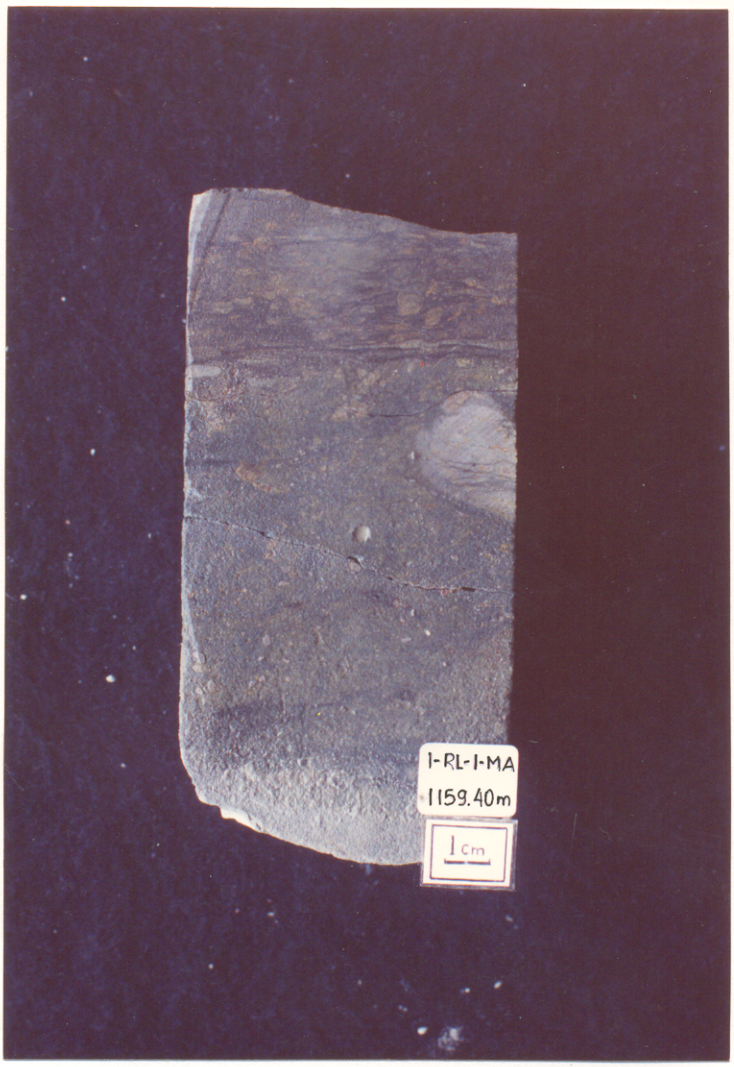


Figura 19 -Siltito argiloso com aspecto mosqueado devido a intensa bioturbação (facies Sb).

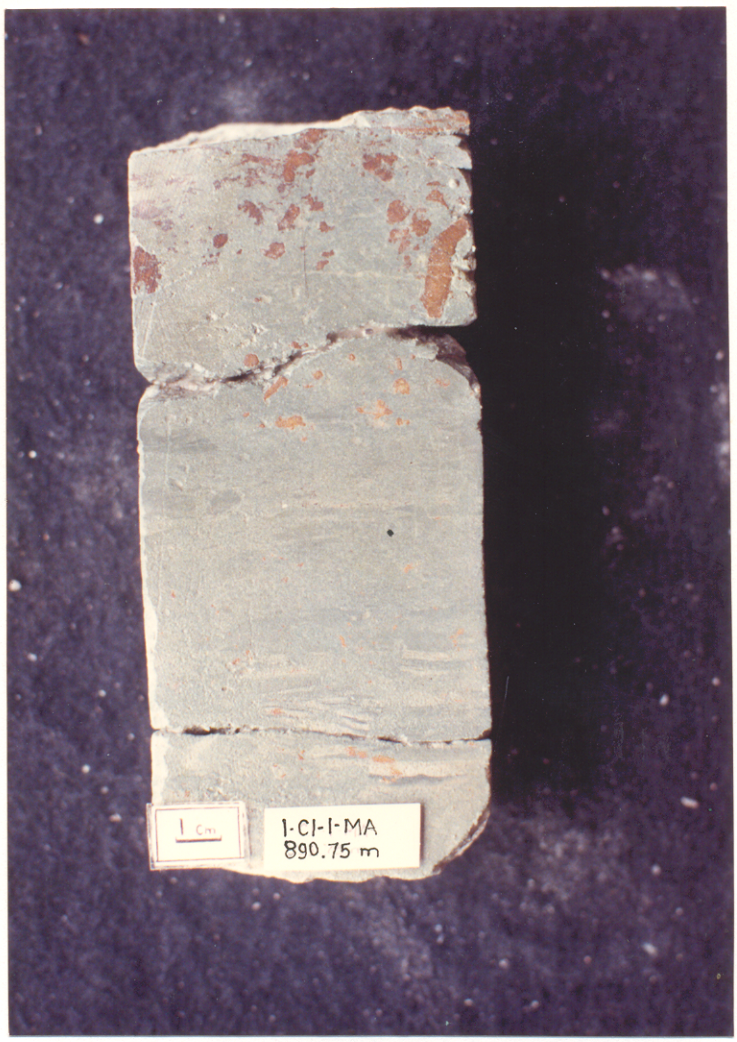


Figura 20 -Siltito bioturbado (facies Sb) com acamamento lenticular.

4.2.7 - Folhelho e siltito intercalados (FS)

Esta facies é caracterizada por níveis intercalados de folhelhos e siltitos, formando delgadas camadas cíclicas. Subordinadamente, ocorrem camadas de arenito muito fino na parte superior ou no topo da unidade. Os folhelhos e arenitos variam na cor, de branco a cinza, enquanto os siltitos mostram cores mais esbranquiçadas. Em termos de estruturas, os siltitos apresentam laminações plano-paralela e cruzada e os arenitos (Figura 21), comumente calcíferos, mostram-se, em geral, maciços ou com feições de fluidização. Os folhelhos, por sua vez, são laminados. Nódulos carbonáticos e de enxofre, microslumps, fragmentos de carvão e fósseis de ostracodes e gastrópodes estão distribuídos em toda a facies. Contorções e misturas destes componentes são comuns.

De acordo com as características físicas desta facies, ocorreram processos alternantes de tração e suspensão em situação de rápida deposição.

Esta facies está restrita ao poço 1-PE-1-MA e apresenta espessuras de até 8.0 m (Figura 22).

4.2.8 - Folhelho/Carbonato com laminação ondulada-rugosa (Fo)

Este folhelho de cor cinza-escuro, alternando com carbonato, exibe uma laminação de espessura milimétrica ondulada e rugosa (Figura 23).

A estrutura ondulada sugere origem biogênica para esta facies. Este tipo de acamamento é atribuído à presença de tapetes

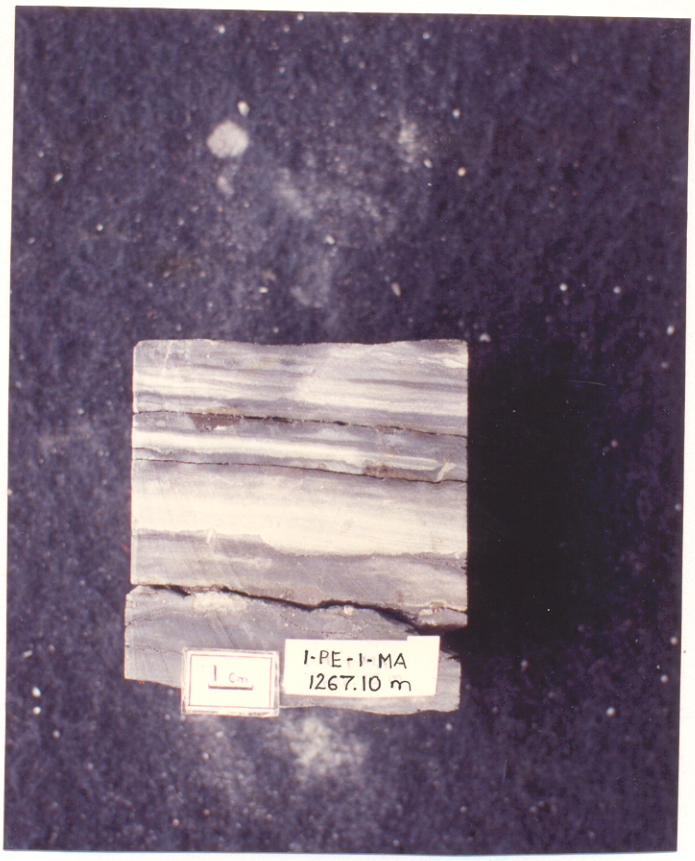


Figura 21 -Folhelho e siltito (facies FS) com laminação plano-paralela.

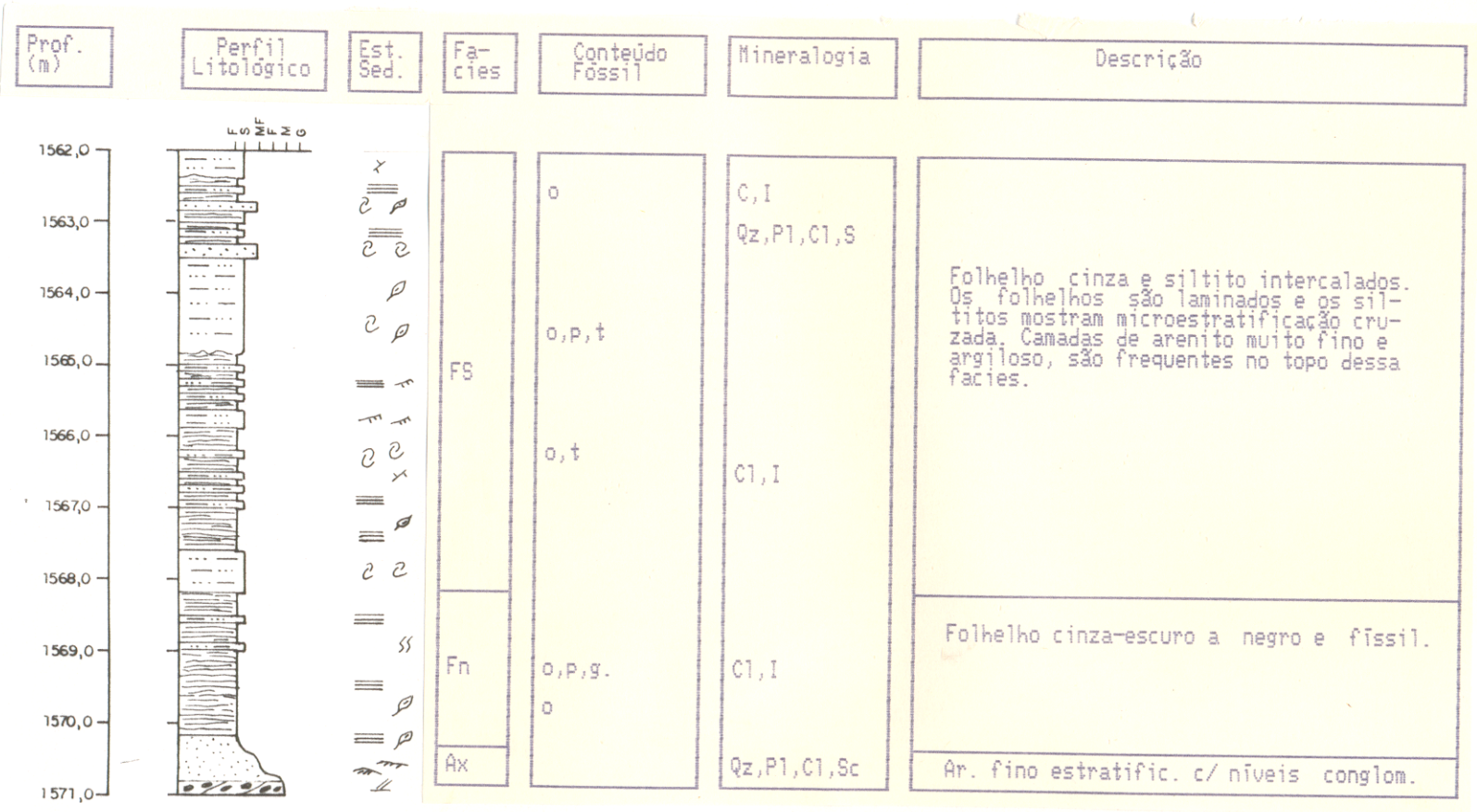


Figura 22 - Perfil litológico e características das facies diagnosticadas no testemunho 2 do poço 1-PE-1-MA.

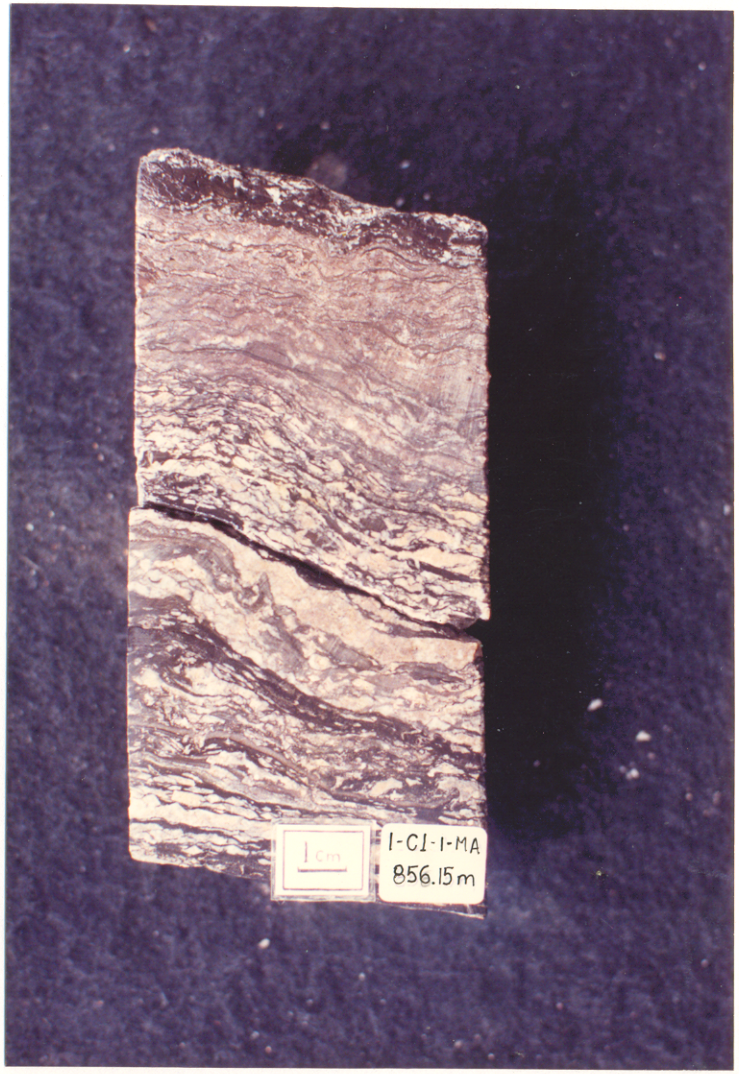


Figura 23 -Folhelho (facies Fo) com carbonato intercalado exibindo fino acamamento ondulado-rugoso. Este tipo de estrutura sugere origem algálica ("algal mats" ou "microbial mats").

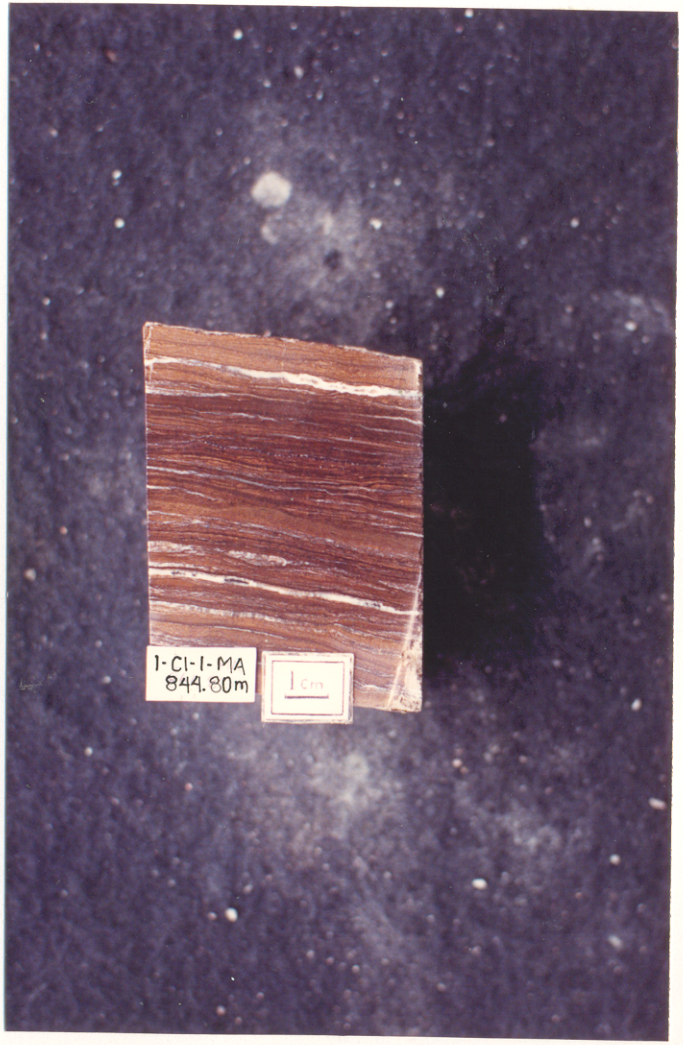


Figura 24 -Folhelho marrom (facies Fd) laminado e co-lâminas intercalações de calcita e gipsita.

algálicos, responsáveis pelo trapeamento do sedimento argiloso durante a deposição.

A facies Fo encontra-se no poço 1-CI-1-MA e tem espessura de 0.30 m.

4.2.9 - Folhelho negro (Fn)

O folhelho negro a cinza escuro exibe alto grau de fissilidade e grande conteúdo em matéria orgânica carbonosa. Particularmente, foi observada nesta facies a presença de uma biota exclusiva, composta por partes esqueletais de holotúrios (vide descrição no capítulo 7), fragmentos de espinhos de equinoídes, cistos de dinoflagelados, gastrópodes e moldes de carapaças de ostracodes. Com exceção dos equinodermas e dinoflagelados, os outros organismos ocorrem com frequência.

Este folhelho ocorre em intervalos de 5.0 a 8.0 m de espessura, nos poços 1-RL-1-MA (testemunho nº 3) e 1-CI-1-MA (testemunho nº 4) (Figura 13).

4.2.10 - Folhelho de cores diferenciadas (Fd)

Este folhelho constitui uma facies muito característica da Formação Codó que é aqui definida por integrar um conjunto de folhelhos normalmente ricos em matéria orgânica com uma grande variação vertical de cores. Destacam-se:

A) Folhelho betuminoso, ferruginoso, de cor marrom. Esse folhelho é predominante e possui maior representatividade no poço

1-CI-1-MA. Com boa compactação, frequentemente mostra intercalações carbonáticas, formando lâminas (1.0 cm) ou níveis de camadas que variam de 1.0 a 3.0 cm de espessura. Não raramente, o folhelho exibe fissuras que são preenchidas por gipsita de cor branca com hábito fibroso, e calcita formando crostas de espessura milimétrica (Figura 24). O crescimento destas crostas, muitas vezes provocou o surgimento de pseudo-ondulações.

O acamamento predominante é a laminação plano-paralela muito fina, com ondulações subordinadas (Figura 25). Gretas de contração (Figura 26), estruturas de "tepees" (Figura 27), formação de calcrete (Figura 28), concreções carbonáticas (Figura 29) e níveis de "hardground" (milimétricos) (Figura 30) são estruturas peculiares desta facies (Figura 31). Os "tepees", embora em pequena escala, são semelhantes àqueles maiores descritos por Assereto & Kendall (1977).

Algumas feições sedimentológicas exclusivas podem ser notadas como variação destes folhelhos: por exemplo, o eventual surgimento ordenado de lâminas de calcita, de espessura milimétrica - a calcita apresentando cor branca e textura fina a média (Figura 32) - e, finalmente, níveis enriquecidos em ostracodes, caracterizando uma laminação muito fina (Figura 33).

B) Folhelho cinza-esverdeado, calcífero. Está frequentemente associado a camadas carbonáticas com textura muito fina (Figura 34) e contém, também, pequenas concreções de calcita de tamanho milimétrico e pirita concentradas nos planos de estratificação. Esta variação litológica é comumente observada no poço 1-IV-1-MA (Figura 35).

C) Folhelho vermelho, finamente laminado, exibindo também lâminas e lentes de arenito muito fino, bem como, microestratificação cruzada (Figura 36). Não apresenta estruturas biogênicas. Este folhelho encontra-se intercalado às facies Ac e Ax, no poço 1-RL-1-MA.

O predomínio de uma laminação muito fina, observado nesta facies representa deposição a partir de suspensão, enquanto, processos trativos ocasionais acumularam as areias intercaladas. A característica betuminosa (folhelho marrom) evidencia condições redutoras, assim como, a presença de pirita disseminada.

A ocorrência de calcrete e níveis de "hardground" apontam para frequentes períodos de interrupção na sedimentação, assim como estruturas de "tepees", gretas de dissecação e a presença de crostas carbonáticas e de gipsita formadas sob condições subaéreas.

Figura 25 -Folhelho marron-creme (facies Fd) com laminação plano-paralela.

Figura 26 -Gretas de dissecação desenvolvidas em folhelho (cor escura) com "tepee senil" associado. Notar o preenchimento das gretas por carbonato.

Figura 27 -Folhelho marrom com estrutura de "tepee".

Figura 28 -Calcrete com microfraturas associado a folhelhos da facies Fd.

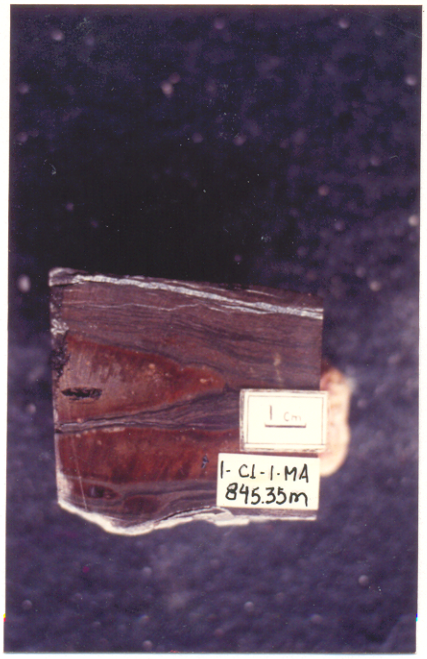


Figura 29 -Folhelho marrom com formação de concreções carbonáticas e calcita (cor branca), preenchendo finas fraturas.

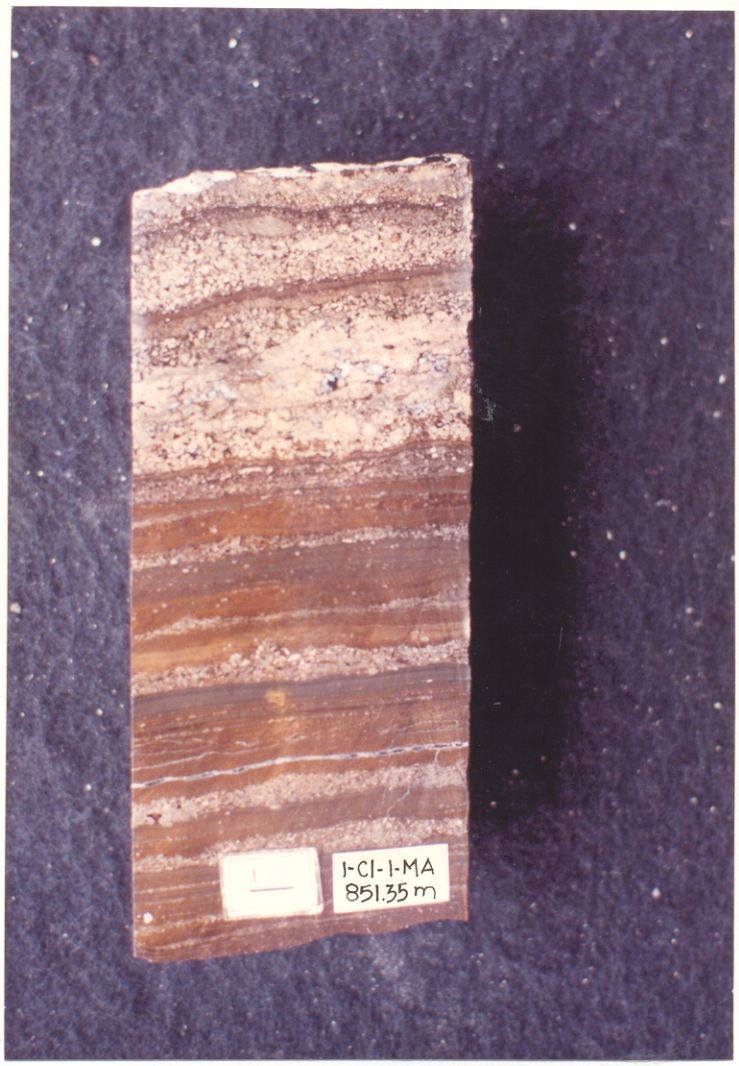


Figura 30 -Folhelho marrom (facies Fd) rico em matéria orgânica, com acamamento laminado, intercalações carbonáticas, e níveis de "hard-ground" (lâminas escuras).

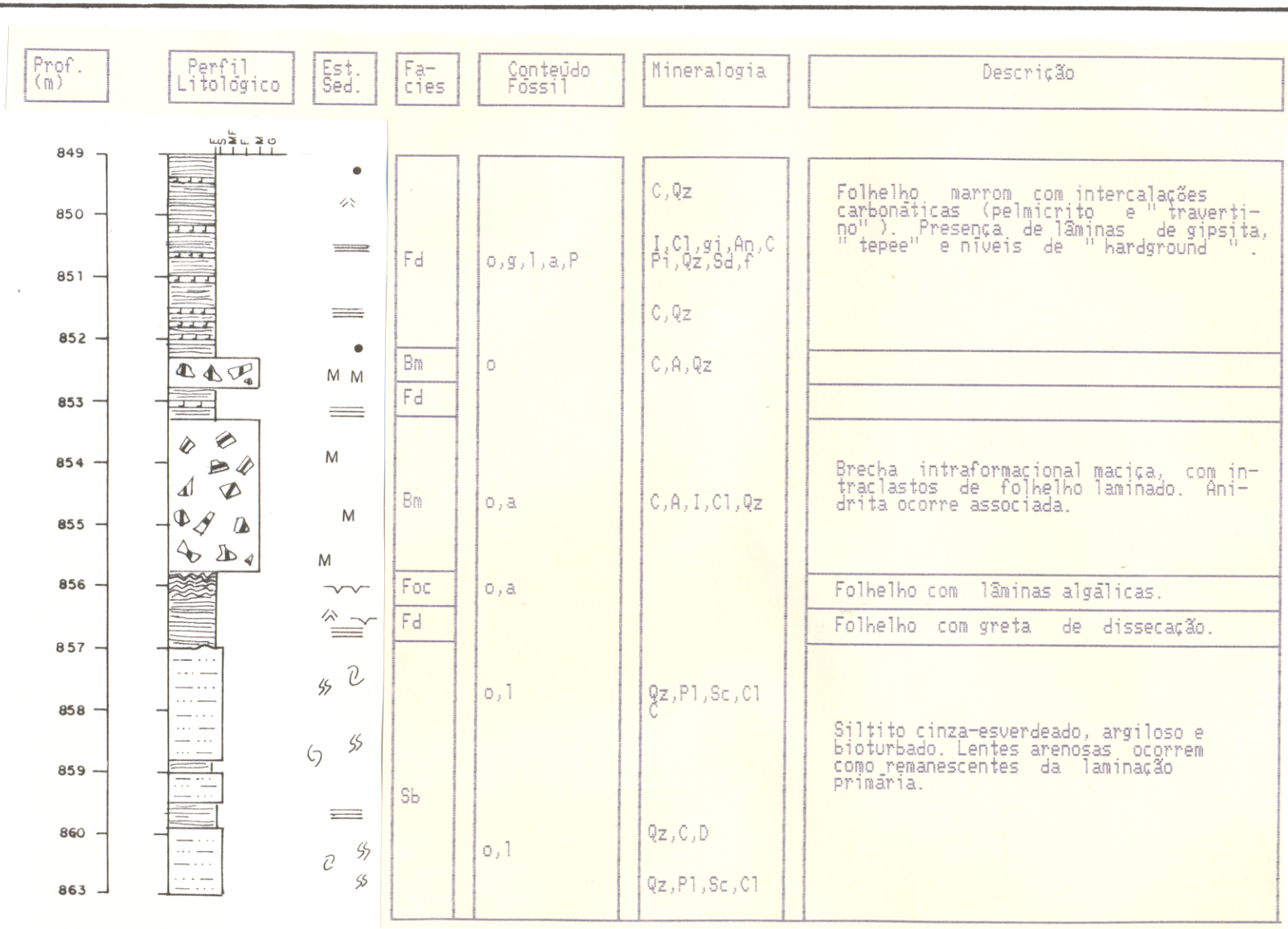


Figura 31 - Perfil litológico e características das facies diagnosticadas no testemunho 3 do poço 1-CI-1-MA.

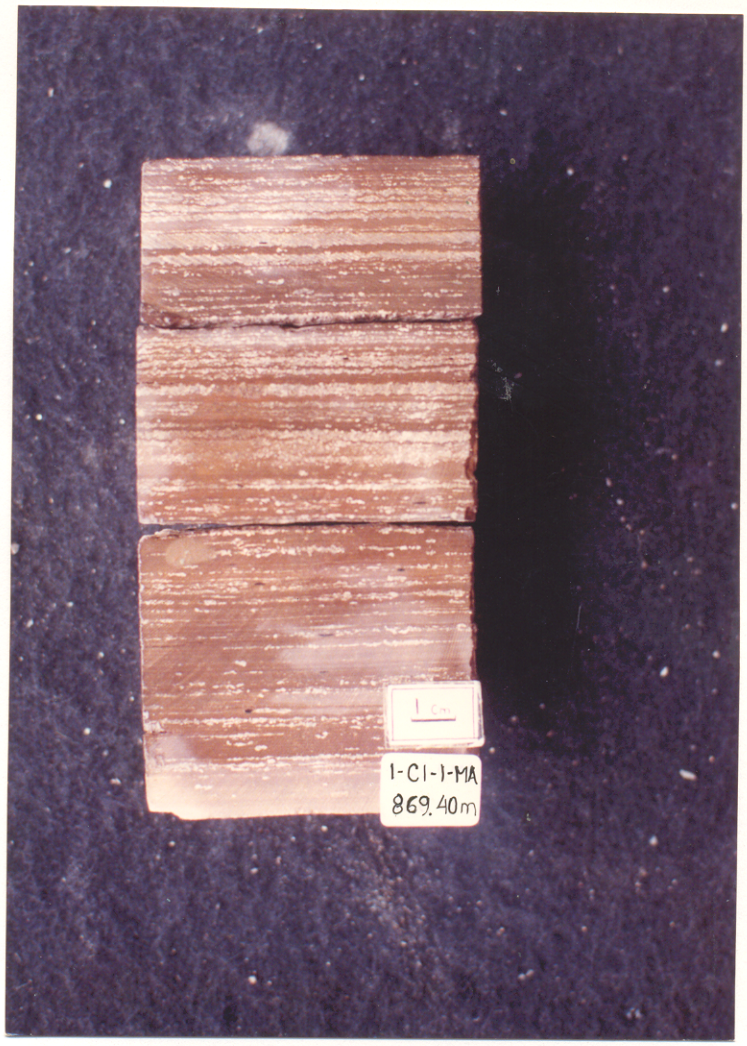


Figura 32 -Folhelho marrom (facies Fd) com calcário intercalado exibindo acamamento plano-paralelo a levemente enrugado.

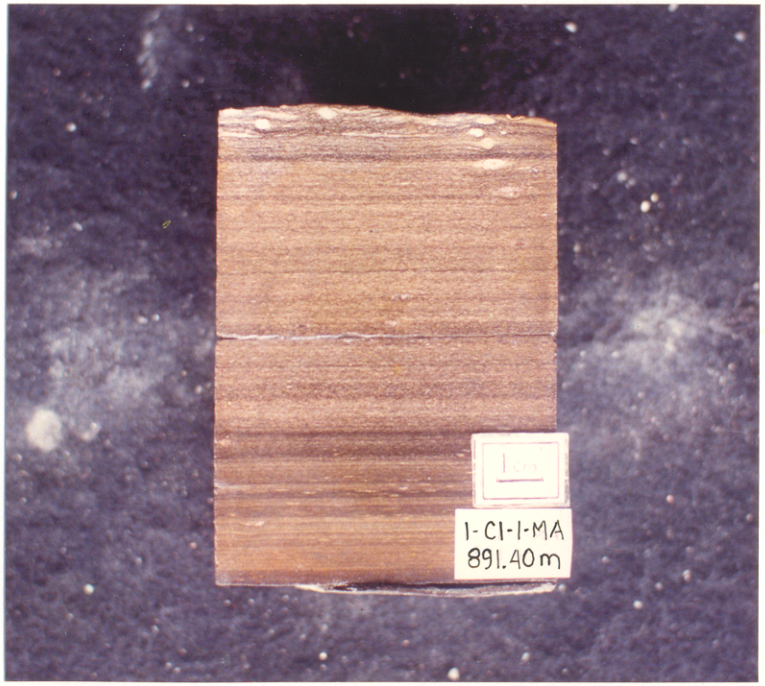


Figura 33 -Folhelhos marrom (facies Fd) com acumulação de ostracodes (ostracodito).

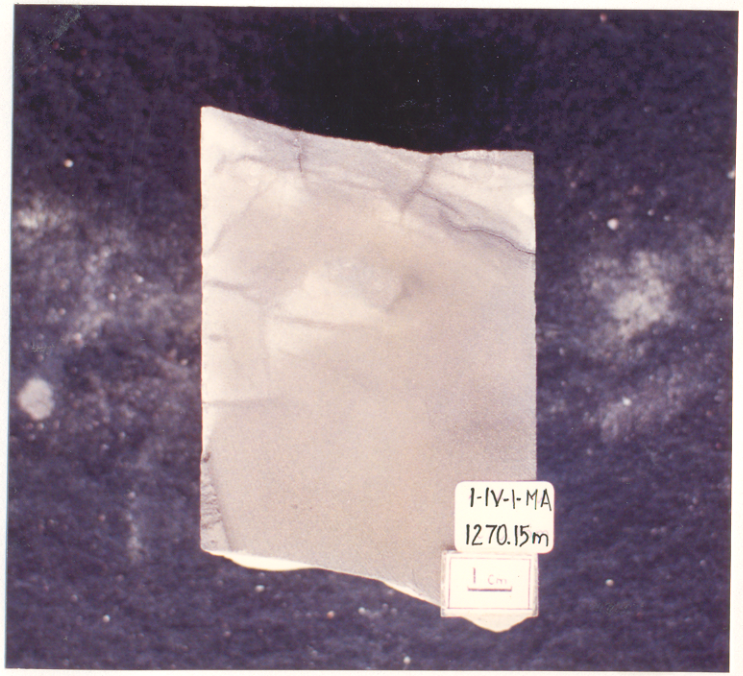


Figura 34 -Calcário (biomicrito) maciço intercalado em folhelhos de cor cinza da facies Fd.

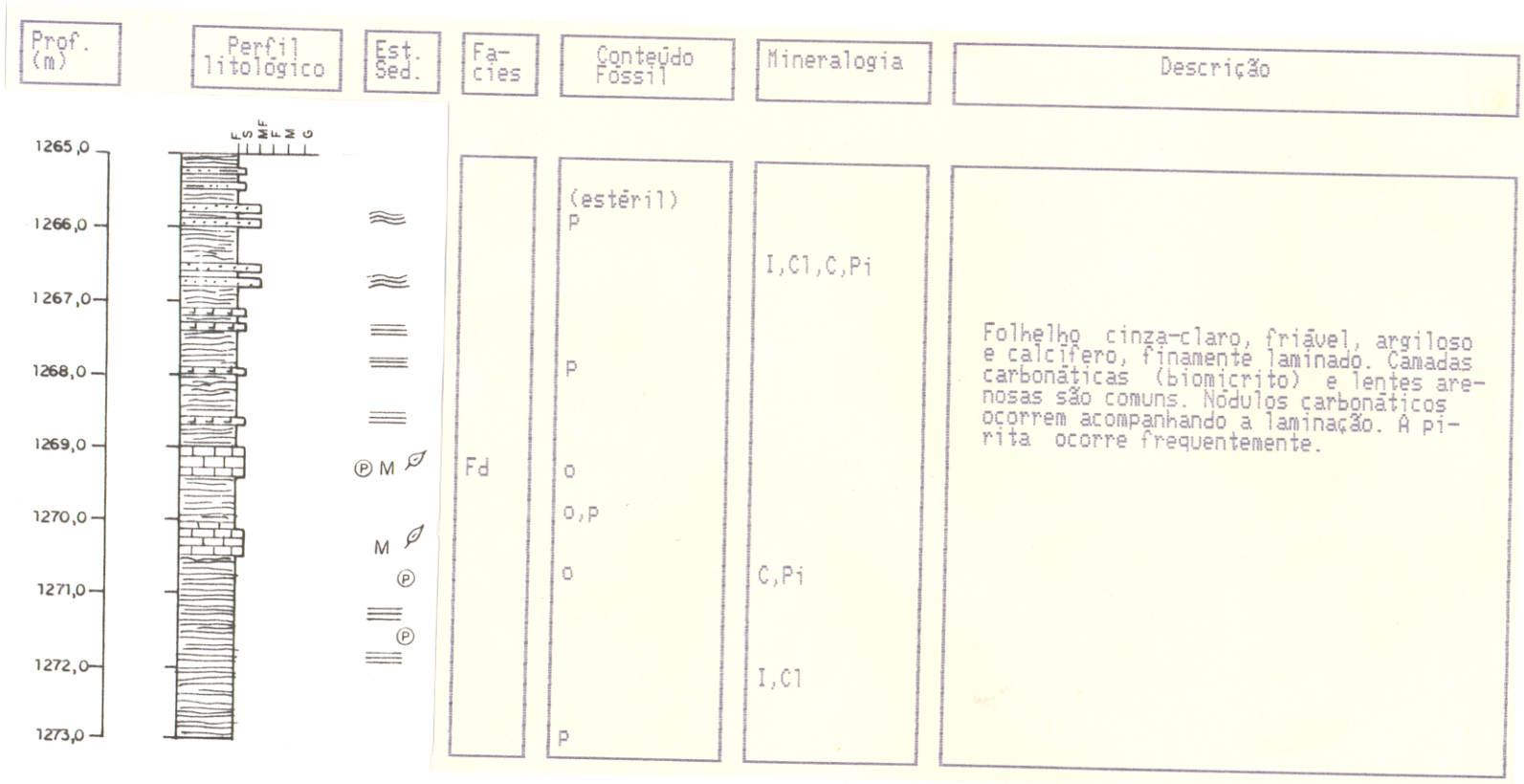


Figura 35 - Perfil litológico e características da facie diagnosticada no testemunho 1 do poço 1-IV-MA.

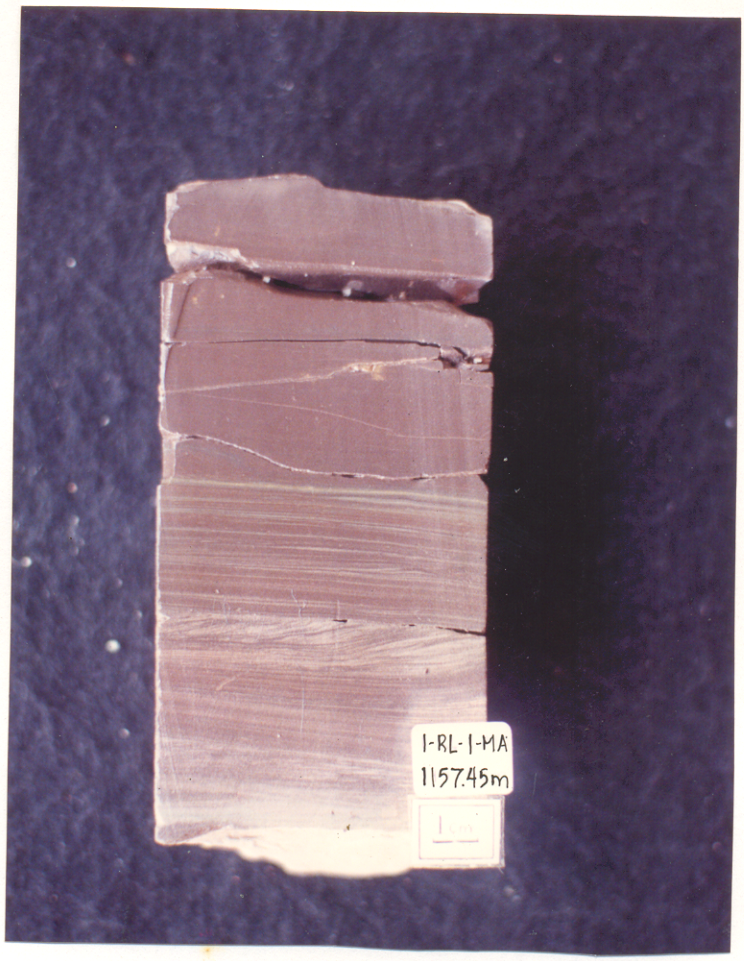


Figura 36 -Folhelho vermelho com laminação plano-paralela (facies Fd); parte mais arenosa apresenta "ripple bedding".

5 - ASPECTOS MINERALÓGICOS E MICROFACIOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados alguns dados sobre os tipos de argilominerais encontrados em folhelhos e arenitos da seqüência Codó-Grajaú sem recorrer, entretanto, a sua quantificação. Do mesmo modo, é tratada a microfácies dos carbonatos. Como a petrografia dos arenitos é estudada pelo Setor de Laboratório do Distrito de Exploração da Petrobrás, ela não faz parte deste trabalho.

Os tipos de argilominerais são os mesmos, tanto nos folhelhos como nos arenitos. Ocorrem ilita, clorita, caulinita (Figura 37) e os interestratificados ilita-esmectita (Figura 38) e clorita-esmectita. Associados a estes minerais, nos folhelhos, encontram-se calcita, dolomita, gipsita, pirita e fosfato. Todos esses, com exceção do fosfato, representam constituintes diagenéticos.

Os carbonatos, geralmente intercalados aos folhelhos, ocorrem em forma de biomicrito, pelmicrito (Figura 39) e calcário espático, este último caracterizado por apresentar cristais fibrosos bastante compridos com fábrica radial (crescendo sobre núcleos de diferentes origens) ou dispostos radialmente em "clusters" com forma de leque (Figuras 40, 41 e 42).

Níveis de pelmicrito são mais frequentes nos folhelhos betuminosos. Os "pellets", de cor cinza, mostram geralmente formato elongado, bom "selecionamento" e textura microcristalina (Figura 39).

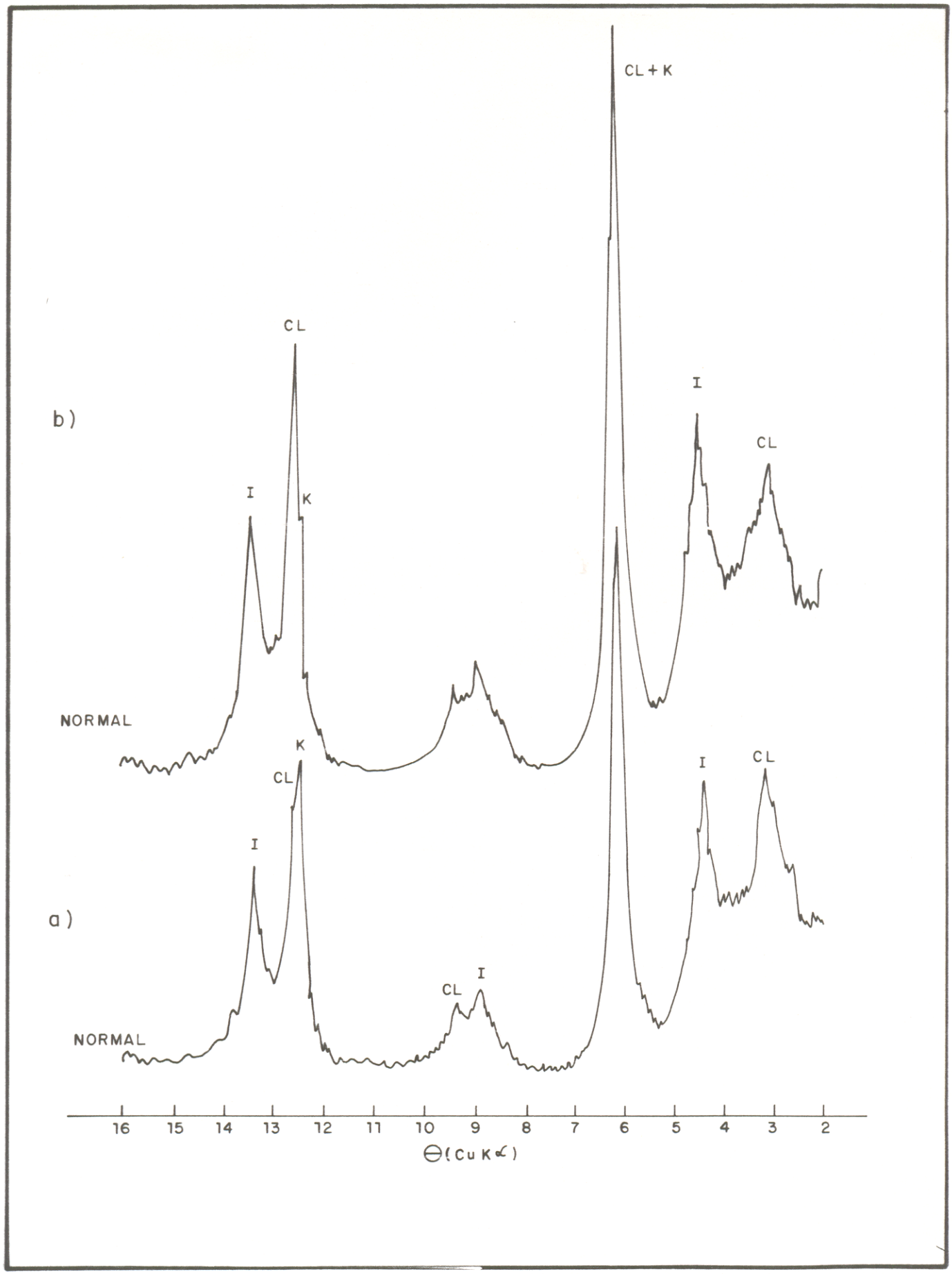


Figura 37 - Diagramas de difração de raio-x de amostra de (a) folhelho da facies Fn e de (b) intraclastos pelíticos da facies Cgx. Poço 1-RL-1-MA; profundidades 1172,80 m e 1172,50 m, respectivamente. Os I= Ilita; Cl= Clorita; e K= caulinita.

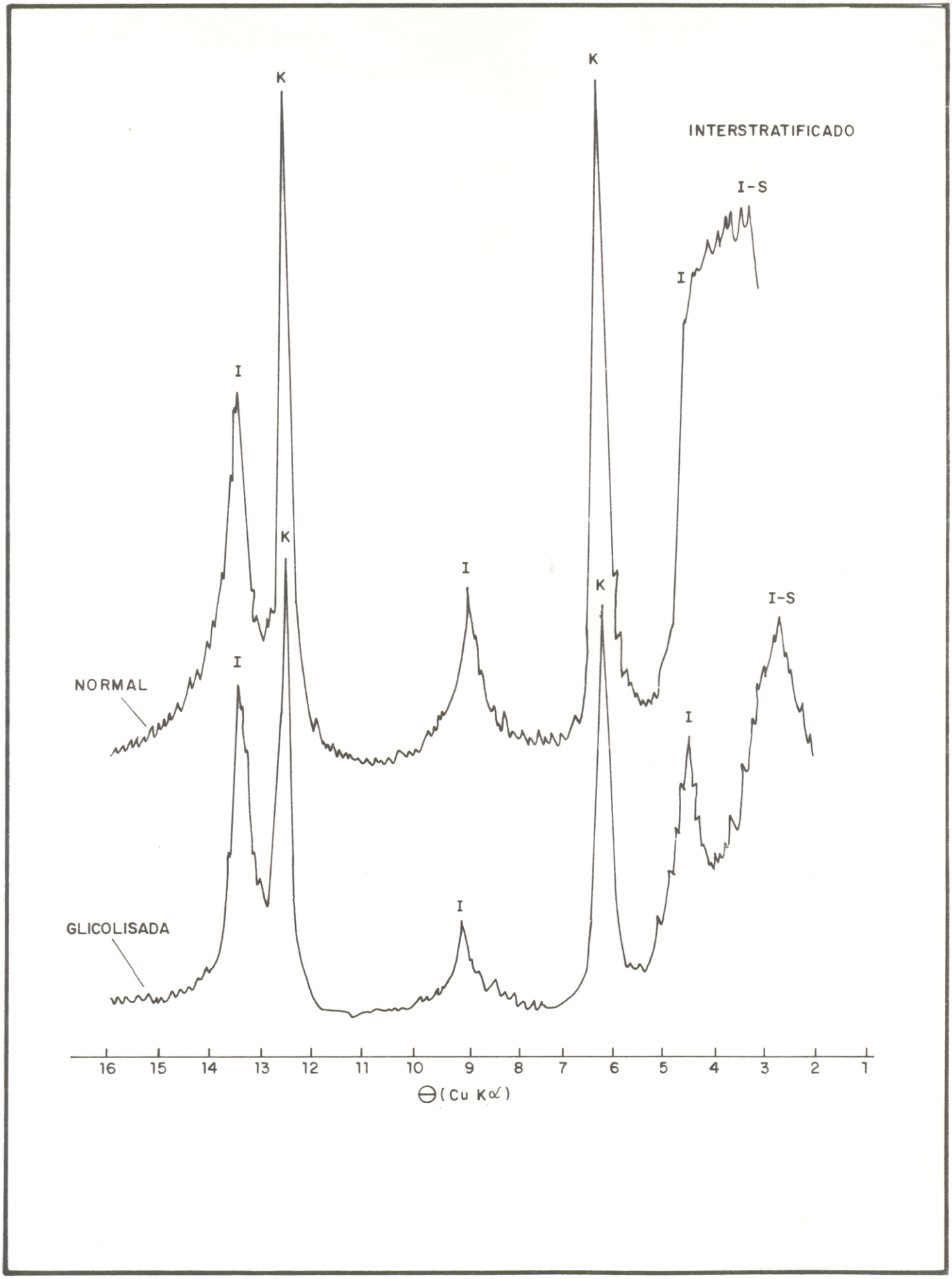


Figura 38 - Diagramas de difração de raio-x de amostra de folhelho da facies Fn do poço 1-RL-1-MA(1174,60 m).I= Ilita; K= Caulinita; e IS= interestratificado Ilita-Esmectita.

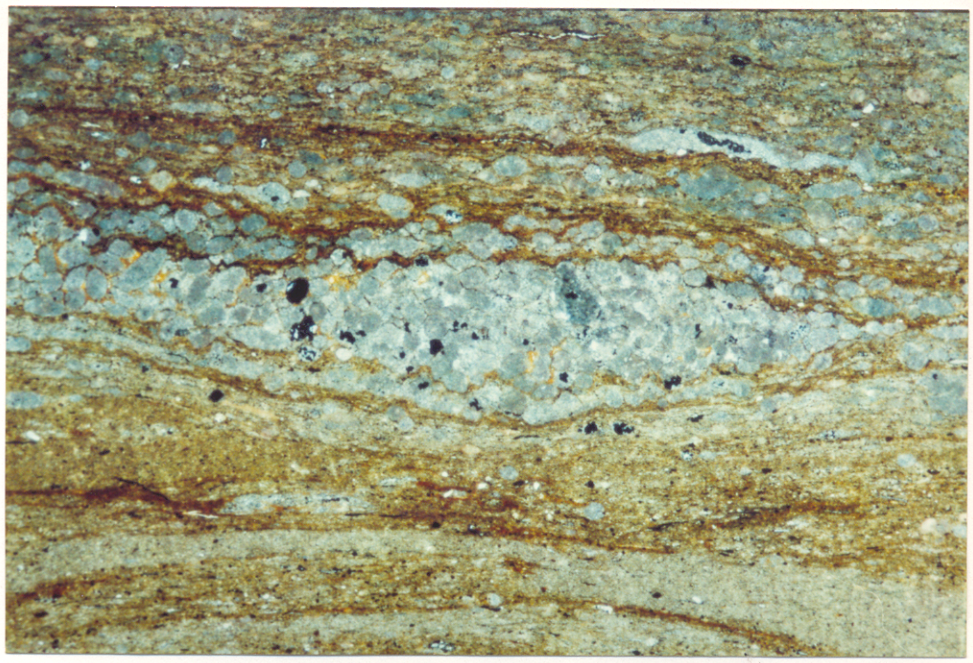


Figura 39 -Folhelho da facies Fd com laminação ondulada. No centro, lente de pelmicrito. Fotomicrografia.

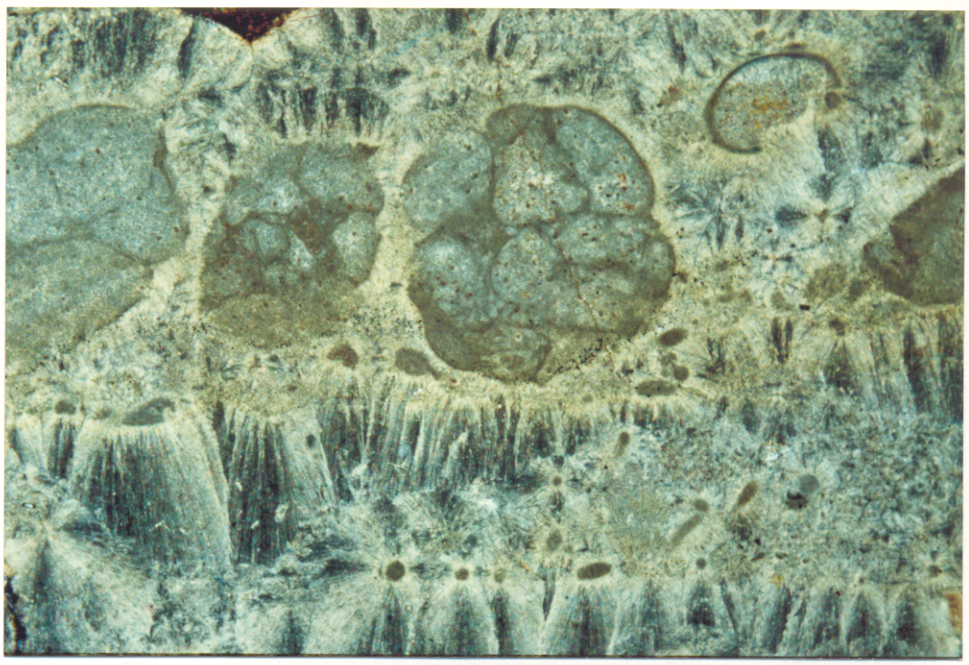


Figura 40 -Travertino ? mostrando fábrica radial-botroidal com cristais fibrosos de calcita orientados perpendicularmente sobre núcleos diversos, em parte de origem algálica ?. Fotomicrografia, Nicóis cruzados.

O biomicrito, intercalado preferencialmente aos folhelhos cinza-esverdeados do poço 1-IV-1-MA, é constituído quase que exclusivamente por fragmentos de carapaças de ostracodes e alguns "pellets", restos vegetais carbonizados, grãos de quartzo e pirita.

Carapaças fragmentadas de ostracodes altamente compactadas foram observadas, também, no folhelho betuminoso, conferindo ao sedimento uma laminação ondulada (Figura 43). Algumas valvas encontram-se completamente substituídas por fosfato (Figura 44).

O calcário espático, exibindo cristais fibrosos de calcita, tem certas características que permitem interpretá-lo, tentativamente, como travertino. Acredita-se que as seguintes feições sejam importantes neste sentido: estrutura laminada, fábrica radial-botroidal e cristais fibrosos de calcita orientados perpendicularmente sobre núcleos ? algálicos (Figuras 40 a 42) (vide Julia 1983). Poros, em parte, bastante elongados e fraturas neste carbonato são comumente preenchidos por gipsita.

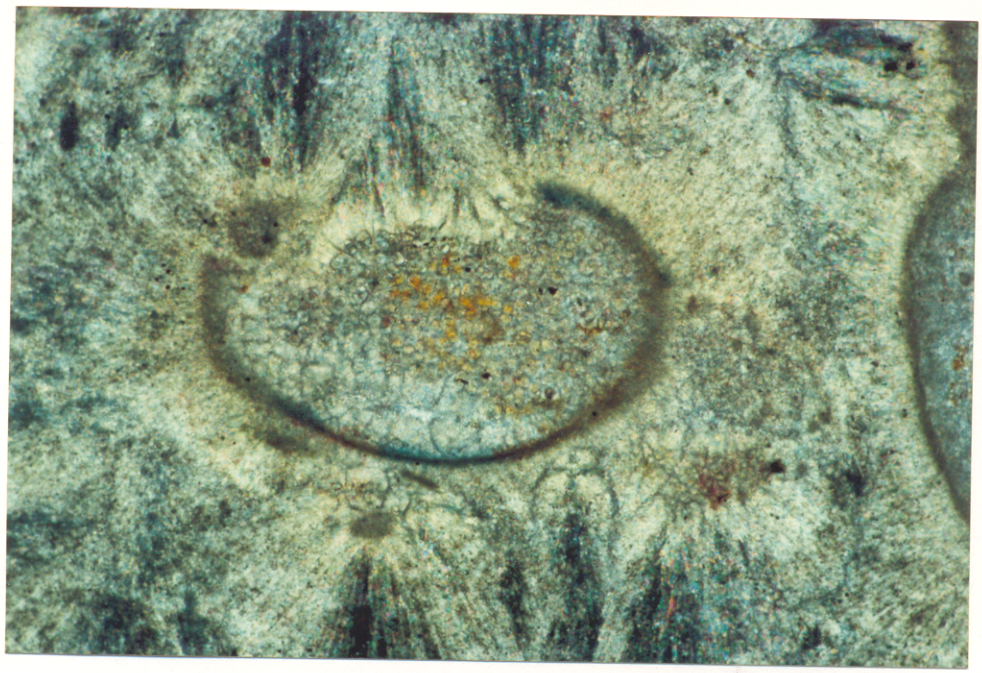


Figura 41 -Detalhe da foto 35, mostrando ostracode micritizado com estrutura geoptal.

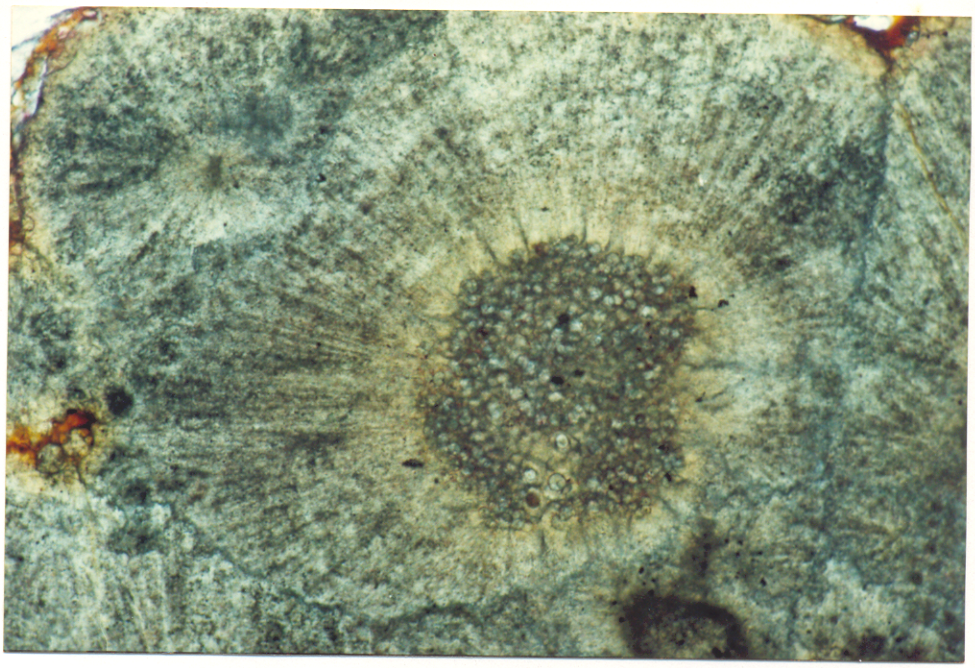


Figura 42 -Calcita fibrosa radial em volta de núcleo algálico ?. Fotomicrografia. Nicóis cruzados.

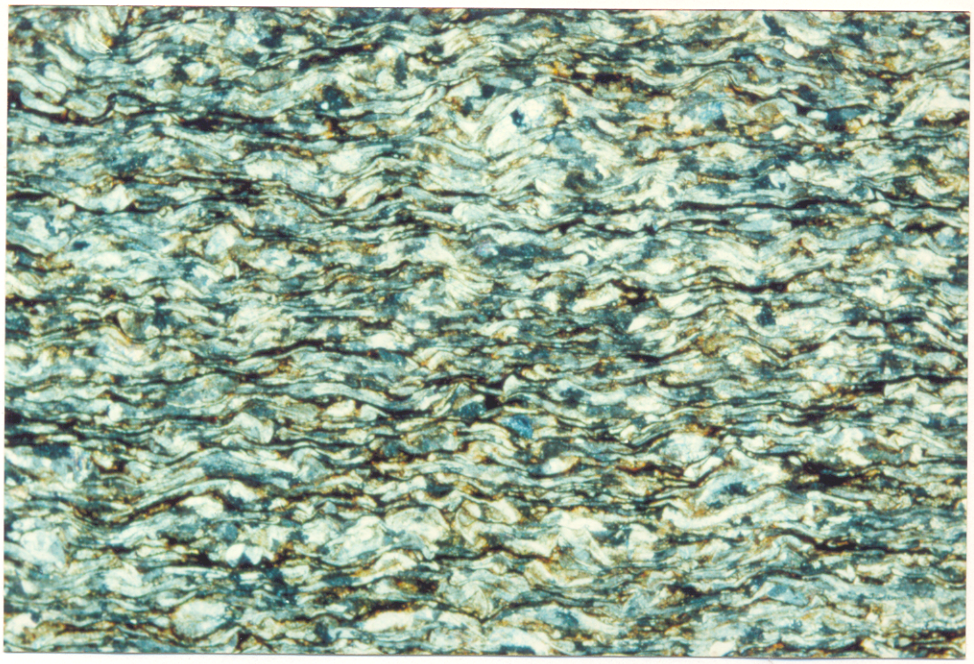


Figura 43 -Folhelho marrom da facies Fd, rico em valvas de ostracodes desarticuladas, exibindo laminação enrugada. Fotomicrografia. Nicóis cruzados. Poço 1-CI-1-MA.

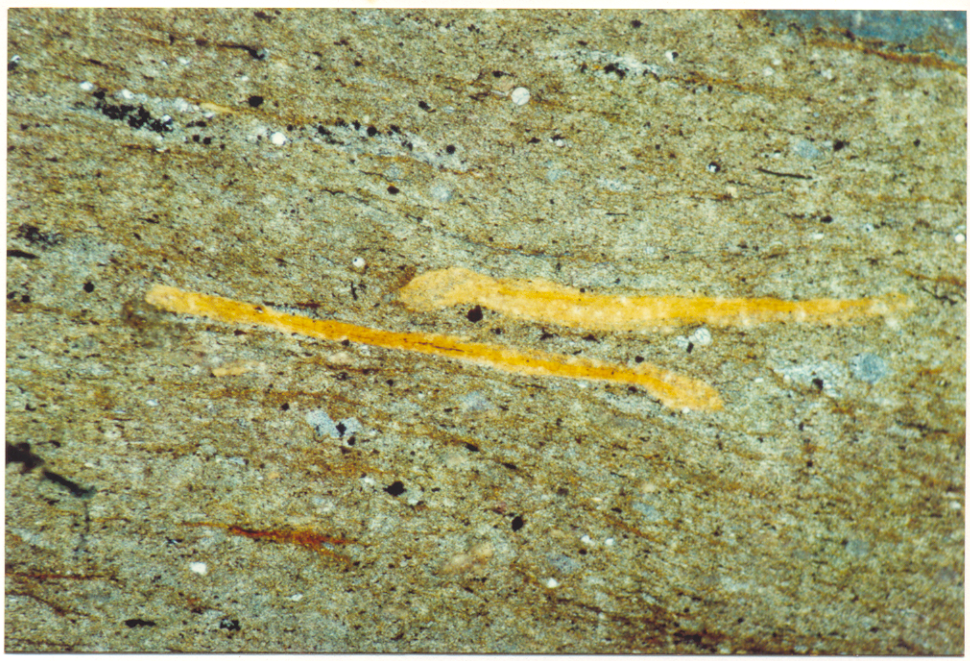


Figura 44 -Folhelho marrom da facies Fd, calcífero, com ostracode deformado e de composição fosfática.

6 - ASSOCIAÇÕES FACIOLóGICAS

6.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo são debatidas as características e interpretações ambientais fundamentadas nas descrições faciológicas, conteúdo biológico e petrografia dos sedimentos Codó-Grajaú, que tornaram possível a compreensão dos diferentes ambientes construtivos destas unidades litoestratigráficas.

Para uma melhor compreensão da distribuição relativa dos ambientes, seus respectivos subambientes e o posicionamento destes dentro do sistema, as várias facies classificadas e interpretadas no capítulo quatro foram agrupadas em cinco associações faciológicas, cada uma refletindo o produto de processos deposicionais particulares. As descrições detalhadas destas associações e seus ambientes são apresentadas a seguir.

6.1.1 - Associação A

A associação faciológica A é constituída pelas facies Cgp e facies Ax.

Este conjunto está localizado na porção leste da seção estudada e ocorre apenas no poço 1-PE-1-MA. O caractér muito friável dos sedimentos conglomeráticos, o pouco material testemunhado (aproximadamente 5.0 metros), e a falta de microfósseis não abriram muito espaço a discussões. Portanto, a interpretação ambien

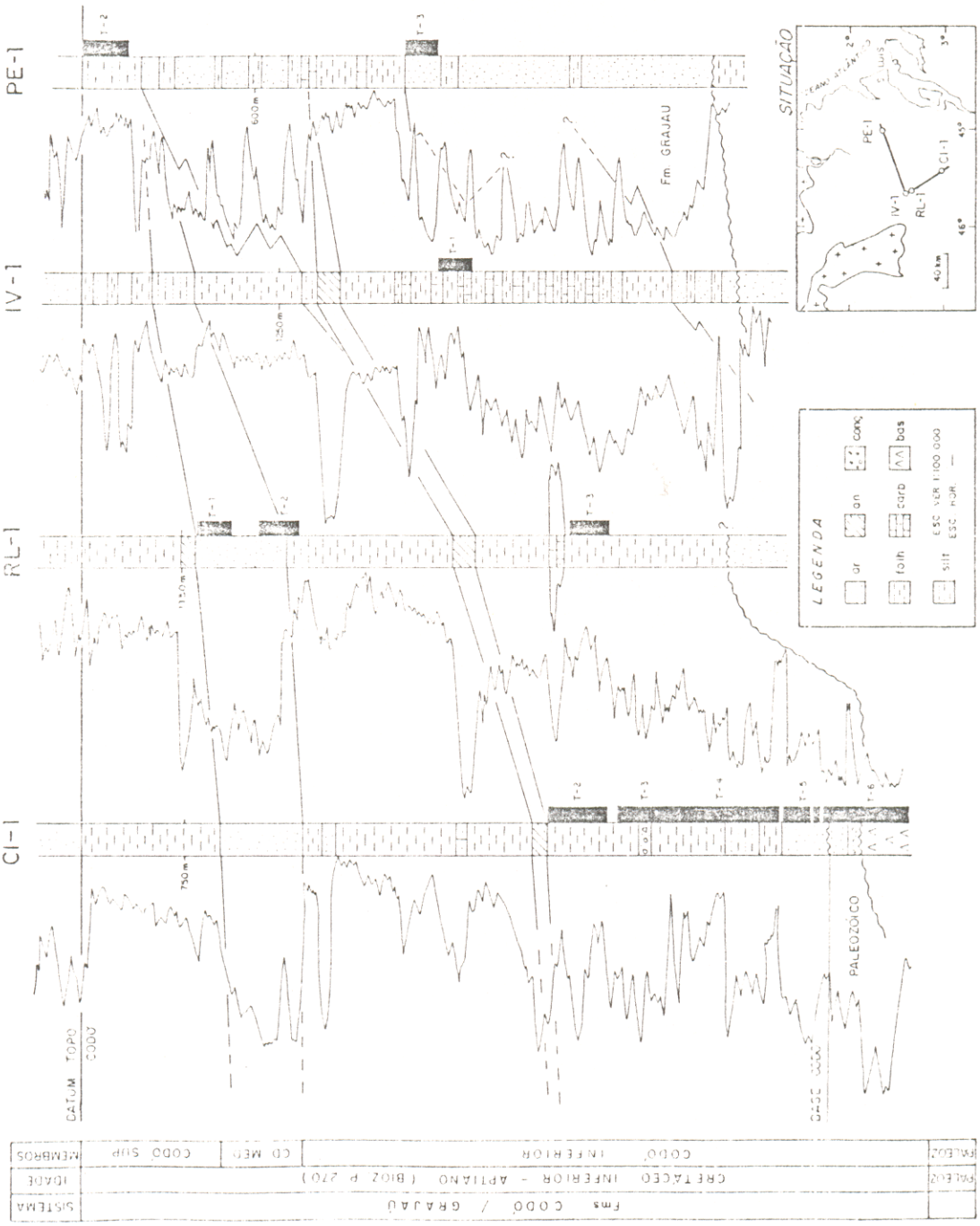


Figura 45 -Seção esquemática SE-NE na Bacia de São Luís ilustrando a distribuição espacial da Formação Codó (Membros: Inferior, Médio e Superior) e os arenitos da Formação Grajaú. O mapa de situação mostra a localização dos furos de sondagem utilizados. (o datum tem referência litológica).

tal para essa associação parte, apenas, das observações texturais, do posicionamento desta seqüência em borda de bacia e da expressiva espessura litológica apresentada no perfil de correlação (Figura 45).

A geração destes sedimentos é condicionada a processos físicos com elevado nível de energia de corrente. Em função deste aspecto, da predominância de grandes seixos de composição variada e do seu posicionamento próximo à borda da bacia, esta associação sugere depósitos de leques aluviais. Os sedimentos arenosos finos a médios (facies Ax) com estratificação cruzada indistinta, em continuidade aos depósitos conglomeráticos da facies (Cgp) representam redução no gradiente da energia de fluxo, o que favoreceu a deposição deste complexo.

Através da correlação dos perfis de raio-gama, uma interdigitação destas camadas arenosas com os sedimentos argilo-carbonáticos (facies Fd) bacia adentro é notada.

6.1.2 - Associação B

A associação B é composta principalmente pelas facies Cgx, Ax e Ac, enquanto Sb e Fd ocorrem subordinadamente. O melhor exemplo desta associação está documentado no poço 1-RL-1-MA. Esse conjunto possui, em média, 25 m de espessura. As espessuras maiores encontram-se na porção mais central da bacia diminuindo em direção à borda leste (Figura 45).

Em caratér mais global, esta assosciação constitui um conjunto de facies que define uma seqüência litológica determinada por vários pequenos ciclos do tipo "fining-upward", iniciando com conglomerados (facies Cgx) e terminando com folhelhos (facies Fd) (Figura 8). A interrupção destes ciclos é freqüente e originado, possivelmente, pela variação na razão de suprimento dos sedimentos.

Um contato erosivo é bem marcado entre as facies Cgx e Fn, esta última pertencente à associação D que será descrita posteriormente.

Em correspondência às características acima apresentadas e as discussões consideradas para as litofácies principal e subordinadas, que compõem essa associação, este grupo foi interpretado como depósitos flúvio-deltaicos.

Acredita-se que os ciclos de "fining-upward" junto à presença da estratificação cruzada, "climbing-ripples", etc, tenham se desenvolvido em seqüências de canais distributários, na planície deltaica, em resposta a um decréscimo do nível energético d'água. Os folhelhos avermelhados (facies Fd) e siltitos bioturbados (facies Sb) são provavelmente depósitos da baía interdistributária e/ou de planície de inundação.

A coloração avermelhada apresentada pelas facies Fd e Ac e a intensa bioturbação apresentada pela facies Sb mostram que estes depósitos sofreram processos edáficos, as vezes muito fortes, como no caso da facies Ac. Um exemplo do resultado destes processos pode ser visto na Figura 17, que evidencia formação de paleossolo.

6.1.3 - Associação C

Esta associação consiste das facies Sb e Ax e encontra-se, especificamente na porção basal do poço 1-CI-1-MA, situado na parte mais central da bacia.

A deposição destas camadas inicia-se, na base, com repetitivas seqüências do tipo "coarsening-upward", formadas por camadas de siltito bioturbado, que gradam acima para camadas de arenitos com estratificação cruzada (Figura 14).

De acordo com o padrão deposicional (o acamamento e a sua textura) esta associação faciológica pode ser interpretada como depósitos de lobos deltaicos que progradaram para o interior do ambiente lagunar (associação E).

A origem dos lobos de suspensão estaria relacionada à entrada de correntes fluviais no lago. Com a entrada no lago estas correntes sofreriam uma diminuição muito rápida da velocidade do fluxo, formando jatos turbulentos. As condições para este tipo de descarga rápida é exemplificada por Davis (1983), que expõe fatores determinantes para processos de rios que desembocam em lagos. Sedimentação proximal e distal para este tipo de delta é bem documentada por Surdam & Stanley (1978).

6.1.4 - Associação D

Dentre as litologias desta associação, destacam-se os folhelhos cinza escuro e siltitos esbranquiçados que constituem a facies FS, e os arenitos finos, cinza-esverdeados, da facies Ax.

A associação D foi registrada apenas na borda leste da bacia, no poço 1-PE-1-MA (testemunho nº 2). Apresenta espessura máxima de 8.5 m.

A seqüência dominante compõe maiores espessuras e maior freqüência de folhelhos e siltitos da facies FS. Camadas arenosas (facies Ax) ocorrem intercaladas. Os arenitos são caracterizados pelo aspecto maciço resultante, talvez, de processos de fluidização. Pirita e resíduos de matéria orgânica são fortes componentes deste conjunto.

Embora as feições apresentadas não se revelem muito diagnósticas, a presença de laminação paralela, "climbing-ripples", ôndulas truncantes (principalmente nos siltitos), e acamamento gradual normal em pequena escala, sugerem processos deposicionais causados por ação de ondas, a partir de suspensão e por tração, em ambiente lacustre marginal. A ausência de fósseis marinhos auxiliou nesta interpretação. Algumas estruturas, como microslumps e microfalhamentos, indicam instabilidade deposicional.

6.1.3 - Associação E

Compreende o conjunto das facies Fn, Fd, Bm e Fo, caracterizado principalmente por folhelhos finamente laminados, negros e marrons, com intercalações carbonáticas ocorrendo, subordinadamente, brechas intraformacionais e folhelhos algálicos.

No perfil de correlação, esta associação apresenta uma espessura aproximada de 50 m onde ocorrem camadas evaporíticas (detectadas em perfil raio-gama). No contexto maior, esta associação ocupa a parte mais distal da bacia, na direção oeste.

Estruturas de exposição subáerea são frequentes e foram identificadas como gretas de dissecação e "tepees"; além disso ocorrem calcretes (facies Fd). Concreções carbonáticas, nódulos de pirita, crostas carbonáticas representam as principais feições diagenéticas desta associação.

Estas informações sugerem que a associação E formou-se em águas relativamente rasas de um lago (presença de ostracodes de água doce, polens e esporos - Capítulo 7) que, em determinados períodos, experimentou plenas condições marinhas (presença de dinoflagelados, equinoídes e holotúrios - Capítulo 7).

O grande número de facies associadas demonstra a rápida variação vertical e lateral neste sistema, em parte, bem documentada no perfil litológico de correlação (Figura 45) onde o intervalo de folhelhos essencialmente betuminosos e fossíliferos passa para intervalos litológicos de composição argilo-calcíferas, com intercalações de carbonatos biomicríticos (facies Fd).

Um aspecto importante desta associação é a grande acumulação de ostracodes na parte inferior da associação E, onde um pacote de arenitos (facies Ax) e siltitos (facies Sb) está assentado diretamente sobre as litologias representativas da facies Fd, rica nesses crustáceos. Tais acumulações de ostracodes, segundo Milhomen (1987), resultam da alta taxa de mortandade daqueles organismos, provocada por um influxo de sedimentos arenosos, associados a tempestades. Contudo, o corpo arenoso é aqui interpretado como

possível conjunto de lobos de suspensão (associação C), que foi introduzido no corpo aquoso, provocando o assoreamento e, consequentemente, a alta taxa de mortandade desses micro-organismos (Figura 14). Sem desconsiderar a interpretação anterior, um outro fator de contribuição para a morte expressiva desses crustáceos poderia advir, também, de uma alteração da salinidade no ambiente, sugerida pela associação desses sedimentos com camadas evaporíticas. As outras facies da associação E, designadas como Fn, Fo e Bm, apresentam em comum, evidências de condições anóxicas, tais como cor negra e presença de pirita. Demaison & Moore (1980) referem-se a estas condições como resultantes da estratificação permanente do corpo aquoso e relacionam esta causa específica às condiçôes climáticas quentes que favorecem a formação de camadas anóxicas. Em geral, as situações de anóxia estão associadas a grandes concentração de matéria orgânica e a uma maior profundidade do corpo d'água. Embora as condições redutoras estejam fortemente evidenciadas, não se justifica uma interpretação de águas muito profundas durante a deposição desses sedimentos, já que algumas estruturas de origem algálica ("algal mats") sugerem situações de águas mais rasas. A presença de feições subaéreas, tais como calcrete, estruturas de "tepees" e crostas de evaporitos, comprova as condições de um clima semi-árido nesse tempo, bem como indica interrupções na sedimentação. As mesmas condições climáticas também são definidas pelo conteúdo palinológico destes sedimentos, caracterizado pela predominância de pólens de plantas termófilas (Capítulo 7).

7 - DADOS PALEONTOLóGICOS

7.1 - INTRODUÇÃO

A paleontologia, especialmente a micropaleontologia, tem seu valor como instrumento bioestratigráfico e paleoecológico. Nos tempos atuais, seu estudo tem se intensificado bastante pela utilização na exploração hidrocarbonetos.

A integração entre o estudo de microfósseis e o de litofacies é importante, pois auxilia bastante na elucidação de ambientes deposicionais, sobretudo quando as litologias são de granulometria extremamente fina e homogênea.

O objetivo deste capítulo é apresentar os dados referentes às análises palinológicas e aos microfósseis e suas implicações ambientais.

7.2 - PALINOMORFOS

Entende-se por palinomorfos os elementos reprodutores da flora (polens e esporos) e outros micro-organismos, como quitinozoários, acritarcas, escolecodontes, fungos, algas, testas quitinosas de foraminíferos, cistos de dinoflagelados e a própria matéria orgânica (Owens, 1981). Tais elementos podem ter sofrido transporte ou estar ligados a seu ambiente produtor.

O Cretáceo tem sido um dos períodos melhor estudado palinologicamente no Brasil, principalmente nas bacias costeiras.

No Aptiano-Albiano (idades referentes aos sedimentos da Bacia de São Luís) o Aptiano é caracterizado por esporos de pteridófitas (triletes lisos e triletes ornamentados), de gimnospermas (dissacados, rimulados e inaperturados) e angiospermas (tricolpados). O Albiano, por outro lado, se destaca pelas formas pertencentes aos grupos dos polens elaterados, poliporados e hexaporotricolpados.

As tabelas 1, 2, 3 e 4 abrangem os resultados das análises palinológicas realizadas pela autora, durante a participação no Projeto "Estudos sobre as bacias riftes costeiras da margem Norte" (citado no Capítulo 4) Nessas tabelas são reunidos os vários gêneros e espécies de palinomorfos encontrados nos intervalos dos testemunhos e amostras de calha estudados neste trabalho e representativos da seção Codó-Grajaú nos quatro poços já mencionados. Esses dados são aqui comentados, principalmente, no contexto da interpretação paleogeográfica e paleoambiental do sistema Codó-Grajaú. Além dos dados obtidos diretamente dos testemunhos, algumas notificações sobre os palinomorfos, encontrados em poços próximos e correlatos, serão usados como complemento às interpretações dos poços 1-IV-1-MA, 1-PE-1-MA, 1-CI-1-MA e 1-RL-1-MA.

Em termos estratigráficos e de acordo com a interpretação biocronoestratigráfica fornecida pelo Projeto das bacias costeiras, anteriormente citado, o estudo dos palinomorfos definiu para os sedimentos testemunhados a idade Neo-aptiana, mediante a identificação da Palinozona **Sergipea variverrucata**, marcada com base na presença desta forma diagnóstica (Figuras 46 e 47)(Anexo-estampa A). Essa forma índice foi encontrada nos testemunhos: nº 3 do poço 1-RL-1-MA, nº 1 do poço 1-IV-1-MA e nºs 3 e 4 do poço 1-CI-1-MA.

Tabela 1 - Resultado palinológico dos sedimentos Codó-Grajaú no poço 1-RL-1-MA.

1-RL-1-MA	+ 1130 (AC) - 1148	+ 1149 (AC) - 1166	1167 (T1) - 1184	1185 (AC) - 1243	1244 (T2) - 1259	1260 (AC) - 1316	1317 (AC) - 1340	1341 (AC) - 1359
PROFUNDIDADE (METROS) / PALINOMORFOS	100 - 131	131 - 157	157 - 167	167 - 235	235 - 254	254 - 311	311 - 332	
Aequitriradites sp.			*			*		
Afropollis spp.				*	*	*	*	*
Aplanopsis dampieri					*			
Aplanopsis trilobatus					*			
Araucariacites australis					*			
Araucariacites spp.	*	*	*	*	*	*	*	*
Biretrisporites potoniei					*			
Cicatricosisporites avnimelechi					*			
Cicatricosisporites nuni					*			
Cicatricosisporites spp.			*	*	*			
Classopollis sp.		*	*			*	*	
Dinoflagelado						*		
Equisetosporites spp.	*		*	*	*	*		
Exesipollenites tumulus					*			
Formas Paleozóicas				*	*			*
Gnetaceaepollenites barghoornii					*			
Gnetaceaepollenites spp.		*	*		*	*	*	*
Inaperturopollenites spp.			*					
Klukisporites sp.					*			
Perotriletes pannuceus				*	*			*
Perotriletes spp.	*	*			*	*		*
Sergipea variverrucata					*	*		
Steevesipollenites cupuliformis					*			
Steevesipollenites spp.					*			*
Stellatopollis dubius					*			
Trilete liso				*	*	*		

Legenda

T1 - Testemunho

AC - Amostra de Calha

\+ Intervalo provável Aptiano ou Albo/Aptiano.

Tabela 2 - Resultado palinológico para os sedimentos Codó-Grajaú, no poço 1-IV-1-MA.

1-IV-1-MA	1274 (T1) - 1265	1326 (AC) - 1320	1332 (AC) - 1329	1350 (AC) - 1347	1362 (AC) - 1356
PROFUNDIDADE (METROS) / PALINOMORFOS					
Aequitriradites sp.	*				
Afropollis spp.	*	*	*		
Araucariacites australis				*	
Araucariacites spp.	*	*			
Biretisporites potoniei	*				
Cardioangulina sp.	*				
Cicatricosisporites avnimelechi		*			
Cicatricosisporites nuni		*			
Cicatricosisporites spp.		*	*		*
Classopollis sp.		*			*
Cycadopites sp.		*			
Equisetosporites spp.	*				*
Exesipollenites tumulus ??	*	*	*		
Formas Paleozóicas	*			*	*
Gnetaceaepollenites barghoornii	*				
Gnetaceaepollenites irregularis	*				
Gnetaceaepollenites uesugui			*		
Klukisporites sp.		*			
Perotriletes pannuceus			*		
Sergipea variverrucata	*	*			
Triletes com verrugas	*	*	*		
Trilites sp.	*	*			

Legenda

T1 - Testemunho

AC - Amostra de Calha

Tabela 3 - Resultado palinológico para os sedimentos Codó-Grajaú no poço 1-PE-1-MA.

1-PE-1-MA	+ 1365 - 1359 (AC)	+ 1485 - 1473 (AC)	1521 - 1512 (AC)	1569 - 1565 (T2)	1623 - 1611 (AC)	+ 1641 - 1632 (T3)	+ 1671 - 1659 (AC)	+ 1695 - 1692 (AC)
PROFUNDIDADE (METROS) / PALINOMORFOS								
Aequitriradites sp.				*				
Afropollis spp.	*	*		*	*			*
Araucariacites australis		*						
Araucariacites spp.				*	*			
Cardioangulina sp.	*				*			*
Cicatricosisporites nuni						*		
Cicatricosisporites spp.				*	*			
Classopollis sp.		*		*	*	*	*	*
Elaterosporites acuminatus		*						
Equisetosporites sp.	*	*		*				
Exesipollenites tumulus				*				
Formas Paleozóicas				*		*	*	
Gnetaceaepollenites barghoornii				*	*	*	*	
Gnetaceaepollenites spp.	*	*						
Perotriletes pannuceus	*	*				*		
Reyrea polymorphus	*	*						
Sergipea variverrucata				*				
Trilete com verrugas				*	*			
Trilete liso	*							*
Trilites sp.				*				

Legenda

T1 - Testemunho

AC - Amostra de Calha

+ Intervalo provável Aptiano ou Alb/Aptiano.

Tabela 4 - Resultado palinológico para os sedimentos Codó-Grajaú no poço 1-CI-1-MA.

1-CI-1-MA	+ (AC) 540 - 540	+ (AC) 673 - 664	+ (AC) 705 - 696	+ (AC) 750 - 741	+ (AC) 771 - 765	(T2) 846 - 830	(T3) 864 - 846	(T4) 882 - 864	(T=.5 e 6) 890 - 882
Aequitriradites sp.		*	*			*	*		
Afropollis sp.	*	*		*		*	*		*
Araucariacites australis		*	*	*	*	*	*	*	
Chomotriletes sp.								*	
Cicatricosisporites avnimelechi							*		
Cicatricosisporites spp.				*	*		*	*	*
Classopollis sp.									*
Deltoidospora tenui									*
Equisetosporites spp.		*		*			*	*	
Exesipollenites tumulus			*				*	*	
Formas Paleozóicas							*		
Gnetaceaepollenites barghoornii			*	*					
Gnetaceaepollenites irregularis				*				*	
Klukiosporites sp.			*	*				*	
Perotriletes pannuceus			*		*			*	*
Reyrea polymorphus			*					*	*
Steevesipollenites spp.			*						*
Sergipae crassiverrucata								*	
Sergipea variverrucata							*		

Legenda

T1 - Testemunho

AC - Amostra de calha

\+ Intervalo provável Aptiano ou Albo/Aptiano.

Em geral, os sedimentos analisados das formações Codó-Grajaú apresentam um conteúdo polínico diversificado. A presença constante e abundante dos polens dos Gêneros **Classopollis** (Figuras 46 e 48), **Equisetosporites** (Figuras 48, 49 e 50), **Araucariacites** (Figura 53), **Monocolpites** (Figura 57), **Perotriletes** (Figuras 54 e 59) (Anexo-estampas A e B), **Afropollis**, **Cicatricosisporites** e **Gnetaceapollenites**, além de outros, foi registrada em todos os testemunhos. Dentre esses palinomorfos, informações paleogeográficas importantes e de grande contribuição para uma avaliação mais geral do ambiente deposicional, são fornecidas pelos polens dos Gêneros **Classopollis** e **Afropollis**.

Vakrameev (apud Lima, 1976) estudou a abundância de determinados representantes do grupo **Classopollis** (Figuras 46 e 48) e reconheceu sua importância na interpretação das condições climáticas, em virtude da sua adaptação a elevadas temperaturas, ou climas quentes e secos. Tal hipótese foi reafirmada ainda por Doyle et al. (1982) estudando polens do gênero **Afropollis**, que indicam situação de aridez. Tais polens ocorrem em grande quantidade nos sedimentos estudados.

Os dados palinológicos aqui apresentados sugerem vegetação associada a ambientes deposicionais costeiros ou litorâneos (**Classopollis** sp.) em clima quente semi-árido (**Afropollis** sp.).

A existência de dois tipos de matéria orgânica de origens diferentes foi verificada. Uma é originária de vegetais inferiores ou algálica, chamada de amorfa e a outra, de vegetais superiores, denominada lenhosa. Esses dois tipos de matéria orgânica são observados em todas as porções inferiores dos poços estudados (Tabelas 5, 6, 7 e 8).

Tabela 5 - Distribuição e forma de ocorrência da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-RL-1-MA.

PROFUNDIDADE (metros)	TIPO DE MATÉRIA ORGÂNICA PALINOMORFA
1100-1150	lenhosa + amorfa
1131-1140	lenhosa carbonizada
1131-1149	lenhosa + amorfa
1157-1167	lenhosa + amorfa
1167-1185	lenhosa + amorfa
1235-1244	lenhosa + amorfa
1254-1260	lenhosa + amorfa
1311-1317	lenhosa + amorfa
1332-1341	lenhosa + amorfa
1374-1401	amorfa carbonizada
1458-1461	lenhosa + amorfa
1476-1485	lenhosa + amorfa
1488-1497	lenhosa + amorfa
1551-1557	lenhosa + amorfa

Tabela 6 - Distribuição e forma de ocorrência da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-IV-1-MA.

PROFUNDIDADE (metros)	TIPO DE MATÉRIA ORGÂNICA PALINOMORFA
987-990	amorfa
1074-1077	amorfa
1149-1152	amorfa
1200-1206	lenhosa + amorfa
1212-1218	lenhosa + amorfa
1265-1274	lenhosa + amorfa
1269,50	lenhosa + amorfa
1291,50	lenhosa + amorfa
1320-1326	lenhosa + amorfa
1329-1332	amorfa
1347-1350	amorfa
1356-1362	lenhosa
1434-1440	lenhosa

Tabela 7 - Distribuição e forma de ocorrência da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-PE-1-MA.

PROFUNDIDADE (metros)	TIPO DE MATÉRIA ORGÂNICA PALINOMORFA
1565,5-1569,3	lenhosa + amorfa
1569,65	lenhosa + amorfa
1611-1623	lenhosa + amorfa
1623-1641	lenhosa carbonizada
1659-1671	lenhosa + amorfa

Tabela 8 - Distribuição e forma de ocorrência da matéria orgânica lenhosa e amorfa para o poço 1-CI-1-MA.

PROFUNDIDADE (metros)	TIPO DE MATÉRIA ORGÂNICA PALINOMORFA
765-771	lenhosa + amorfa carbonizada
846-864	lenhosa + amorfa carbonizada
864-882	lenhosa + amorfa carbonizada
866,55	lenhosa carbonizada
874,70	raro resíduo orgânico
877,55	raro resíduo orgânico
882-890	lenhosa carbonizada
888,79	lenhosa carbonizada

Os melhores exemplos são vistos nos poços 1-RL-1-MA (intervalo 1623-1565,5m), 1-IV-1-MA (intervalo 1350-1212m) e 1-PE-1-MA (intervalo 1623-1562m). Nestes poços, os intervalos de coexistência de matéria orgânica amorfa e lenhosa referem-se quase que inteiramente aos Sedimentos Codó-Grajaú.

A concentração desses tipos de matéria orgânica sugere variação do nível energético de transporte, definindo para o sistema Codó-Grajaú ambientes de águas calmas (matéria orgânica amorfa) com influência de águas correntes (matéria orgânica lenhosa). Dino (1988) associa o aparecimento concomitante de matéria orgânica amorfa e lenhosa à presença de depósitos sedimentares, provavelmente transicionais. Neste trabalho, o intervalo de 864 a 846m, rico em matéria orgânica amorfa, relaciona-se perfeitamente aos folhelhos betuminosos (facies Fd) com níveis carbonáticos de origem algálica. A influência de águas correntes ou fluviais é sugerida não apenas pela presença da matéria orgânica lenhosa oriunda do continente, mas também pela presença de esporos do grupo **Perotriletes** (Figuras 54 e 59), (Regali,1990a) encontrados abundantemente nos sedimentos analisados.

Além dos polens, esporos e da matéria orgânica, a presença de dinoflagelados (Figura 51 e 52) é de grande valor em termos de paleoambiente, pois indica influência marinha durante a sedimentação. Nos poços estudados, poucos dinoflagelados foram encontrados, restritos às profundidades 1167m e 1239,8m do poço 1-RL-1-MA. Além disso, a presença de carapaças quitinosas de foraminíferos (profundidade 1170m) no poço Curva Grande (1-CG-3-MA) em posição correlata ao poço 1-RL-1-MA, reforça a existência de camadas marinhas na Formação Codó. No poço Rio Turiaçu (1-RT-1-

MA), também correlato ao poço 1-RL-1-MA, fragmentos de carapaças quitinosas de conchostráceos (profundidade 2207m) foram encontrados nos sedimentos Codó, apontando para ambientes transicionais de águas doce a salobra (Regali,1990b). No sentido vertical, a ocorrência de carapaças quitinosas de conchostráceos na base do membro Codó Inferior, seguida do aparecimento de carapaças quitinosas de foraminíferos e cistos de dinoflagelados, nas porções mais superiores do membro Codó Inferior, reflete provável transição de uma seqüencia de água doce para água marinha no ambiente deposicional, durante a sedimentação do Codó Inferior.

7.3 - FAUNA

A fauna é composta essencialmente por formas bentônicas. Dominam em número os ostracódes, seguidos por restos de equinodermas e moluscos, de ocorrência restrita (Tabela 9). De um modo geral, todas as formas mostraram-se fragmentadas ou representadas por moldes de suas carapaças.

7.3.1 - Ostracodes

Conhecidos como crustáceos bivalvos de pequenas dimensões, os ostracodes têm frequência variável, de acordo com o tipo de sedimento. Ocorrem, em grande número, nas facies mais pelíticas (Fn e Fd) porém, alguns deles também são encontrados nas facies arenosas Ax e Ac. A maioria dos ostracodes está preservada em moldes mostrando valvas desarticuladas. Quando preservadas, as

Tabela 9 - Resultados micropaleontológicos das amostras dos sedimentos Codó-Grajaú para os quatro pocos estudados na Bacia de São Luís.

Poço	Prof. (m)	Tipos de microfósseis
1-IV-1-MA	1265,45 m	placas não identificadas.
	1269,50 m	estéril
1-RL-1-MA	1154,80 m	estéril.
	1158,10 m	carapaças calcárias de ostracodes.
	1158,80 m	carapaças calcárias de ostracodes,, formas desconhecidas.
	1167,40 m	carapaças de ostracodes.
	1169,00 m	moldes de valvas de ostracodes.
	1172,40 m	ostracódios com uma ou as valvas de composição calcária e bem preservadas, espículas silicosas (?), matéria orgânica carbonizada.
	1174,40 m	abundantes moldes de carapaças de ostracodes, fragmentos de pelecípodos, espículas silicosas (?), outros fragmentos não identificados.
	1238,80 m	estéril.
	1235,00 m	estéril
	1244,00 m	estéril
1-PE-1-MA	1564,50 m	carapaças calcárias de ostracodes (duas valvas), fragmentos de conchas de moluscos.
	1566,50 m	carapaças de composição carbonática de ostracodes não ornamentadas.
	1570,20 m	moldes de carapaças de ostracodes (uma valva), carapaças lisas de ostracodes.
	1569,30 m	moldes de gastrópodes, moldes de carapaças de ostracodes (duas valvas), ostracodes não ornamentados, fragmentos de pelecípodes,
	1569,40 m	moldes de gastrópodes.
1-CI-1-MA	832,80 m	formas não identificadas.
	841,30 m	prováveis ostracodes com efeitos de compactação.
	854,90 m	carapaças calcárias de ostracodes.
	866,55 m	moldes de gastrópodes, moldes de carapaças de ostracodes com preservação da ornamentação, fragmentos de equinoides, âncoras e rosetas de holotúrios.
	868,00 m	fragmentos de espinhos de equinoídes, moldes de carapaças de ostracodes.
	874,70 m	prováveis carapaças de ostracodes.
	882,40 m	estéril.
	885,90 m	moldes de gastrópodes, carapaças calcárias de ostracodes sem ornamentação, formas não identificadas.

carapaças apresentam cor branca, composição carbonática e são pouco ornamentadas ou completamente lisas. Morfologicamente, mostram pouca diversidade, sendo comuns os formatos de conchas obladas a subretangulares, cujo comprimento varia entre 0,1 e 2,3 mm, com média de 0,7 mm.

Apesar de abundantes, os ostracodes apresentam, em geral, carapaças mal preservadas que pouco auxiliam a interpretação paleoecológica. Formas lisas ou pouco ornamentadas também foram reconhecidas em outras seções cretácicas das bacias sedimentares, principalmente do Nordeste do Brasil e interpretadas como não-marinhas (Picarelli 1991, informação verbal; Lima, 1991, informação verbal). Ao analisar os ostracodes da Formação Codó na Bacia do Parnaíba, Lima & Leite (1978) determinaram o gênero **Cypridea** que parece está presente entre as formas encontradas nos sedimentos aqui estudados. Este genêro é importante, pois determina um ambiente caracterizado por condições de água doce a salobra.

7.3.2 - Moluscos

A fauna de moluscos refere-se a pelecípodes e gastrópodes. Os primeiros ocorrem em maior número e são reconhecidos comumente através de carapaças fragmentadas, que ainda conservam certas estruturas, como as fossetas na zona de charneira. As carapaças podem ser tanto de composição silicosa quanto carbonática. Em menor frequência, os pelecípodes são vistos em forma de moldes. Um bom exemplo móldico foi encontrado sobre planos de acamamemto dos folhelhos da facies Fn, no poço 1-PE-1-MA (Figura 60), apresen-

tando suas valvas ainda com resquícios carbonáticos preservados. Os gastrópodes, ao contrário dos pelecípodes, mostram mais preservação móldica e apresentam dois tipos distintos de conchas: uma de formato cônico e base plana e outra mais espiralada.

7.3.3 - Equinodermas

É a primeira vez que fósseis de equinodermas são descritos na Formação Codó, da Bacia de São Luís. Suas partes esqueletais mostram-se bem preservadas; são de composição carbonática e constituem partes de esqueletos de holotúrios e equinóides. Os holotúrios são reconhecidos por escleritos, semelhantes a âncoras e rosetas (tamanhos entre 0,5 e 1,0 mm). Os equinóides são reconhecidos por partes seccionadas dos seus espinhos (Figuras 61 e 62).

Esses fósseis têm ocorrência as profundidades 866,55m e 868,00m no poço 1-CI-1-MA, representantes dos folhelhos negros da facies Fn, em conjunto a ostracodes. A associação desses equinodermos aos dinoflagelados no poço 1-RL-1-MA, também, observados nos folhelhos negros demonstra sem dúvida, a presença de sedimentos marinhos (facies Fn).

7.3.4 - Algas

O diagnóstico da presença de algas nos sedimentos estudados advém primordialmente da análise petrográfica de carbonatos in

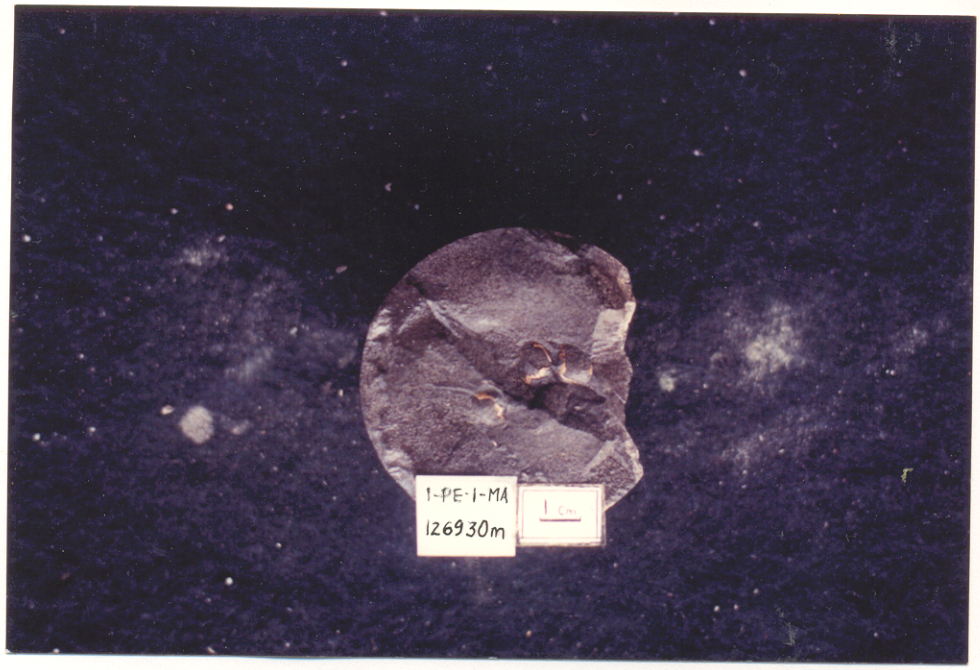


Figura 60 -Pelecípodes preservados em molde. Parte das carapaças calcíticas (cor amarelada) está ainda conservada.

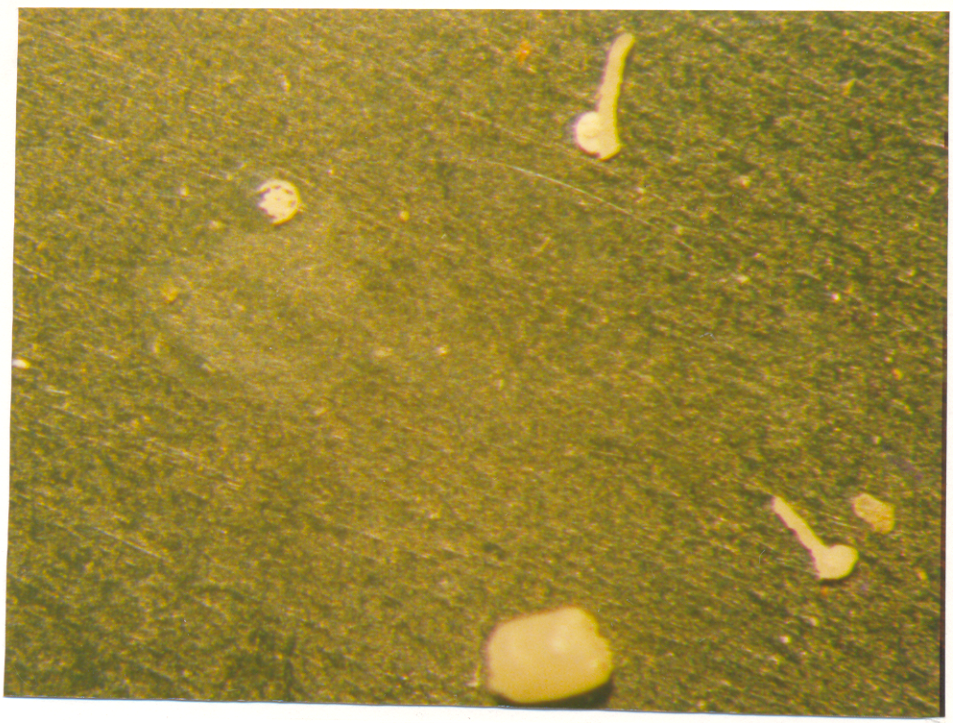


Figura 61 -Segmentos de espinhos de equinoídes, e "sclerits" de holotúrios (âncoras e roseta). Aumento 5x. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA.

tercalados nos folhelhos. Esses microorganismos são os maiores responsáveis pela formação de níveis carbonáticos presentes na facies Fd.

São de composição predominantemente calcítica e apresentam textura micrítica. Variadas formas de aparecimento são registradas. Algumas ocorrem em corpos globulares (Figura 63) apresentando divisões internas e outras, mais frequentes, são esféricas com diâmetro de 12 a 60 micra. Estas microesferas assemelham-se a calcisferas e, quando observadas sob nicóis cruzados, apresentam a configuração da Cruz de Santo André ou cruz pseudo-uniaxial, que se forma em decorrência da disposição radial dos cristais de calcita (Figura 64). Em esferas maiores (40 a 60 micra) é nitidamente vista uma estrutura interna bi, tri, ou penta radial, e por vezes estruturas de duplas camadas (Figura 65), estas últimas aparentando espículas de esponjas. Estas microesferas formam verdadeiras laminações ou são concentradas em glóbulos, geralmente acompanhando os planos de acamamento do folhelho e são cimentadas por material fosfático.

Estes corpos esféricos, semelhantes a calcisferas, são atribuídos, com certa reserva, a algas azul-verdes ou cianobactérias. Feições análogas, assim interpretadas e encontradas em sedimentos lacustres da Formação Green River (Eoceno, Estados Unidos), são retratadas em Scholle (1978).

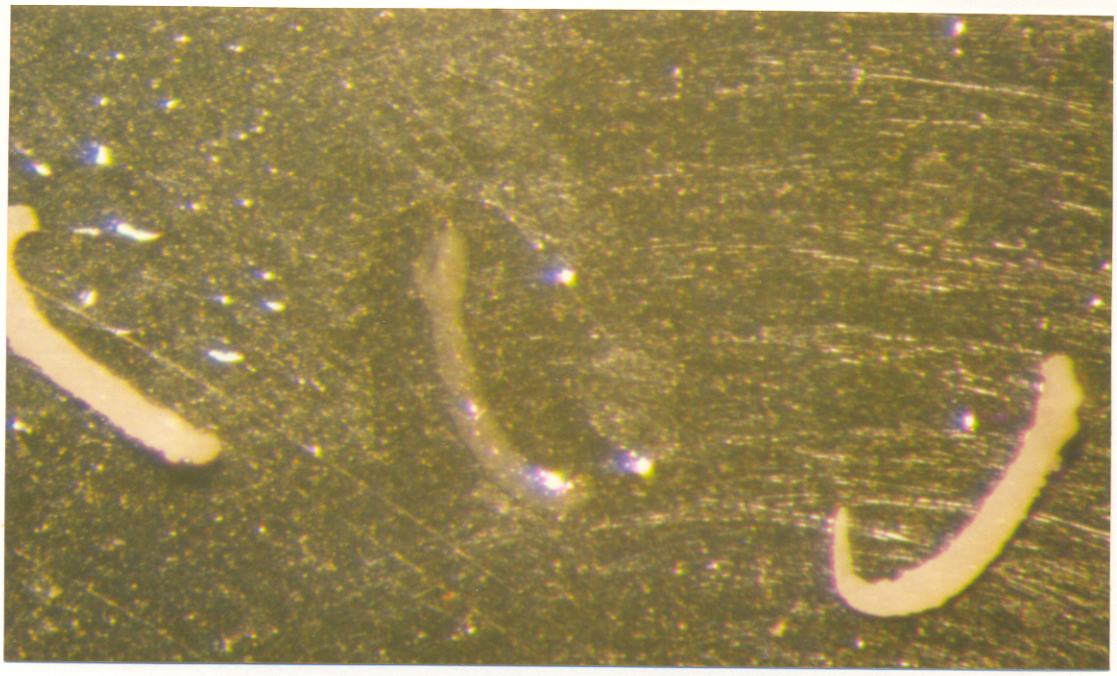


Figura 62 -Fragmentos de holotúrios em forma de "âncoras". Aumento 5x. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA.

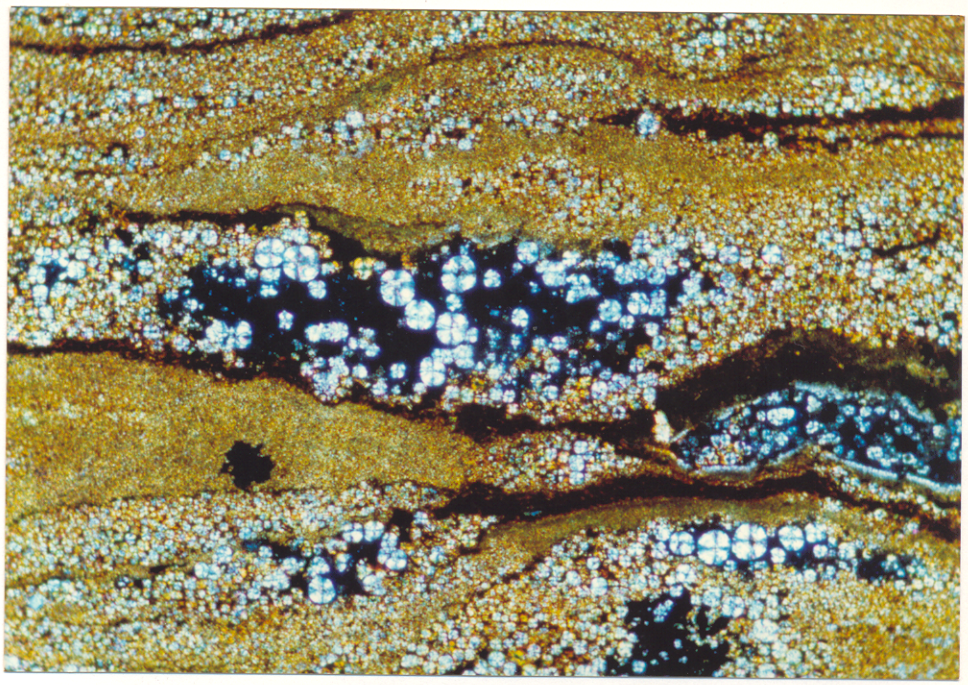


Figura 63 -Estrutura laminada com pequenos corpos esféricos semelhantes a calcisferas, provavelmente de origem algálica (algas azul-verdes ou cianobactérias). Fotomicrografia. Nicóis cruzados. Poço 1-CI-1-MA.

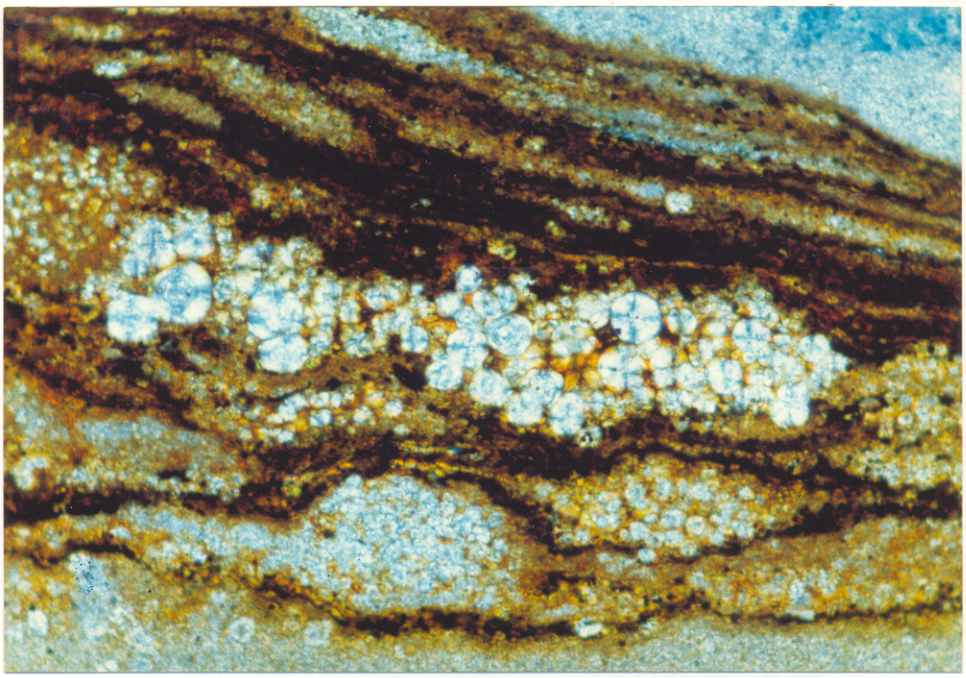


Figura 64 -Detalhe ds corpos esféricos, apresentando a configuração da Cruz de Santo André. Fotomicrografia. Nicóis cruzados. Poço 1-CI-1-MA.

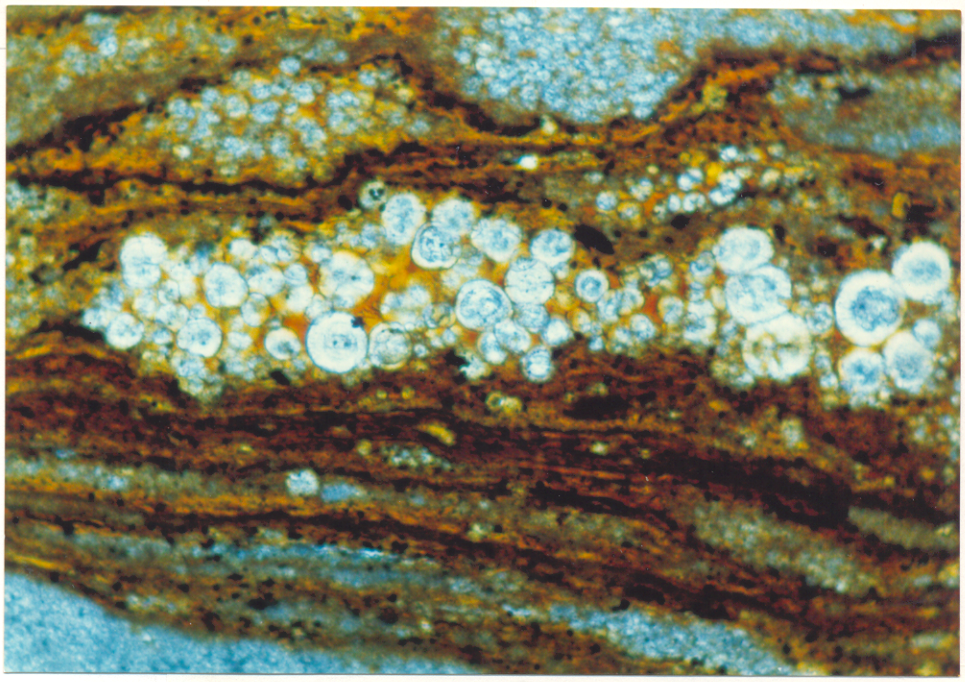


Figura 65 -Os maiores corpos esféricos apresentam estruturas semelhantes a espículas de esponjas com canal central. Idem a foto 45, mas com nicóis paralelos. Fotomicrografia. Poço 1-CI-1-MA.

8.0- MODELO DEPOSICIONAL

O propósito da formulação de um modelo deposicional para as formações Codó-Grajaú é auxiliar a compreensão dos vários ambientes formadores deste sistema, seus processos e produtos.

As cinco associações faciológicas reconhecidas neste trabalho foram interpretadas, quase que exclusivamente, em função da descrição das seções de testemunho nºs de sondagem. Sabe-se, porém, que a utilização deste método restringe bastante as observações geométricas dos depósitos e não possibilita a avaliação da continuidade lateral destas associações, dentro de um intervalo estratigráfico estudado. Por essa razão, foi construída uma seção esquemática baseada nos perfis de raio-gama dos poços estudados, tomando-se o topo litológico da Formação Codó como datum (Figura 59).

O resultado final obtido, em conjunto com os dados paleontológicos, levou à formulação do bloco diagrama apresentado na Figura 66, que visualiza um sistema deposicional do tipo lago costeiro. Embora o modelo mostre apenas a configuração de um sistema lacustre, sedimentos com influência marinha foram depositados na parte inferior da Formação Codó.

É de concenso geral, que muitos dos lagos foram e são sistemas dinâmicos, e que seus registros sedimentares são muito susceptíveis à mudanças químicas, climáticas e batimétricas. Assim, os lagos são classificados como lagos hidrologicamente abertos e lagos hidrologicamente fechados. Entretanto, na natureza é raro encontrar exemplos de lagos especificamente de um único tipo.

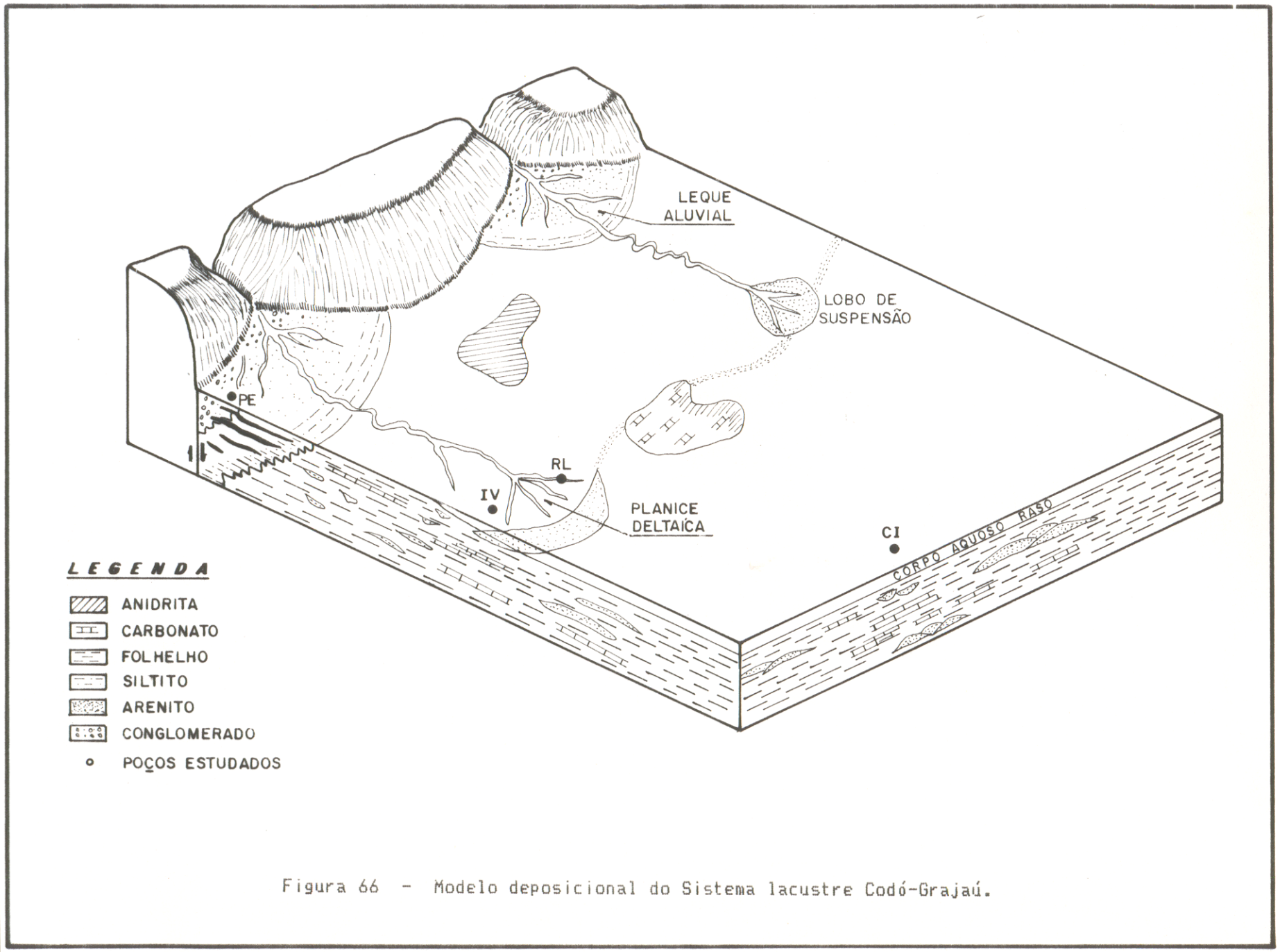


Figura 66 - Modelo deposicional do Sistema lacustre Codó-Grajaú.

Isto é, a exemplo das mudanças acima citadas, sistemas lacustres podem tornar-se híbridos. Como resultado, a distribuição das estruturas sedimentares e fósseis lacustres podem variar significantemente de uma fase a outra (Dean & Fouch, 1983). Devido a esta variabilidade, é difícil utilizar um único modelo prático que caracterize especialmente ambientes deposicionais lacustres.

Após comparação com modelos deposicionais divulgados na literatura consultada, o modelo deposicional de lago costeiro aqui proposto se assemelha em vários aspectos àquele apresentado por Ryder et al. (1976) para a parte ocidental do Lago Uinta, Utah (E.U.A). Comparativamente, as cinco associações identificadas neste trabalho corresponderiam, respectivamente às seguintes facies genéticas no modelo de Ryder et al.(op. cit.): a associação A à facies aluvial; as associaçãoes B e C às facies deltaicas e as associações D e E à facies lacustre.

A idéia de uma influência marinha no modelo lacustre da Formação Codó não é nova, sendo citada em vários trabalhos anteriores (p.e: Sampaio & Northfleet, 1973; Cerqueira & Marques, 1985). Assim, equinodermas e dinoflagelados aí encontrados vem mais confirmar do que modificar estes conceitos já divulgados a respeito da unidade Codó. Além do mais, os dados palinológicos (Pedrão, 1991 (informaçào verbal) sugerem que esta ingressão ter-se-ia iniciado pela região do Graben de Ilha Nova, limite leste da Bacia de São Luís. A presença de **Classopollis** na associação palinológica e de dinoflagelados está relacionada a depósitos marinhos costeiros (Lima, 1976)

Outros aspectos, de uma maneira geral, podem ser sumariados e utilizados como critérios para o reconhecimento das facies lacustres da Formação Codó.

(1) Um modelo lacustre simples é caracterizado por um decréscimo da granulometria de seus depósitos em direção ao centro da bacia sedimentar (Picard & High, 1972). Esse padrão granulométrico pode ser observado facilmente na seção esquemática litológica idealizada para os quatro poços estudados (Figura 45). Tal configuração pode ser explicada pelo preenchimento de sistemas flúvio-deltaicos em torno das margens de um lago que se interdigitam com a facies lacustre que ocupa o centro da bacia.

(2) A seqüência estratigráfica, vista na maioria dos perfis de raio-gama dos poços estudados, representa em geral um "trend" de "coarsening-upward", representando o assoreamento do lago por corpos arenosos (Figura 45).

(3) As relações geométricas, considerando o tamanho, formato e espessura do Lago Codó (20.000 Km^2, alongado, 200 metros), se encaixam dentro do limite areal, definido para depósitos lacustres por Picard & High (1972).

(4) Investigações palinológicas revelaram uma idade Neo-aptiana para os Sedimentos Codó-Grajaú, tempo responsável pelas maiores deposições de rochas não-marinhas geradoras de hidrocarbonetos na África (Brice & Pardo, 1980) e no Brasil (Brito, 1989).

9 - CONCLUSÕES

Com base em dados litofaciológicos, micropaleontológicos e palinológicos, as formações Codó-Grajaú foram interpretadas como depósitos lacustres influenciados por ingressões marinhas. A influência marinha, comprovada pela presença de equinodermas, dinoflagelados e foraminíferos, aponta para uma posição perilitorânea do lago.

Os folhelhos marinhos, na parte inferior da seqüência, correspondem em parte ao ambiente lagunar sugerido por Mesner & Wooldridge (1964) e Fernandez & Piazza (1978).

Parece que a entrada do mar ocorreu através do Graben de Ilha Nova, situado no limite ocidental da bacia.

Os dados palinológicos disponíveis evidenciam, através da forma índice **Sergipea variverrucata** e a idade Neo-aptiana para as formações Codó-Grajaú. Apontam, também, com base na presença de **Classopollis** sp., **Afropollis** sp. e **Araucariacites** sp., a existência de um clima semi-árido dominante durante a deposição desses sedimentos. A ocorrência de palinomorfos paleozoícos junto com as formas cretácicas sugere certa instabilidade tectônica na bacia, propiciando o retrabalhamento das unidades mais antigas.

É provável que esta instabilidade seja relacionada ao ínicio da fase "rift" da Bacia de São Luís, responsável pela formação do Graben de Ilha Nova que permitiu a entrada do mar para a bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G.A. 1969. Bacia do Maranhão, geologia e possibilidades de petróleo.Belém, PETROBRÁS/RENOR (Relatório Técnico Interno, 371). Belém.

ARANHA, L.G. de F.; LIMA, H.P.; MAKINO R.K.; SOUZA, J.M. de 1990. Origem e evolução das Bacias de Bragança-Viseu, São Luís e Ilha Nova. In: MILANI, E.J. & De RAJA GABAGLIA, G.P.(coords). Origem e evolução das bacias sedimentares. Rio de Janeiro. PETROBRÁS. p. 221-234.

ASMUS, H.E. & GUAZELLI, W. 1981. Descrição sumária das estruturas da Margem Continental Brasileira e das áreas Oceânicas e continentais adjacentes - Hipótese sobre o tectonismo causador, e implicações para os prognósticos do potenial de Recursos Minerais. In: PETROBRÁS - Estrutura e Tectonismo da Margem Continental Brasileira, e sua implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de Recursos Minerais. Rio de Janeiro. (Série Projeto REMAC 9).

AZEVEDO, R.P. 1991. Tectonic Evolution of Brazilian Equatorial Continental Margin Basins. (Thesis Doctor of Philosophy. University of London. Department of Geology Royal School of Mines. Imperial College).

ASSERETO, R.L.A.M. & KENDALL, C.G.St.C. 1977. Megapolygonos in Ladinian Limestones of Triássic of Southern Alps: Evidência of Deformation by Penecontepораneus Dessiecation and Cimentacion. Journal of Sedimentary Petrology, 41 (3): 715-723.

BLANKENNAGEL, R.K. 1951. Preliminary report on the Reconnaissance Geology of the São Luís Basin. CNP. PETROBRÁS (Relatório Interno).

BRICE, S.E. & PARDO, G. 1980. Hydrocarbon Ocorrences in Non-marine, Pre-sal Sequence of Cabinda, Angola. (Abstract). **Bull. Am. Assoc. Geol.**, 64 (5): 681.

BRITO, D.D. 1989. A Micropaleontologia na Indústria de Petróleo. **Rev. Bras. de Geociências**, 19 (2): 256-259.

CARNEIRO, R.G. 1974. Mapeamento estrutural da área de Grajaú - Imperatriz. Belém, PETROBRÁS, 45 p. (Relatório Técnico, 358).

CARNEIRO R.G. & JUCÁ, G.A.C. 1977. Prospecto Arco Ferrer.PETROBRÁS. (Relatório de Progresso).

CARVALHO, L.C.A. 1987. Resumo das atividades exploratórias nas Bacias de São Luís e Bragança-Viseu. PETROBRÁS (Relatório Interno).

CERQUEIRA J.R. & MARQUES L.F.S.P. 1985. Avaliação geoquímica da bacia de São Luís. **B. Téc. PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, 28 (3): 151-158.

CORDANI, U.G.; CUNHA, F.M.B. da; FILHO, A.T.; FUCK,R.A.; NEVES, B.B.B.; PORTO,R. 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro. CENPES/DINPE. 70 p. (Série Ciência-Técnica-Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo. Publ. 15).

CUNHA, F.M.B. 1968. Fotointerpretação da Bacia de São Luiz-Maranhão. PETROBRÁS/RENOR. (Relatório 318).

DAVIS Jr., R.A. 1983. Depositional Systems. A genetic approach to sedimentary geology. New Jersey, Prentice-Hall. 669p.

DEAN, W.E. & FOUCH, T.D. 1983. Environment Lacustrine. In: SCHOLLE, P.A.; BEBOUT, D.G. & MOORE C.H.. Carbonate Deposicional Environment. **Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.** Memoir 33. p. 79.

DEMAISON G.J. & MOORE, G.T. 1980. Anoxic Environment and Oil Source Bed Genesis. **Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.**, 68 (8) :1179-1209.

De ROS, L.F.; de CESERO, P.; & MAURO, L.M. 1989. Técnicas de preparação de lâminas petrográficas e de moldes de poros na PETROBRÁS. **Boletim de Geociências da Petrobrás.** Rio de Janeiro, 3 (1/2): 3-126.

DINO, R. 1988. Análise Palinoestratigráfica Paraná-Uruguai. Rio de Janeiro, CENPES/PETROBRÁS. (Relatório Interno 880).

DOYLE, J.A.; DOERENKAMP. A.; JARDINÉ, S. 1982. Afropollis a new genus of early angiosperm pollen, whith notes on the Cretaceous palynostratigraphy and paleoenvironmentes of Northern Gondwana. **Bull. Centers Reach. Explor. Prod. Elf. Aquitaine**, 6 (1): 39-117.

FERNANDEZ G. & PIAZZA H. D. 1978. O potencial oleogenítico da Formação Codó. **B. Téc. PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, 21 (1) :3-16.

GIBBS, R.J. 1968. Clay mineral monating techniques for x-ray diffraction analysis: A discussion. **Jour. Sed. Petrology**, 38:242-244.

JULIA, R. 1983. Travertines. In: SCHOLLE, P.A.; BEBOUT, D.G.; CLYDE, H.M. (eds.). Carbonate Deposicional Environments. **Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.** Memoir 33. p. 64-72.

LIMA, E. de A.M. & LEITE, J.F. 1978. Projeto Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Integração Geológica e metalogenética. Rel. Final Etapa III DNPM/CPRM. Recife. v.16.

LIMA, M.R. 1976. O gênero Classopollis e as bacias mesozóicas do Nordeste do Brasil. **Rev. de la Asoc. Paleont. Argentina**. 3 (4): 226-234.

LIMA, M.R. 1978. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). São Paulo (Dissert. Dout. USP-IG).

LIMA, M.R. 1982. Palinologia da Formação Codó na região de Codó, Maranhão. **Bol. I.G.**. Instituto de Geociências, USP, 13:116-128.

LISBOA, M.A.R. 1935. A Bacia do Gurupy e as suas minas de ouro. B. **Serviço de Fomento da Produção Mineral**. Rio de Janeiro, n.7, 61 p.

MESNER, J.C. & WOOLDRIDGE, L.C. 1962. Maranhão Basin Study Revision. RENOV/DIREX. (Relatório Petrobrás 205).

MESNER, J.C. & WOOLDRIDGE, L.C. 1964. Maranhão Paleozoic basin and Cretaceous coastal basins. North Brazil. **Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.**, 48 (9): 1475-1512.

MILHOMEN, P. da S. 1987. Grupo de Ostracodes. Rio de Janeiro. CENPES/PETROBRÁS, p. 100 (Relatório Final de Estágio).

MIURA, K. & BARBOSA, J.C., 1972. Geologia da plataforma continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio grande do Norte. **CONGR. BRAS. de GEOL., 24. Anais** ... SBG. v.2, p. 57-66.

OWENS, B. 1981. Palinology its biostratigraphic and environmental potencial. **Petroleum Geology.** Continental Shelf of North-West Europe. p. 162-168.

PAMPLONA, H.R.P. & REZENDE, W.M. 1970. Estudo do Desenvolvimento do Arco-Ferrer-Urbano Santos., **Bol. Tec. PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, 13 (1/2): 5-14.

PETRI, S. 1977. Mesozoíco não-marinho do Brasil e seus problemas. Simpósio de Geologia Regional. 1: Atas. SBG. Núcleo de São Paulo. p. 29-47.

PICARD, M.D. & HIGH, L.R. Jr. 1972. Criteria for Recognizing Lacustrine rocks. **S.E.P.M. Special Publ.** n.16. p. 108-145.

PONTE, F.C. et. al. (1972). Análise Comparativa da Paleoecologia dos litorais Atlântico Brasileiro e Africano. Rio de Janeiro. (Relatório Interno da Petrobrás).

REGALI, M.S.P. 1990a. Primeiros registros da transgressão Neoaptiana na margem equatorial brasileira. Rio de Janeiro.SEREC/PETROBRÁS. 12 p. (Apostila).

REGALI, M.S.P. 1990b. Evolução da paleoflora no cretáceo das margens Equatorial e Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro. SEREC/PETROBRÁS. 11 p. (Apostila).

RYDER, R.T.; ELISON, J.H.; FOUCH, T.D. 1976. Early Tertiary sedimentary in the Western Uinta Basin, Utah. **Bull. Geol. Soc. Am.** 87(4): 496-512. April.

SAMPAIO, A.V. & NORTHFLEET, A. 1973. Estratigrafia e correlação das bacias sedimentares brasileiras. CONGR. BRAS. de GEOL., 27. **Anais** ... Aracaju, v. 3, p. 189-206.

SCHOBBENHAUS, C.; ASMUS,H.E.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G.R. 1984. Geologia do Brasil; texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incuindo depósitos minerais, escala 1:2500 000 . Brasília, DNPM.

SCHOLLE, P.A. 1978. A collor illustrated guide to carbonate rock constituints, textures, cements, and porosities. **Bull. Am. Ass. Petr. Geologists**, Tulsa. 241 p. (Memoir 27).

STOKKE, R. & CARSON, B. 1973. Variation in clay mineral x-ray diffraction results whith the quantity of sample mounted. **Jour. Sed. Petrology**, 43 ( ): 957-965.

SURDAM, R.C. & STANLEY, O.K. R.C. 1978. Sedimentation on the front of Gilbert-type deltas, Washakie basin, Wyoming. **Jour. Sed. Petrology**, 48 (2): 557-573.

SZATMARI,P. & FRANÇOLIN, J.B.L. 1987. Mecanismos de rifteamento da porção oriental da Margem Norte Brasileira. **Rev. Bras. Geoc.** 17 (2): 196-207.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J.B.L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. 1987. Evolução Tectônica da Margem Equatorial Brasileira. Tectos-I 1º Seminário de Tectônica da Petrobrás, 1., DEPEX-CENPES, Novembro. p. 77-105.

TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P. 1990. Carbonate Sedimentology. Oxford, BlacKwell Scientific Publications. 482 p.

UESUGUI, N. 1979. Palinologia; técnicas de tratamento de amostras. **B. Téc. Petrobrás**. Rio de Janeiro, 22 (4): 229-240.

ZEMBRUSCKI, S.G. 1984. Estudo Geotérmico da Bacia de São Luís. PETROBRÁS. (Relatório Interno 673).

A N E X O S

- Legenda correspondente as figuras 8, 13, 14, 18, 22, 31 e 35.

ESTAMPA A - Figuras 46 a 50.

ESTAMPA B - Figuras 51 a 59.

Legenda correspondente às figuras 8, 13, 14, 18, 22, 31 e 35.

LITOLOGIA

Folhelhos

Carbonato

Siltito

Arenito

Conglomerado

Brecha

ESTRUTURAS SEDIMENTARES

Estratificação planoparalela

Estratificação cruzada

Climbing-ripples

Maciça

Fluidização

Greta de dissecação

Tepee

Calcrete

Nódulo de pirita

Ostracodiólito

Restos vegetais

Bioturbação

Fratura

MINERALOGIA

Qz	Quartzo
Pl	Plagioclásio
Bi	Biotita
Sc	Sericita
Pi	Pirita
A	Anidrita
Gi	Gipsita
D	Dolomita
C	Calcita
I	Ilita
K	Caulinita
Cl	Clorita
S	Esmectita
IS	Ilita - esmectita
F	Fosfato

MICROFÓSSEIS

o	Ostracódio
g	Gastrópodos
p	Palinomorfos
l	Mat. orgânica lenhosa
a	Mat. organica amorfa
h	Holotúrios
e	Equinóides
espíc(?)	Espícula (?) de esponja
d	Dinoflagelado

ESTAMPA A

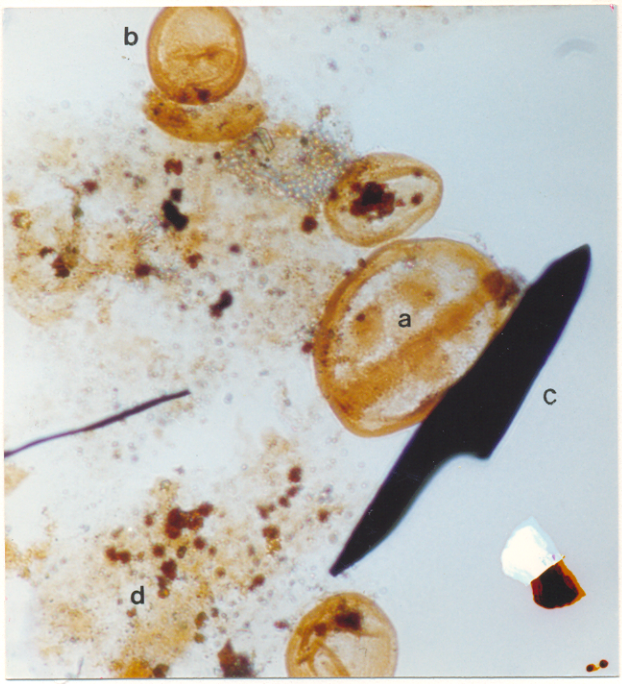
Figura

46 - Sergipea variverrucata (a), Classopollis classoides (b), Matéria orgânica lenhosa carbo nizada (c) e matéria orgânica amorfa (d). Test. 3 - poço 1-RL-1-MA (X500).

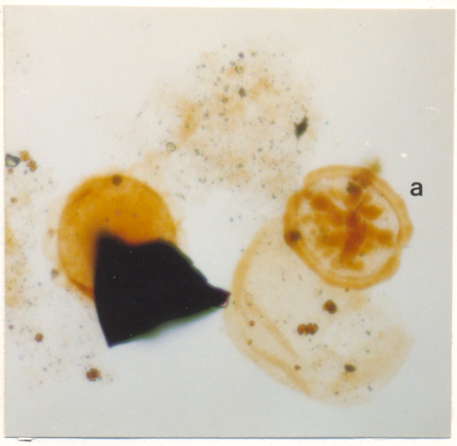
47 - Sergipea variverrucata (a). Test. 3. Poço 1-RL-1-MA (X500).

48 - Equisetosporites sp.(a), Classopollis classoides (b), Matéria orgânica amorfa (c). Test.03. Poço 1-RL-1-MA (X500).

49,50- Equisetoporites sp.. Test. 3. Poço 1-RL-1-MA (X500).

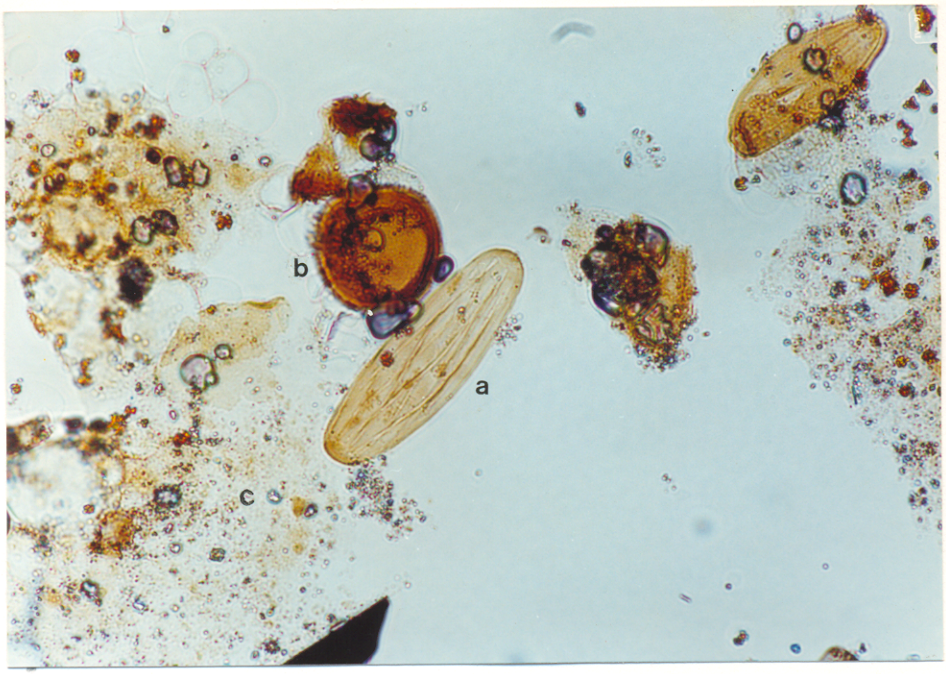


46



47

49



48

50

ESTAMPA B

Figura

51,52 - Cisto de dinoflagelado. Amostra de calha. Poço 1-RL-1-MA (X1250).

53 - Araucariacites sp.. Test. 3. Poço 1-RL-1-MA (X500).

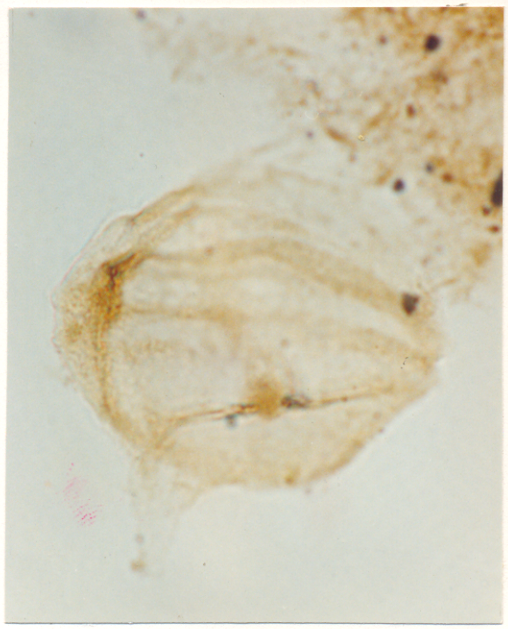
54,59 - Perotriletes sp.. Test. 3. Poço 1-RL-1-MA (X500).

55 - Aplanopsis dampiéri. Test. 3. Poço 1-RL-1-MA (X500).

56 - Psilatriletes sp.. Test. 3. Poço 1-RL-1-MA (X500).

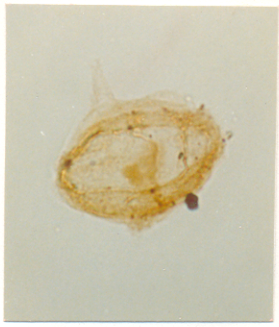
57 - Monocolpites sp.. Test. 1. 1-RL-1-MA (X250).

58 - Cardioangulina sp.. Test. 2. Poço 1-RL-1-MA (X500).

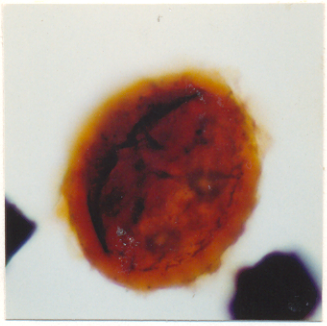


51

53



52

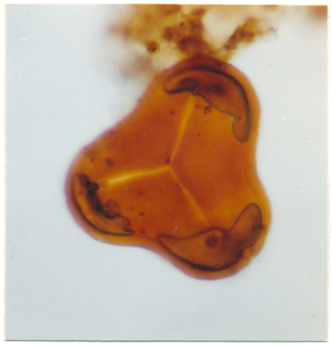


54

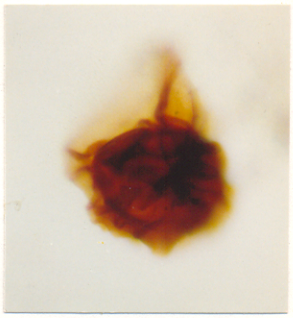
55

56

57



58



59