



Análise Lito-Estratigráfica dos Macrofósseis da Camada C6 da Formação Crato (Grupo Santana), Bacia Sedimentar do Araripe, Nordeste Do Brasil

João Kerensky R. MOREIRA¹; Geraldo Jorge Barbosa de MOURA²;
José de Araújo Nogueira Neto³

Resumo: A Bacia do Araripe apresenta um expressivo registro paleontológico, decorrente da separação e migração dos continentes Sul-Americano e Africano (Jurássico Médio), ocasionando mudanças paleoclimáticas que afetaram gradativamente a flora e a fauna desses continentes, decorrendo em um alto nível de endemismo e riqueza paleontológica, especialmente na Formação Crato. Esta Formação apresenta o maior registro paleontológico, de inestimável valor científico Regional e Mundial, onde os fósseis são revelados à medida que ocorre a exploração do calcário laminado. Assim sendo este trabalho objetivou investigar as variações geológicas e macropaleontológicas em diferentes afloramentos do último pacote carbonatado da Formação Crato (camada C6), Eocretáceo da Bacia do Araripe. Foram escolhidas três frentes de lavras ativas na porção norte da bacia, entre as cidades de Nova Olinda e Santana do Cariri, sub-bacia E: I (0423044 mE/9213404 mN UTM), II (0422535 mE/9212774 mN UTM) e III (0421281 Me/9213186 mN UTM). O procedimento de escavação obedeceu ao padrão de corte utilizado pelas mineradoras (0,5 x 0,5 m), extraindo folhas de calcário laminado com cerca de 3 cm de espessura; as quais após análise dos aspectos geológicos e paleontológicos seguiam o processo de comercialização das mesmas e os fósseis registrados foram coletados e depositados na coleção científica do Museu de Paleontologia da URCA – Santana do Cariri. Foram identificados dez níveis calcários distintos na última camada da Formação Crato, com diferenças na coloração, espessura, feições sedimentares e paleontológicas (macrofósseis). Os tipos de fossilização presentes foram a substituição por limonitização (Lavra 2) e a carbonização (Lavras 2 e 3). Os macrofósseis apresentaram uma orientação azimutal com eixo N–S e um eixo secundário NW–SE. Entre os dez níveis identificados, os níveis V e VI (*Capa Derradeira* e *Lajão de Peixes*) apresentaram uma maior concentração de peixes, artrópodes e vegetais. Entre os grupos fósseis coletados, os vegetais são mais abundantes em todos os estratos dos três afloramentos trabalhados, dando ênfase a grande quantidade de gimnospermas encontradas em relação às angiospermas. A interpretação desses níveis calcários demonstra as mudanças ambientais que o “Lago Araripe” sofria com o aporte sedimentar que recebia ocasionando mudanças físico-

¹ Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-graduação em Geologia

² Universidade Federal Rural de Pernambuco

³ Universidade Federal de Goiás – Faculdade de Ciência e Tecnologia

químicas da água. Um evento catastrófico gradual afetou o paleoambiente do "Lago Araripe", pois se verifica uma grande quantidade de fósseis de diferentes grupos, revelados nos mesmo níveis calcários.

Palavras-chave: Eocretáceo. Estratigrafia. Grupo Santana. Macrofósseis.

Abstract: *Lithostratigraphic Analysis of Crato Formation layer C6 macrofossils (Santana Group), Araripe Sedimentary Basin, Northeast of Brazil. The Araripe Basin presents a significant paleontological record, by the separation and migration of the continents South America and Africa (Middle Jurassic), resulting paleoclimatic changes gradually affecting the flora and fauna of these continents, happening at a high level of endemism and paleontological richness, especially in the Crato Formation. This training presents the greatest paleontological record, invaluable scientific Regional and World, where fossils are revealed as is the exploitation of laminated limestone. Therefore this study aimed to investigate the geological and macropaleontological variations in different outcrops of the last packet carbonated Crato Formation (layer C6) Eocretaceous Basin Araripe. Were chosen three areas of active mines in the northern portion of the basin, between the cities of Olinda and Santana do Cariri subbasin E: I (0423044 mN UTM mE/9213404), II (mE/9212774 0422535 mN UTM) and III (0421281 mN UTM Me/9213186). The procedure followed the excavation cut pattern used by mining (0,5 x 0,5 m), drawing sheets laminated limestone with about 3 cm thick, which after analysis of the geological and paleontological followed the marketing process receipt and recorded fossils were collected and deposited in the scientific collection of the Museum of Paleontology URCA - Santana Cariri. We identified ten distinct levels limestones in the last layer of the Crato Formation, with differences in color, thickness, sedimentary and paleontological (macrofossils). The types were present in the fossil substitution limonitization (Mine 2) and carbonization (Mines 2 and 3). The macrofossils showed azimuthal orientation with N-S axis and a secondary axis NW-SE. Among the ten identified levels, levels V and VI (Capa Derradeira and Lajão dos Peixes) had the highest concentration of fish, arthropods and plants. Among the groups collected fossils, vegetables are most abundant in all strata of the three outcrops worked, emphasizing the large amount of gymnosperms found in relation to angiosperms. The interpretation of these levels limestones demonstrates environmental changes that the "Araripe Lake" suffered from the sediment yield that received causing physicochemical changes of water. A catastrophic event affected the gradual paleo "Araripe Lake" because there is a large amount of fossil groups, revealed the same levels limestones.*

Keywords: Eocretaceous. Stratigraphy. Group Santana. Macrofossils.

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe, em referência as outras bacias mesozóicas interiores do Nordeste, possui um

precioso registro paleontológico, originado ao final do estágio rift de evolução da margem continental brasileira (CASTRO *et al.*, 2006).

Além da riqueza fossilífera, a Bacia do Araripe apresenta um complexo registro geológico que é estudado e redefinido por vários autores, com a utilização de novas tecnologias (difratometria de Raios X, petrografia, datação isotópica das rochas) tornando os resultados das pesquisas mais precisos, ocasionando a reinterpretação estratigráfica da bacia (NEUMANN, 1999; OLIVEIRA, 2006; ASSINE, 2007; CHAGAS, ASSINE & FREITAS, 2007; FAMBRINI *et al.*, 2011; FAMBRINI *et al.*, 2013). A exemplo, NEUMANN (1999) que elevou a Formação Santana a Grupo e os seus Membros (Crato, Ipubi e Romualdo) a categoria de Formação.

A formação estudada corresponde a Formação Crato (tectonosequência "Pós-rift") com espessura entre 50 a 70m, representa a segunda fase lacustre da bacia e compõe-se predominantemente de estratos horizontalizados de calcários laminados de natureza micrítica (sedimentos químicos), de ambientes lacustres internos com pouca ou quase nenhuma energia, que se intercalam com siltitos calcíferos e arenitos, derivados da Formação Rio da Batateira (NEUMANN, 1999; NEUMANN & CABRERA, 1999). Apresenta camadas de calcário variando em torno de 15m de espessura, de ambiente deposicional lacustre (LIMA 1978; NEUMANN, 1999; NEUMANN & CABRERA, 1999).

Segundo Neumann (1999), a Formação Crato apresenta 6 unidades de calcário laminado, com laminação milimétrica a centimétrica, denominadas da base para o topo de C₁ a C₆. Variam de cores que vai do

cinza azulado ao cinza claro e do marrom ao bege. As unidades apresentam espessuras diferentes, sendo mais espessa na porção SE da bacia, representando uma importante jazida de calcário, atualmente explorado pela indústria de cimento e de rochas ornamentais.

Através da exploração mineral dos calcários laminados da Formação Crato (Grupo Santana), muito do conteúdo fossilífero em pouco espaço de tempo é revelado pelos mineradores, diferente de uma escavação paleontológica com metodologia sistematizada, que devido a limitações de recursos e pesquisadores apresenta uma menor velocidade de acesso aos materiais paleontológico (FARA *et al.*, 2005; SARAIVA *et al.*, 2005; VILLA NOVA *et al.*, 2011). Assim, os pesquisadores fazem uso da indústria exploratória, que há séculos é responsável pela perda de material paleontológico em todo o mundo (OLIVEIRA, 2006).

Assim sendo, este trabalho objetivou investigar as variações lito-estratigráficas e macropaleontológicas em diferentes afloramentos do último pacote carbonatado da Formação Crato (camada C₆), Eocretáceo da Bacia do Araripe.

2. ÁREA DE ESTUDO

A região alvo da pesquisa englobou afloramentos da Formação Crato (Camada C₆) nas proximidades das cidades de Nova Olinda-CE e Santana do Cariri-CE, região próxima à borda Sul da bacia, em contato com a porção Norte do embasamento. Esta região representa um imenso polo de extração do calcário laminado, com

372 frentes de grande interesse econômico e social, na geração de emprego e renda, pela exploração do calcário laminado, denominado de "Pedra Cariri", utilizado na construção civil como ladrilhos para revestimentos de pisos e paredes, móveis e artesanato local (SALES, 2005). O rejeito vem sendo aplicado em aterros, piso morto de construções domiciliares da população de baixa renda, fabricação de cimento *portland* e atualmente, após a moagem, como carga na fabricação de calçados de borrachas pelas indústrias calçadistas

da região, diminuindo assim os impactos ambientais causados na exploração desse bem mineral (OLIVEIRA, 2006).

Para o alcance dos objetivos foram escolhidas três frentes de lavras aleatórias e ativas: I (0423044 mE/9213404 mN UTM), II (0422535 mE/9212774 mN UTM) e III (0421281 Me/9213186 mN UTM), onde foi realizado o trabalho de campo adaptando a metodologia utilizada tradicionalmente pelos mineradores da região aos objetivos da pesquisa (Figura 1).

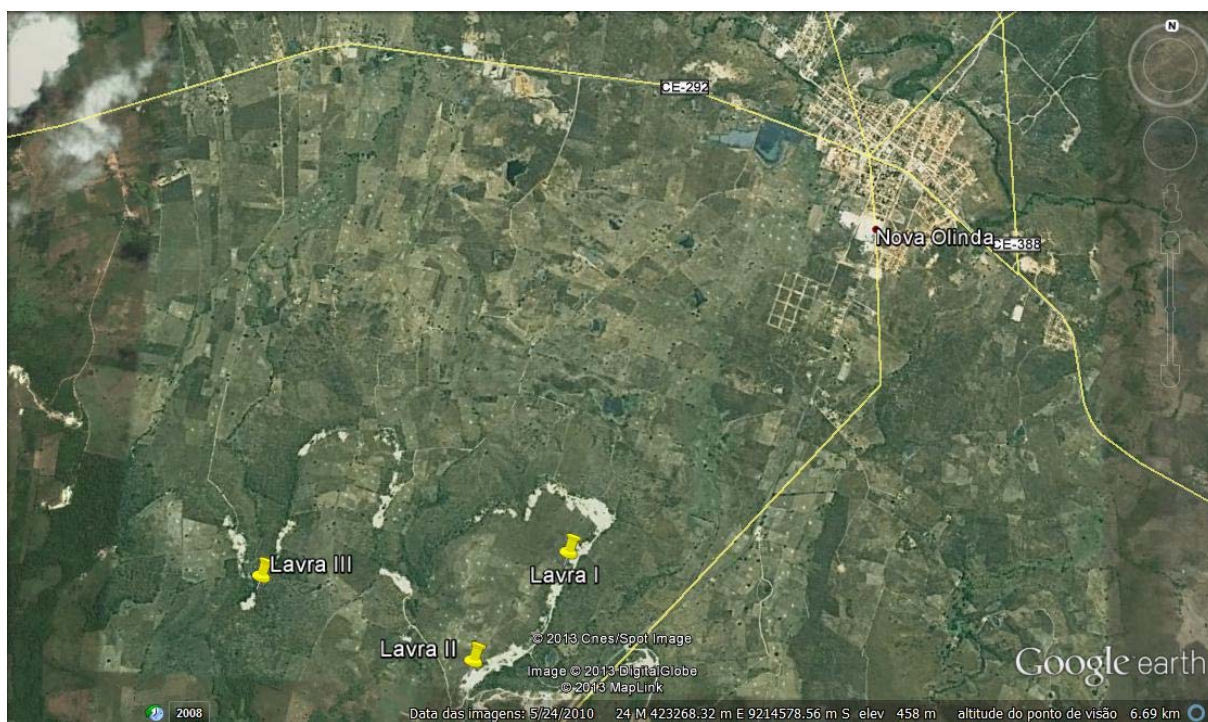


Figura 1: Foto de satélite da região de estudo, evidenciando as frentes de lavras monitoradas (pontos amarelos), entre as cidades de Nova Olinda-CE e Santana do Cariri-CE (Fonte: Google Earth, com modificações).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Devido às dificuldades inerentes a frentes de lavras em exploração comercial, obedeceu aos padrões locais de extração (formas trapezoides e irregulares, com áreas superiores a 50 m²) e delimitação de quadrantes

para controle estratigráfico dos macrofósseis, obedecendo ao padrão de corte utilizado pelos mineradores, de 0,5 m x 0,5 m na extração do calcário laminado (área de 2,5m²) (Figura 2A) (MOREIRA & NOGUEIRA NETO, 2007; MOREIRA, 2009).

O trabalho de campo foi realizado entre julho e outubro de 2007 e entre janeiro e março de 2008. E teve início com a retirada da parte intemperizada em cada uma das três áreas estudadas (MOREIRA & NOGUEIRA NETO, 2007; MOREIRA, 2009).

Posteriormente as áreas a serem cortadas tiveram seus quadrantes marcados com linhas de nylon e com a utilização de máquina "policorte", os quadrantes com espessura de 8 cm a 10 cm foram cortados e marcados com tinta automotiva em spray (colunas e linhas) para facilitar a localização espacial dos fósseis nas lajotas calcárias (Figura 2B) (MOREIRA & NOGUEIRA NETO, 2007; MOREIRA, 2009).

Os blocos calcários foram levantados por meio de uma alavanca, e ao alcançarem a posição vertical, foram abertos segundo os planos de fissilidade da laminação (estratificação), utilizando-se martelos e talhadeiras, dividindo-os em três ou quatro lajotas calcárias com espessuras variando entre 2 cm a 3 cm. A medida que as lajotas foram separadas dos blocos calcários, verificou-se a existência de material fóssil (Figuras 2 D, E e F) (MOREIRA & NOGUEIRA NETO, 2007; MOREIRA, 2009).

Com a retirada das placas calcárias, foram contados os espécimes e preenchida uma ficha de campo, para anotações das medidas de comprimento, profundidade e coordenadas (azimute) de cada fóssil,

assim como a indicação de características hidrodinâmicas (articulados ou não, completos ou incompletos, bidimensionais ou comprimidos, características ecológicas e necrófilas e tipos de fossilização presentes) (MOREIRA & NOGUEIRA NETO, 2007; MOREIRA, 2009).

Ao total foram registrados 538 fósseis, entre peixes (maioria do gênero *Dastilbe*), artrópodes e restos vegetais. Os melhores exemplares fósseis, foram coletados, tratados e encaminhados ao Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens – URCA em Santana do Cariri, tornando parte do acervo, sendo o primeiro material da Formação Crato em lajotas calcárias com dados tafonômicos de coleta e origem (MOREIRA & NOGUEIRA NETO, 2007; MOREIRA, 2009).

A análise sedimentológica foi feita diretamente, no momento da extração das lajotas calcárias, observando o grau de empacotamento, e em especial as estruturas sedimentares inorgânicas e biogênicas (macrofósseis) associadas no litotipo. No que se refere a análise estratigráfica da assembléia fossilífera, foram feitos os seguintes registros: espessura, extensão lateral, geometria dos depósitos, contatos estratigráficos (superfície de erosão/hiato), estrutura interna e posição na sequência deposicional, especialmente em relação às parasequências (MOREIRA & NOGUEIRA NETO, 2007; MOREIRA, 2009).



Figura 2: (A) Tamanho padrão dos quadrantes da frente de lavra ou “talhado”, utilizados pelos mineradores para extração das lajotas calcárias; (B) Após a marcação utilizando um gabarito padrão, é iniciado o padrão de corte (0,5 m x 0,5 m) no talhado; (C) Marcações dos quadrantes na parede do talhado com uso de tinta automotiva em spray; (D) Uso de alavanca para levantar um bloco de calcário laminado; (E) Uso de um martelo e de uma talhadeira, dividindo o bloco em quatro ou três lajotas, depois de separada a lajota do bloco calcário, verifica-se a existência de conteúdo fóssilífero entre as placas; (F) Evidenciado a presença de fósseis, estes são catalogados em uma ficha de campo e os que apresentam características mais expressivas são preparados e encaminhados ao museu local.

3. RESULTADOS

3.1 Descrição Litológica dos Níveis Calcários da Cama C6 da Formação Crato

Foram identificados dez níveis calcários nos três afloramentos investigados. Segue abaixo a descrição das feições litológicas registradas, mantendo a terminologia local empregada pelos mineradores.

- **Nível I - Matracão**

Com espessura média de 35 cm, o Matracão é caracterizado por ter sua porção superior muito maciça, gradando a laminar na sua porção inferior. Possui coloração vermelho-ferrugem, muito oxidado, por representar a fase final do “Lago Araripe”, período da regressão progradacional, ou seja, sendo influenciado pela fase marinha da Bacia (Neumann *et al.*, 2003). É um nível sem fim comercial e não foi encontrado macrofósseis (Figura 3A).

- **Nível II – Capa**

Com espessura média de 1,9 m, são visíveis estratificações plano-paralelas, que exibem coloração vermelho escuro na porção superior, variando para vermelho claro na porção média e alternando para bege claro na sua porção inferior. Corresponde a uma camada muito friável, ou seja, de fácil desagregação. É um nível sem fim comercial e não foi encontrado macrofósseis (Figura 3B).

- **Nível III - Capa Massenta**

Com espessura de 53 cm, apresenta estratificações planas paralelas, coloração bege claro na

porção superior, bege escuro na porção média e bege mais claro, na porção basal. Esse nível representa o calcário laminado propriamente dito, de aplicação para uso comercial. Segundo os mineradores, são encontrados macrofósseis em pequena quantidade, embora não tenha sido registrado (Figura 3C).

- **Nível IV - Lajão Duro**

Com espessura de 17 cm, apresenta estratificação plano-paralela, alternando a coloração de bege claro, a marrom claro e novamente bege claro / marrom claro na porção inferior. Esse nível exibe as mudanças paleoclimáticas que o “Lago Araripe” (NEUMANN & CABRERA, 2002) sofria nos períodos secos (coloração bege claro) e úmidos (coloração marrom claro). Segundo os mineradores, apresenta macrofósseis em grande quantidade, entretanto estava desativado por ter sido totalmente desmontado anteriormente, à época da coleta dos dados (Figura 3D).

- **Nível V - Capa Derradeira**

Com espessura de 72 cm, com estratificação plano-paralela e coloração vermelha clara, alternando com um bege claro sucessivamente, camada superior, sendo que sua porção inferior apresenta uma coloração vermelho claro. A partir desse nível, foi possível o acompanhamento de forma regular, do desmonte do afloramento calcário (Figura 4A).

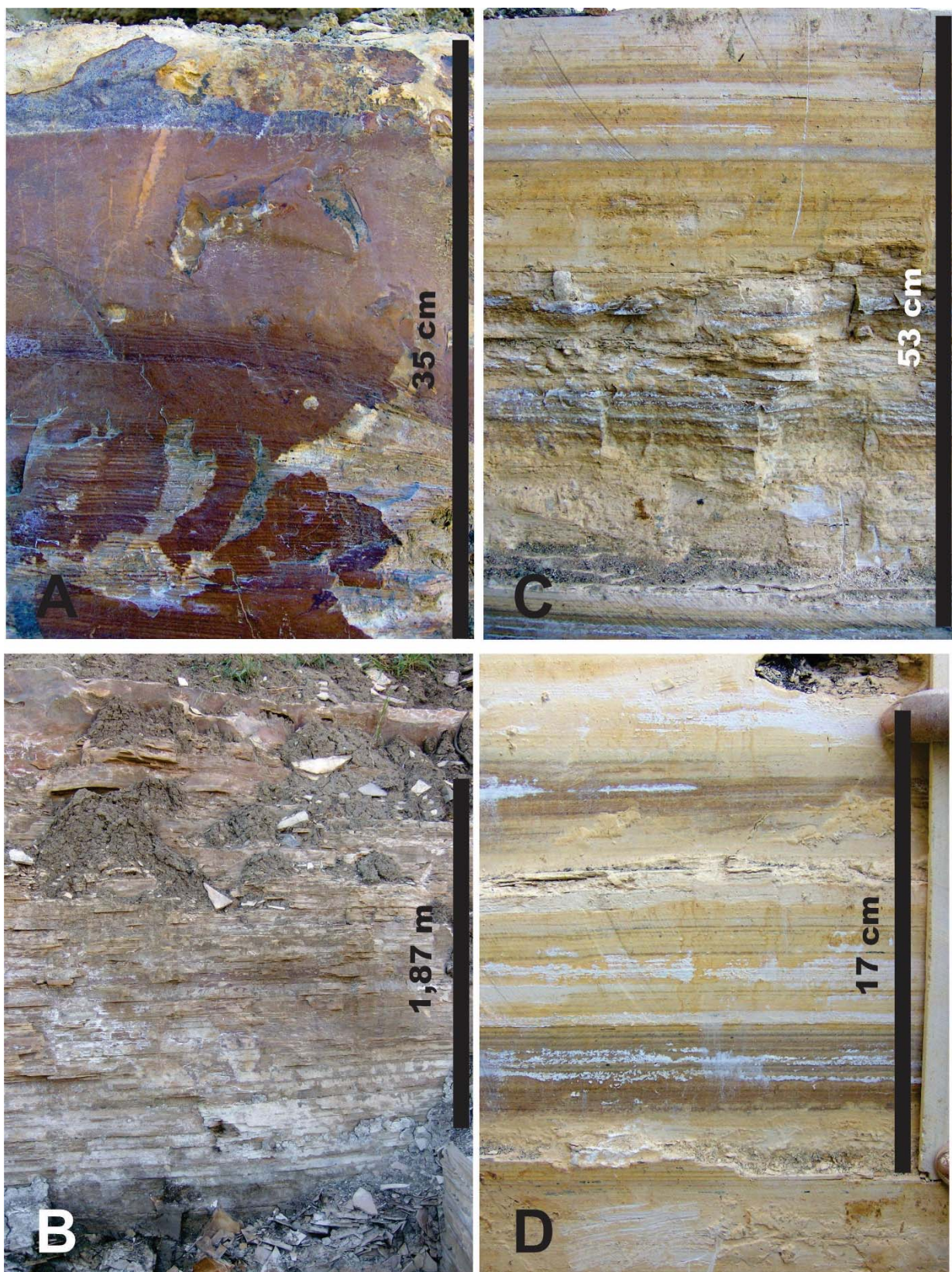


Figura 3: Níveis calcários evidenciando as diferenças litológicas e de coloração, (A) Matracão, (B) Capa, (C) Capa Massenta e (D) Lajão Duro.

- **Nível VI - Lajão dos Peixes**

Com espessura de 100 cm, com estratificação plano-paralela presente e de coloração vermelho escuro, alternando para vermelho claro sucessivamente. Esse nível apresentou a maior quantidade de material paleontológico, durante o desenvolvimento do trabalho, com registro de macrofósseis de peixes (*Dastilbe sp.*), o que dá origem ao nome e fósseis de insetos (Figura 4B).

- **Nível VII - Lajão Preto**

Com espessura de 10 cm, contendo estratificação plano-paralela, apresenta coloração vermelho claro na porção superior tornando-se vermelho escuro na porção inferior. São registradas ocorrências de poucos macrofósseis, e não possui valor comercial, ou seja, não se presta a confecção das lajotas calcárias, visto que a rocha nesta porção possui pouca resistência física (muito friável) (Figura 4C).

- **Nível VIII - Pedra Azul**

Nível encontrado apenas na frente de lavra II, com espessura de 38 cm, entretanto pode ser superior a um metro, dado que foi encerrada a extração das lajotas na profundidade de 6 m e este nível representava a

porção inferior do local de exploração. Apresenta uma coloração do cinza clara na porção superior e à medida que se aprofunda o talhado, exhibe coloração cinza chumbo escuro. Essa coloração cinza se deve a presença de matéria orgânica acumulada durante a geração do litotipo e apresentou uma quantidade relativa de macrofósseis (Figura 4D).

- **Nível IX - 1º Lajão Bombado**

Com espessura de 15 cm, possui estratificação plano paralela, com coloração bege claro. Esse nível é muito irregular, apresentando *microslumps* (ondulações), evidenciando águas mais agitadas nesse litotipo. Não possui valor comercial devido a sua irregularidade e, no entanto, apresentou uma pequena quantidade de macrofósseis (Figura 4E e F).

- **Nível X - 2º Lajão Bombado**

Com espessura de 5,5 cm, exhibe as mesmas características do 1º Lajão Bombado, no que se refere ao corpo rochoso. Não possui valor comercial por sua irregularidade, sendo reconhecido um número menor de macrofósseis, em relação ao nível anterior. Esses dois níveis mostram uma mudança no regime deposicional, com evidência de águas mais agitadas pela configuração irregular do litotipo.

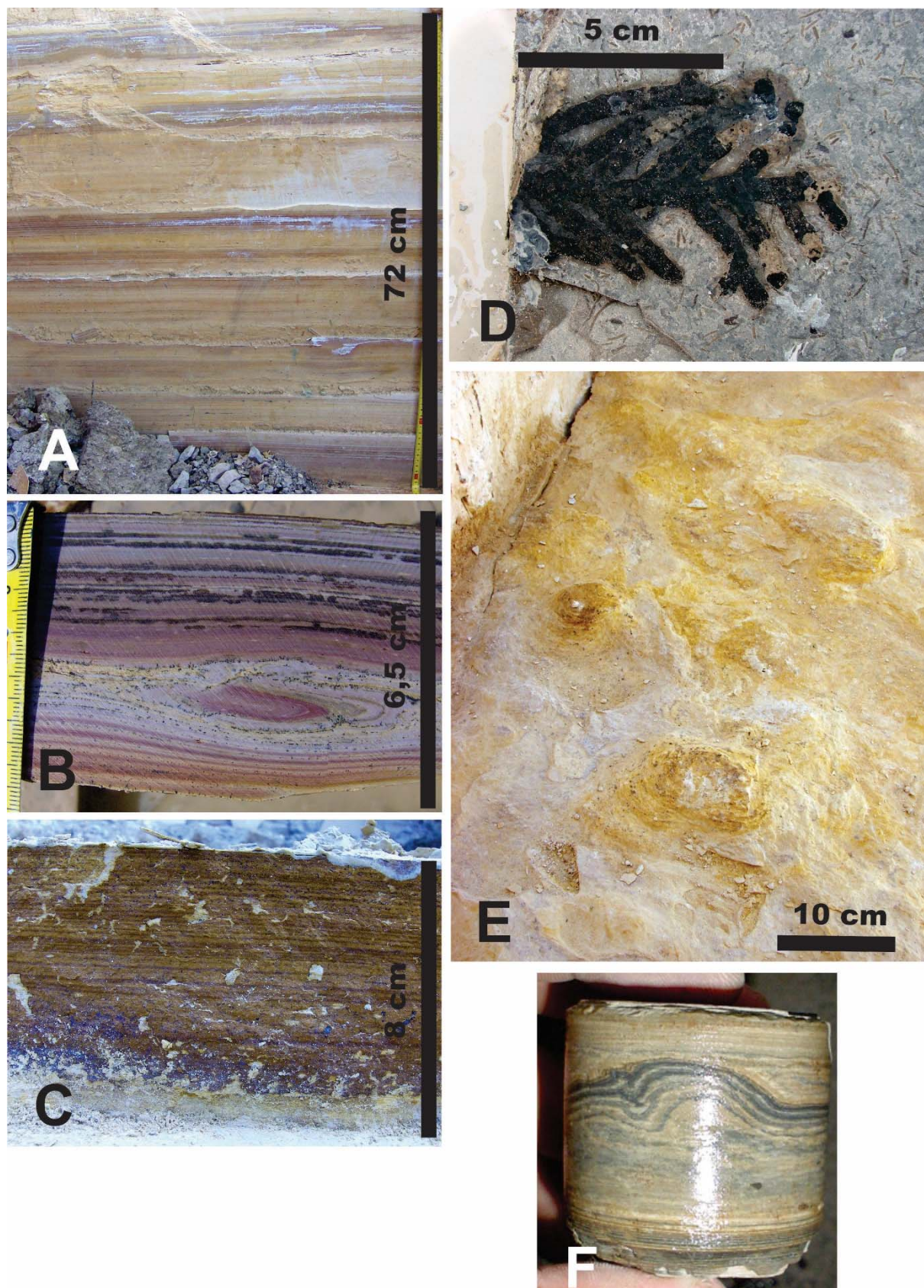


Figura 4: Níveis calcários evidenciando as diferenças litológicas e de coloração, (A) Capa Derradeira, (B) Lajão dos Peixes, (C) Lajão Preto, (D) Pedra Azul, na lajota, gimnosperma do gênero *Brachyphyllum* sp., (E) 1º Lajão Bombado, notar as microslumps (ondulações) do litotipo vista de cima e (F) visto de perfil (F NEUMANN, 1999).

3.2 Diferenças Litológicas das Frentes de Lavras

As três áreas estavam em início de desmontagem, para a viabilização dos estudos, o que possibilitou a maior riqueza de dados e uma melhor observação nas litologias que iam sendo reveladas na extração das lajotas calcárias, apresentando mudanças na textura, cor, espessura e conteúdo paleontológico.

A Lavra I foi à primeira área a ser estudada, apresentando nove níveis calcários entre os dez identificados, com exceção do nível Pedra Azul (Figura 5A). Nesta área houve um maior controle de obtenção de dados, devido ao menor número de trabalhadores, interferindo na velocidade de corte e extração das lajotas calcárias e encerrando a desmontagem aos 9 m de altura.

Essa área foi a que melhor apresentou uniformidade das feições estratigráficas. Apresentou quatro colorações diferentes nos calcários, na porção superior uma coloração ferruginosa, seguida de uma avermelhada, bege, novamente avermelhada e finalizando na porção inferior com bege (Figura 5A).

A Lavra II distante de 1000 m da Lavra I, a extração das lajotas calcárias era mais rápidas devido ao maior número de trabalhadores, apesar de a área ser maior em relação à Lavra I. Na Lavra II apresentou apenas sete níveis calcários, com uma diferença na coloração, iniciando na porção superior

uma coloração ferruginosa, nas porções medianas, uma coloração avermelhada seguida com bege e na porção inferior uma coloração cinza. Apresentou em alguns níveis, espessuras e coloração diferentes, a exemplo os Níveis IV (*Lajão Duro*), V (*Capa Derradeira*) e VI (*Lajão dos Peixes*), este último de coloração bege e espessura de 78 cm (Figura 5B). O Nível VIII (*Pedra Azul*) sendo identificado apenas nesta área, apresenta uma coloração cinza, devido nesta formação do litotipo conter mais matéria orgânica que os outros níveis e encerrado a desmontagem aos 6 m de altura.

A Lavra III sendo a terceira área estudada, encerrando a desmontagem do afloramento em 3 m de altura, em que o calcário posterior era de péssima qualidade, sendo inviável a sua exploração. Apresenta apenas duas variações na coloração do litotipo, na porção superior de coloração bege e na porção inferior coloração avermelhada e foram apenas identificados, quatro níveis calcários. Esta área é muito semelhante à Lavra I em termos de espessura, textura e coloração dos níveis com exceção do Nível VI (*Lajão dos Peixes*), por apresentar apenas uma coloração bege (Figura 5C). Evidenciou-se nessa área a ausência dos Níveis calcários I e II (*Matracão e Capa*) cuja zona de intemperismo entra em contato direto com o Nível III (*Capa Massenta*).

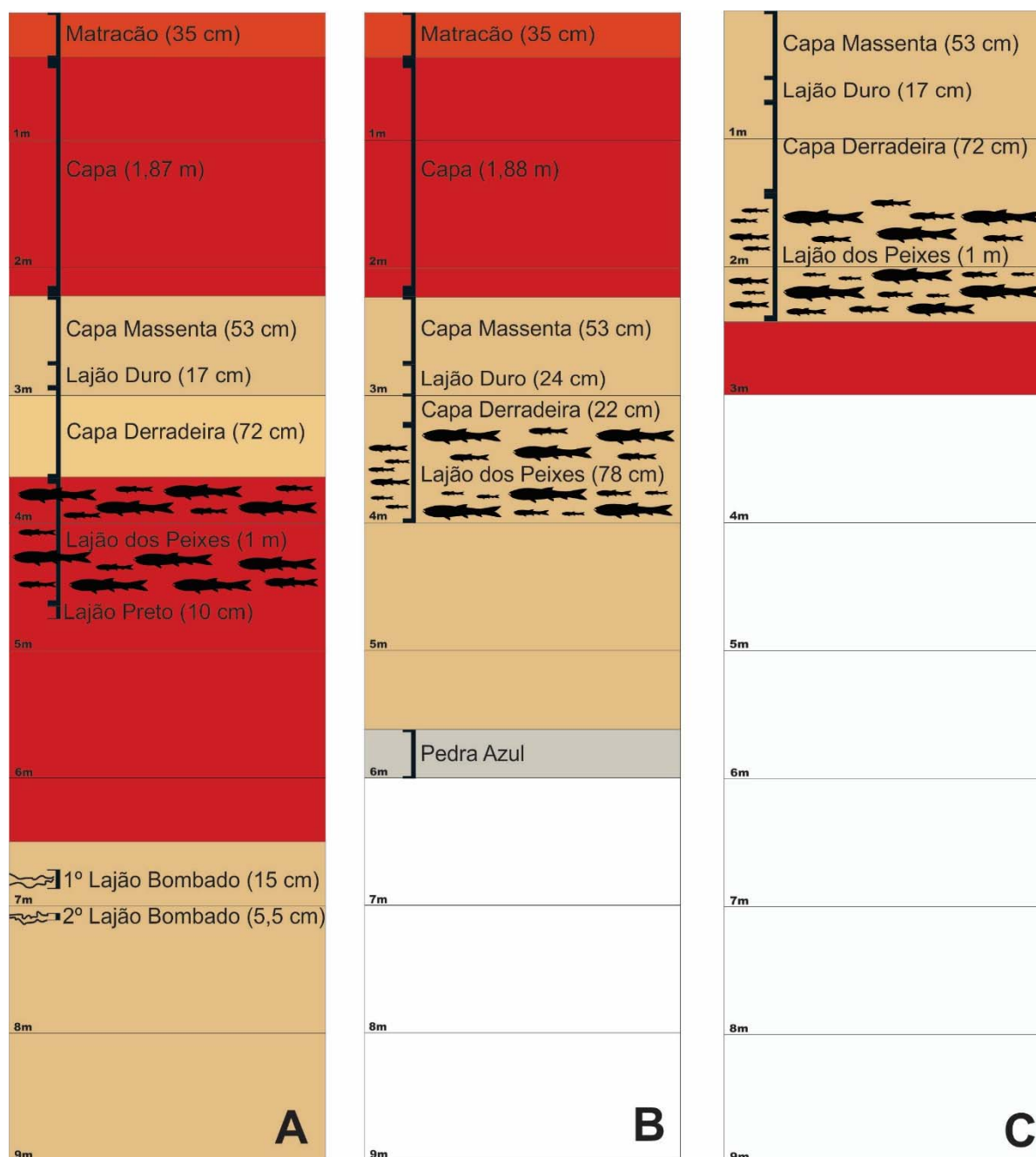


Figura 5: Esquemática dos níveis calcários nas três áreas de estudo, apresentando mudanças na textura, cor, espessura e conteúdo paleontológico: (A) Lavra I, (B) Lavra II e (C) Lavra III.

3.3 Conteúdo Paleontológico

Em relação ao conteúdo fossilífero, as frentes de lavras apresentaram diferenças em quantidade, diversidade e qualidade de preservação de seus fósseis. Diferenças estas que tiveram como principal fator o nível de exploração de

cada talhado, ou seja, algumas frentes estavam muito adiantadas enquanto outras estavam no início da extração das lajotas calcárias.

Lavra I

Na Lavra I observam-se máximas de frequências crescentes e

decrecentes, sempre alternando nos níveis VI (*Lajão dos Peixes*), IX e X (1^o e 2^o *Lajões Bombados*), enquanto no Nível VI a frequência de fósseis é mais homogênea.

No intervalo de 7,30 m a 7,00 m, no Nível X (2^o *Lajão Bombado*) a quantidade de peixes e vegetais é equivalente. Posteriormente os vegetais superam o número de peixes e depois se torna nula a sua quantidade (Figura 6).

No intervalo 6.70 m a 6,40 m, início do Nível IX (1^o *Lajão Bombado*), a frequência de vegetais, é maior em relação a de peixes, seguida posteriormente de um aumento gradual na frequência de peixes superando a de vegetais e esses últimos tornam-se quase nulos (Figura 6).

No intervalo de 5,60 m a 5,50 m, as frequências de vegetais e peixes são equivalentes, e na barra seguinte, os vegetais correspondem ao grupo fóssil em destaque (Figura 6).

No intervalo 4,70 m a 4,30 m, no início do Nível VII (*Lajão Preto*), até o início no Nível VI (*Lajão dos Peixes*), a frequência de peixe e vegetais inicialmente é igual; logo em seguida a proporção de peixes supera a de vegetais e no final deste intervalo as frequências tornam-se relativamente iguais. Observa-se neste intervalo a presença de artrópodes, onde se vê um pequeno aumento de sua frequência (4,6 m) seguida de uma grande expansão na porção inicial do Nível VI (4,5 m). Segundo o relato dos mineradores locais, os artrópodes estão sempre associados ao Nível VI, em outros níveis calcários os mesmos são ausentes ou raramente encontrados.

No intervalo de 7,30 m a 7 m, a frequência na dimensão dos peixes é de 7 cm, e no início do Nível X (2^o *Lajão Bombado*), ocorre um aumento do tamanho entre 8, 10 e 20 cm, em seguida voltam ao tamanho inicial de 7 cm. Na profundidade de 7 m, prevalecem peixes de 6 cm de tamanho em relação aos 10 cm no mesmo intervalo (7,30 m a 7 m) (Figura 6A).

Na profundidade de 6.70 m, a frequência de peixes entre 4 e 5 cm é maior em relação aos de 3, 7 e 10 cm, término do Nível IX (1^o *Lajão Bombado*); em 6.60 m a frequência de 3 cm é a mesma, enquanto diminui os de 4 cm e aumenta a frequência de 5 cm e uma expansão de peixes com 6 cm e um pequeno aumento de peixes com 7 cm de tamanho; em 6.50 m a proporção de peixes com 3 e 4 cm são equivalentes, enquanto há mais um aumento de peixes de 5 cm, diminuição dos de 6 cm e mais um aumento de peixes de 7 cm de tamanho; em 6.40 m apenas permanecem os peixes de 6 e 7 cm, com uma redução acentuada e reaparecem os peixes de 10 cm, onde esses três tamanhos, encontrados neste nível, exibe proporções iguais.

Em 5.60 m de profundidade reaparecem peixes de 4 cm com maior incidência do que os de 5 cm de tamanho nesta profundidade (Figura 6A).

Em 4.70 m, início do Nível VII (*Lajão Preto*), encontra-se uma pequena quantidade de peixes de 3 cm, seguido de peixes com 4 e 5 cm em quantidades iguais; em 4,60 m, interseção do Nível VII com o Nível VI (*Lajão dos Peixes*), há uma acentuada expansão e variedade de tamanhos, presença de peixes de 1 e 2 cm,

expansão de peixes de 3, 4 e 5 cm de tamanho e reaparecimento de peixes de 6 cm; em 4,50 m, Nível VI, há uma redução de peixes de 1 cm (maior), 2, 4 cm, enquanto há expansão na frequência de peixes de 3 cm; entre 4,40 m e 4,30 m, ainda no Nível VI, há mais uma redução de peixes de 4 cm e reaparecem peixes de 5, 6 e 7 cm, sendo o primeiro em quantidade maior, do que os dois últimos tamanhos (Figura 6A).

Na profundidade de 7,30 m a frequência de vegetais é pequena, apresentando inicialmente com tamanhos de 10 cm, enquanto no nível de 7,20 m, aparecem vegetais de 30 cm e uma frequência maior de vegetais de 40 cm; em 7,10 m, acima do Nível X (*2º Lajão Bombado*), há uma expansão na quantidade e variedade de tamanhos dos vegetais, com 2 e 3 cm (maior quantidade), 4 cm (com frequência menor), 5, 6, 7, 8 cm e presença de tamanhos superiores a 20 e 50 cm; em 7,00 m encontra-se apenas vegetais de 6 cm com frequência menor, comparado ao nível anteriormente citado (Figura 6B).

A 6,70 m de profundidade, acima do Nível IX (*1ª Lajão Bombado*), encontram-se vegetais de tamanhos inferiores a 1 cm, frequência alta de vegetais de 1 e 3 cm, frequências iguais de 4 e 5 cm, um aumento de vegetais de 6 cm e reaparecimento de vegetais de 10 cm; em 6,60 m, encontra-se apenas, vegetais de 5 cm com uma frequência menor, em relação ao nível anterior; em 6,50 m reaparecem vegetais de 2 cm (frequência maior em relação aos demais tamanhos), de 3 e 7 cm (com frequências iguais) e de 10 cm (com redução na sua frequência);

em 6,40 m encontram-se apenas vegetais maiores que 50 cm, com frequência igual na profundidade de 7,10 m (Figura 6B).

No nível de 5,60 m, ocorrem vegetais de 6, 7 e 20 cm, com frequências iguais; em 5,50 m os vegetais apresentam um tamanho reduzido em relação ao nível anterior com 1, 2 e 10 cm e apresentam frequências iguais (Figura 6B).

Em 4,70 m, no Nível VII (*Lajão Preto*) encontram-se vegetais de 1 e 3 cm de frequências iguais e maiores em relação aos vegetais de 30 cm; em 4,60 m, interseção do Nível VII com o Nível VI (*Lajão dos Peixes*), há um aumento na frequência de vegetais menores que 1 cm, uma expansão de vegetais de 1, 2, 3, 4 cm e reaparecimento de vegetais de 5, 6, 10 e 20 cm, mais com frequências iguais; em 4,50 m, Nível VI, há uma brusca redução da frequência de vegetais menores que 1 cm, seguido posteriormente de vegetais de 1cm (com frequência maior em relação ao demais tamanhos), 2, 4, e 10 cm, e a presença de vegetais de 7 cm; em 4,40 m, ainda no Nível VI, reaparecem vegetais de 3, 5, 20 e 30 cm, mas com as mesmas frequências aos vegetais de 4 cm, enquanto há um aumento na frequência de vegetais de 7 e 10 cm (Figura 6B).

Não se observa uma grande variedade de tamanhos dos artrópodes, em relação aos dois primeiros gráficos (Figuras 6A e B). Na profundidade de 4,60 m, interseção dos Níveis VII (*Lajão Preto*) e VI (*Lajão dos Peixes*), encontra-se apenas artrópodes de 2 cm de tamanho; enquanto no Nível VII, em 4,50 m, observam-se artrópodes com tamanho inferior a 0,5 cm, de

frequência menor em relação aos artrópodes de 1 cm, do mesmo nível (Figura 6C).

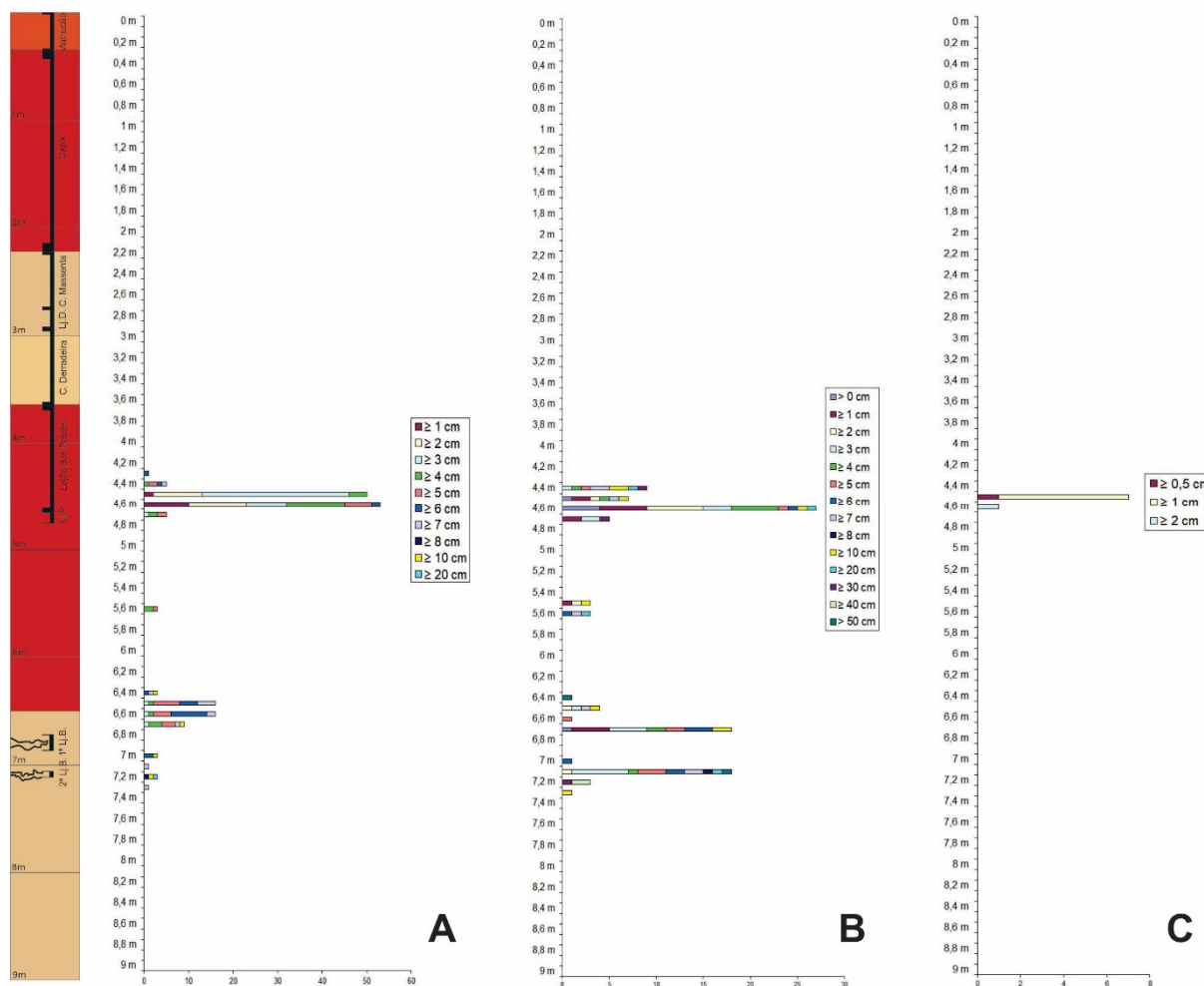


Figura 6: Relação altura (m) x tamanho (cm) em (A) peixes, (B) vegetais e (C) artrópodes coletados nos níveis calcários na Lavra I.

Lavra II

Na Lavra II observa-se que as quantidades de fósseis são correspondentes, ressaltando apenas os Níveis VI (*Lajão dos Peixes*) e VIII (*Pedra Azul*) (Figura 7).

No intervalo entre 5,70 m a 5,60 m, a frequência de vegetais é maior no início do Nível VIII (*Pedra Azul*) sendo menores as quantidades de peixes e artrópodes, ao contrário da área anterior, em que os artrópodes

já começam a aflorar neste nível (Figura 7).

No intervalo entre 4,00 m a 3,60 m, Nível VI (*Lajão dos Peixes*), inicialmente a frequência de peixes é maior, seguida de uma brusca redução e posteriormente um aumento relativo seguido de reduções gradacionais. A frequência de vegetais e de artrópodes inicialmente é quase igual, entretanto na frequência do primeiro a um aumento gradativo seguido de uma

redução, em que o número de vegetais supera ao de peixes. A frequência de artrópodes nesta área, inicialmente é maior, para em seguida apresentar alternâncias com máximas e reduções graduais (Figura 7).

Em 5,70 m, Nível VIII (*Pedra Azul*), encontram-se apenas peixes de 4 cm; em 5,60 m, término do Nível VIII ocorrem peixes de 4 e 6 cm, com frequências iguais e uma frequência maior de peixes de 7 cm (Figura 7A).

A 4,00 m, á uma grande frequência de peixes de 2, 3 e 5 cm, enquanto um valor reduzido de peixes de 4 e 6 cm; em 3,90, início do Nível VI (*Lajão dos Peixes*), existe a presença de apenas peixes de 4 e 5 cm, este último apresentando uma brusca redução; em 3,80 m reaparecem peixes de 2 e 3 cm em grandes quantidades e observar-se um pequeno aumento nos peixes de 4 e 5 cm; em 3,70 m, ainda no Nível VI, á uma redução nos peixes de 2 e 3 cm, para em seguida ocorrer um aumento nos peixes de 4 e 5 cm e reaparecimento dos peixes de 6 cm; enquanto na profundidade seguinte, 3,60 m, encontra-se uma alta frequência de peixes de 5 cm (Figura 7A).

Em 5,60 m de profundidade, término do Nível VIII (*Pedra Azul*), encontra-se uma diversidade de tamanho entre os vegetais com 2, 3, 4, 7, 20, 30 e 40 cm, esses apresentam menores frequências, enquanto os vegetais de 6, 8, 9 e 10 cm, exibem elevadas frequências (Figura 7B).

A profundidade de 4,00 m, aparecem vegetais de 1 cm, com a mesma frequência dos peixes de 4 e 5 cm, redução dos vegetais de 6 cm e aumento na frequência de vegetais de

2 e 7 cm; em 3,90 m, início do Nível VI (*Lajão dos Peixes*), há um aumento dos vegetais de 1, 2, 4, 5 e 6 cm, diminuição de vegetais de 7 cm e aparecimento de vegetais de 3 e 10 cm, com frequências iguais; em 3,80 m, surgem vegetais menores que 1 cm com frequência baixa, seguido do aumento de vegetais de 3, 5, 6, 7 e 10 cm e aparecimento de vegetais de 8 (com alta frequência), 9 e 20 cm; em 3,70 m apenas um insignificativo aumento dos vegetais de 1 cm, enquanto há uma redução nos vegetais de 2, 3, 5, 8 e 10 cm; em 3,60 m ocorre redução na frequência de vegetais de 1, 2, 4 e 5 cm, um pequeno aumento de vegetais de 3, 10 e 20 cm e reaparecimento de vegetais de 9 e 30 cm (Figura 7B).

Em 5,60 m, término do Nível VIII (*Pedra Azul*), encontra-se artrópodes maiores ou iguais a 0,5 e 1 cm, com valores equivalentes na quantidade de ocorrência (Figura 7C).

Na profundidade de 4,00 m, início do Nível VI (*Lajão dos Peixes*) encontra-se uma expansão na frequência de artrópodes de 1 cm; em 3,90 m a uma redução de artrópodes de 1 cm e aparecem artrópodes de 3 cm, mas ambos tamanhos possuem valores iguais em suas ocorrências; em 3,80 m a um aumento na frequência de artrópodes de 1 cm, aparecem artrópodes de 2 cm e com uma alta expansão na sua frequência em relação ao tamanho anterior, e artrópodes de 3 cm, com mesma frequência da profundidade anterior; em 3,70 m encontra-se apenas artrópodes de 1 cm, com a mesma quantidade de indivíduos da profundidade anterior; em 3,60 m reaparecem artrópodes maiores ou

iguais a 0,5, há uma redução de artrópodes de 1 cm, mas ambos os

tamanhos exibem frequências iguais (Figura 7C).

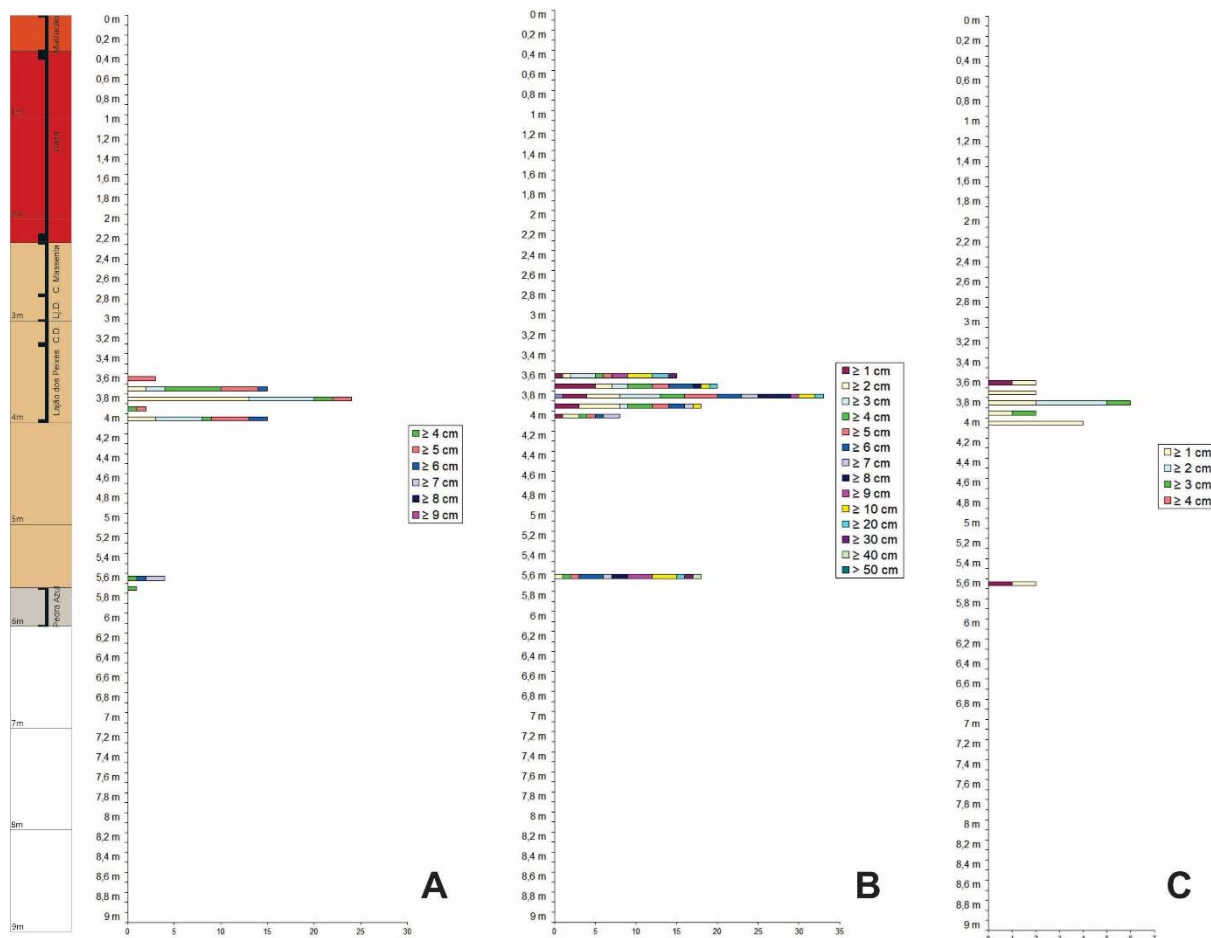


Figura 7: Relação altura (m) x tamanho (cm) em (A) peixes, (B) vegetais e (C) artrópodes coletados nos níveis calcários na Lavra II.

Lavra III

Na Lavra III, a coleta de dados foi prejudicada pela quadra chuvosa iniciada em Janeiro de 2008, período em que muitos mineradores deixam de explorar o calcário laminado e passam a dedicar-se as atividades agrícolas locais, até o final da quadra chuvosa, após esse período voltam à atividade mineradora. Os dados aqui apresentados correspondem ao período de estiagem, final de 2007. Nesta área a exploração do calcário laminado estava bem no início com profundidade de 0.84 m sendo

ausentes os Níveis I (*Matracão*) e II (*Capa*) (Figura 8).

Dos quatro níveis encontrados na Lavra III, apenas o Nível V (*Capa Derradeira*), apresentou conteúdo paleontológico, diferente das outras lavras estudadas anteriormente, esse nível já havia sido desmontado pelos mineradores (Figura 8).

No Nível V (*Capa Derradeira*), intervalo de 0,90 m, as frequências de vegetais nas duas primeiras amostras, superam as de peixes, esse último ao seu turno, inicialmente é quase igual à quantidade de artrópodes. Enquanto no

intervalo de 0,80 m a uma máxima frequência de vegetais e peixes (Figura 8).

A 0,90 m de profundidade, Nível V (*Capa Derradeira*), encontra-se apenas uma frequência de peixes de 4 cm; enquanto em 0,80 aumenta a variedade de peixes de 1 cm, peixes de 2 e 3 cm (ambos com uma frequência muito alta) e peixes de 5 cm com valor relativamente maior (Figura 8A).

Os vegetais na profundidade de 0,80 m apresentam uma grande variedade de tamanhos em relação à profundidade de 0,90 m, que é composto por vegetais de 1 cm

(frequência máxima) e vegetais de 2, 3 e 4 cm, de frequências equivalentes; em 0,80 m, Nível V (*Capa Derradeira*), os vegetais possuem tamanhos superiores ao nível anterior, com uma frequência alta de vegetais de 6, 10 e 40 cm, e vegetais de 8, 30 e 50 cm, relativamente em menores quantidades (Figura 8B).

No intervalo de 0,90 m, encontra-se apenas artrópodes de 1 cm, seguido posteriormente na profundidade de 0,80 cm, artrópodes maiores ou iguais a 0,5 cm, mas com frequências iguais (Figura 8C).

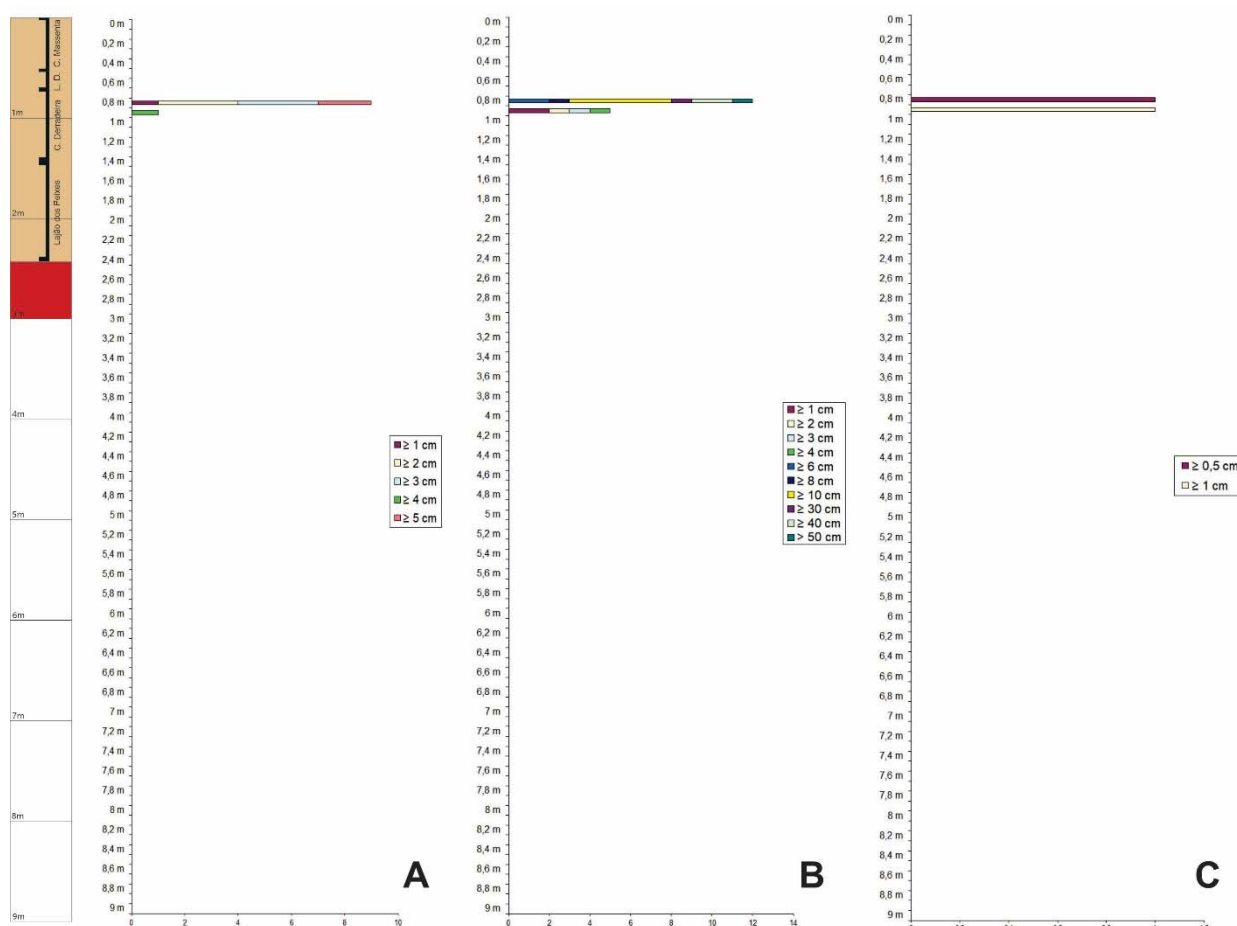


Figura 8: Relação altura (m) x tamanho (cm) em (A) peixes, (B) vegetais e (C) artrópodes coletados nos níveis calcários na Lavra III.

3.4 Tipos de Fossilização

As associações fósseis encontradas são compostas por dois tipos: autóctones (peixes e larvas de insetos) e alóctones (artrópodes terrestres e restos vegetais). A quantidade de organismos fósseis deve-se ao aporte dos rios que traziam carcaças ou restos de animais, restos de vegetais e sedimentos terrígenos que contribuía para a precipitação de CaCO_3 . Dessa maneira confirma-se um lago endorreico recebendo descarga dos rios adjacentes ou pela ação dos ventos na superfície provocando a movimentação e circulação das águas que auxiliavam na oxigenação em curtos momentos. A turvação da água devido aos sedimentos impedia a passagem de luz e em consequência a menor atividade fotossintética de algas contribuindo para uma má oxigenação do fundo do lago e uma menor ou total ausência de agentes necrófagos (bioturbação) (NEUMANN *et al.*, 2003).

Apenas dois tipos fossilização foram observados nas três áreas estudadas como a substituição por limonitização (tecidos originais normalmente são substituídos por óxidos de ferro ($2(\text{Fe}_2\text{O}_3)\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e a carbonização (Figura 9) deixando os fósseis mais escuros (HENRIQUES *et al.*, 1998; MOURA & BARRETO, 2006; LIMA *et al.*, 2007).

Na Lavra I, no intervalo de 7,30 m a 7,20 m no Nível X (*2º Lajão Bombado*), ocorre apenas a limonitização, com aumento gradual seguido por uma diminuição em 7,10 m. Em 7,10 m, após o Nível X, observa-se uma expansão na frequência da carbonização, seguida de uma brusca redução em 7,00 m, enquanto a

limonitização permaneceu com a mesma frequência nestas duas profundidades (Figura 9A).

Na profundidade de 6,70 m, após o Nível IX (*1º Lajão Bombado*), a carbonização é relativamente maior em relação à limonitização, e entre 6,60 m a 6,50 m, a limonitização é predominante com máximas nestes dois níveis, reduzindo sua frequência em 6,40 m, enquanto a carbonização vai diminuindo sua ação até chegar a sua nulidade neste último nível (Figura 9A).

Em 5,60 m, a frequência da limonitização é maior do que a carbonização, enquanto em 5,50 m a limonitização e a carbonização são quase equivalentes (Figura 9A).

Na profundidade de 4,70 m, Nível VII (*Lajão Preto*), há aumento da limonitização e da carbonização; no Nível VI (*Lajão dos Peixes*), a limonitização e a carbonização são apresentadas com frequências máximas (entres os intervalos de 4,60 m a 4,50 m), seguida de reduções bruscas (intervalos de 4,40 m e 4,30m) chegando a ser nula a carbonização, em 4,30 m.

Na Lavra II a limonitização é baixíssima, em 5,70 m, no Nível VIII (*Pedra Azul*). Em 5,60 m, após o Nível VIII, há uma expansão na limonitização, mas esta possui uma frequência menor em relação à carbonização (Figura 9B).

No intervalo de 4,00 m, há um aumento gradativo da limonitização, enquanto há uma redução da carbonização. Em 3,90 m, Nível VI (*Lajão dos Peixes*), inicia-se uma brusca redução da limonitização e um aumento gradual na carbonização. A 3,80 m, a carbonização é maior do que

a limonitização, apesar da limonitização ter sofrido uma expansão em relação ao nível anterior. A 3,70 m, ainda no mesmo nível calcário, ocorre uma brusca redução da limonitização e da carbonização, mas ambas apresentam frequências muito próximas. Em 3,60 m, há mais uma redução nos dois tipos de fossilização, mas a carbonização é maior do que a limonitização (Figura 9B).

Na Lavra III a profundidade de 0,90 m, no Nível V (*Capa Derradeira*),

inicialmente a frequência da carbonização é maior do que a da limonitização. Em 0,80 m, no mesmo nível calcário, a limonitização e a carbonização são equivalentes. Como o número de amostras deste talhado é reduzido, não podemos afirmar com certeza qual a ambiência, entretanto igualmente à Lavra II, a carbonização é predominante sobre a limonitização (Figura 9C).

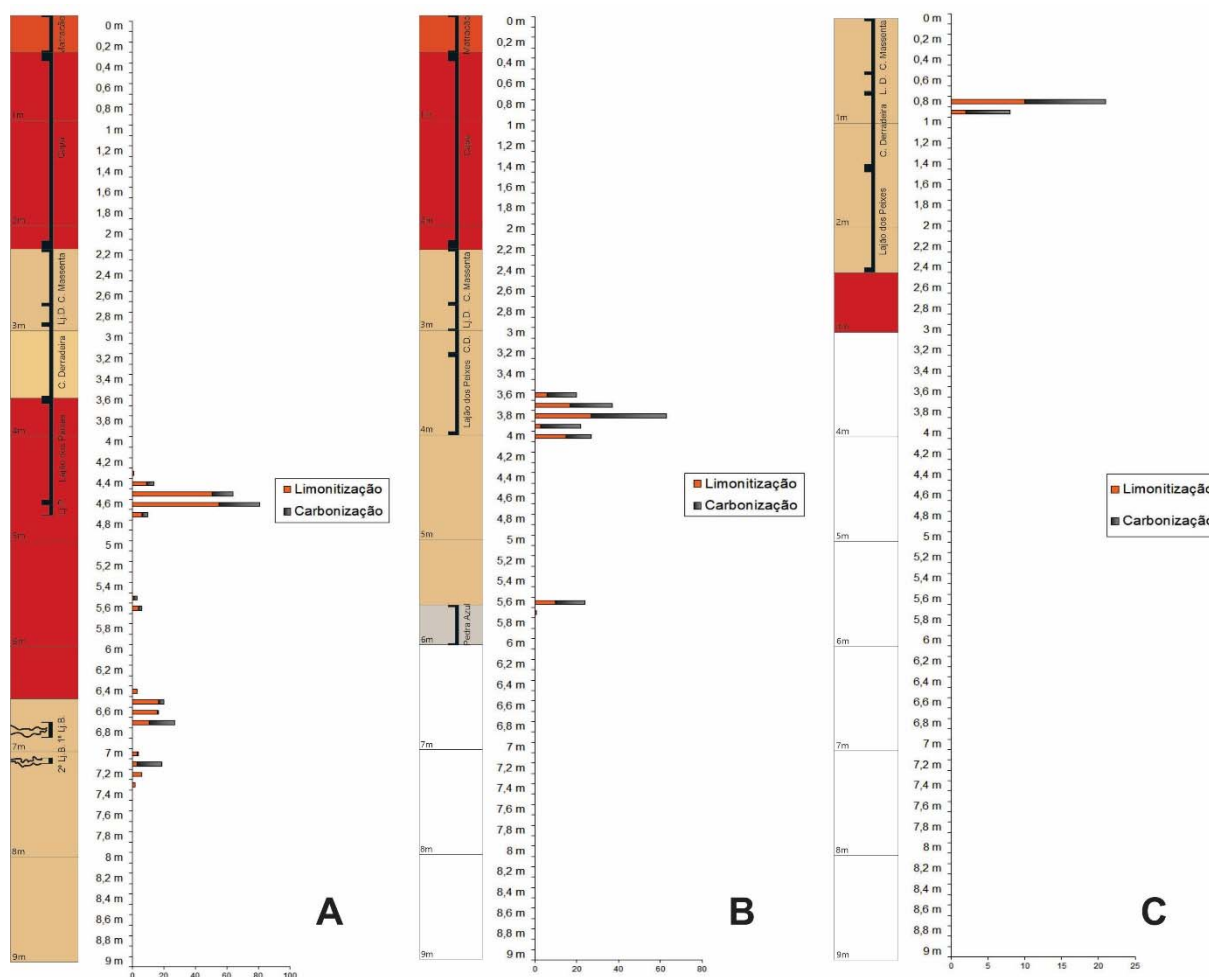


Figura 9: Relação altura (m) x tipos de fossilização nos níveis calcários em (A) Lavra I, (B) Lavra II e (C) Lavra III.

3.5 Grupos Fósseis

As Lavras I e II apresentam uma grande concentração fossilífera de peixes no Nível calcário VI (*Lajão dos Peixes*; 4.30 m e 3,6 m a 4.6 m e 3,9 m de profundidade) (Figuras 6A e 7A), enquanto na Lavra III os peixes se concentram no Nível calcário V (*Capa Derradeira*; 0,80 m a 0,90 m) (Figura 8A). Em relação aos artrópodes (classes insecta e arachnida) estão concentrados nos Níveis V (*Lajão dos Peixes*) e VI (*Capa Derradeira*) (Figura 10), entretanto exibe variedade de concentração, grupos (ordens) e muito material não identificado.

Afirmar-se que ocorrem dois níveis nos quais a concentração fossilífera de peixes e artrópodes atinge seu ápice, Níveis V (*Lajão dos Peixes*) e VI (*Capa Derradeira*) (Figuras 6, 7 e 8). As lavras apresentam diferenças nas suas profundidades e concentrações fossilíferas, por isso não foi possível diferenciá-las em horizontes. Com o aprofundamento posterior do estudo em outras áreas fazendo uma análise comparativa e de correlação poderá diferenciar com precisão os horizontes que apresentam determinados grupos de artrópodes nos calcários laminados da Formação Crato (Figura 10).

A Formação Crato da Bacia do Araripe contém uma variedade e abundância de Pteridófitas, Gimnospermas e Angiospermas. São encontrados fósseis "incompletos", que permanecem com várias partes na conexão biológica e principalmente desanexadas e dispersas (caules, cones reprodutivos, sementes, polens, folhagens, etc.) (VIANA & NEUMANN, 2002; KUNZMANN *et al.*, 2004; MOHR

& EKLUND, 2003; LIMA, SARAIVA & SAYÃO, 2012).

Nas três lavras há uma grande quantidade de material vegetal não identificado (fragmentos de caules, ramos, folhas e sementes), enquanto ao material identificado, as gimnospermas superam as de angiospermas (Figura 11).

Importante frisar que esse material fóssil vegetal está inserido juntamente com fósseis de peixes e artrópodes, demonstrando que o evento catastrófico de efeito gradual com retrações e expansões da coluna de água, afetava toda a paleobiota em grande escala que estava formada nos arredores do "Lago Araripe" (Figuras 6, 7 e 8).

Os gráficos apresentados (Figura 11) possuem relação direta com os gráficos anteriormente demonstrados (Figuras 6, 7 e 8), onde através dos depósitos lacustres que se depositavam nas épocas de grandes cheias aumentando a extensão real deste paleolago. Isso é verificado através de reduções seguida de bruscas expansões de concentrações fossilíferas de vegetais (Figura 11), quando este paleolago ia diminuindo suas margens no período de estiagem, as áreas que antes eram cobertas pela água eram gradualmente sendo ocupadas pela paleoflora e paleofauna nativa.

Com a chegada do período úmido, ocorria o aumento rápido do volume das águas do "Lago Araripe", as margens se expandiam e a áreas que eram cobertas pela paleoflora e paleofauna nativa volta a ser submersa e assim recomeçava o ciclo novamente. Esses ciclos (úmidos e

secos) poderiam ser longos ou curtos, vistos através das litologias apresentadas dos dez níveis calcários citados anteriormente.

Neste sentido as camadas finamente laminadas da Formação Crato, evidenciam períodos com alta concentração de matéria orgânica

alternado com épocas em que houve apenas sedimentação, ou grandes estiagens (secas) diminuindo a lâmina d'água, aumentando a salinidade e a temperatura, e diminuindo o potencial de oxigenação da água, entre outros fatores.

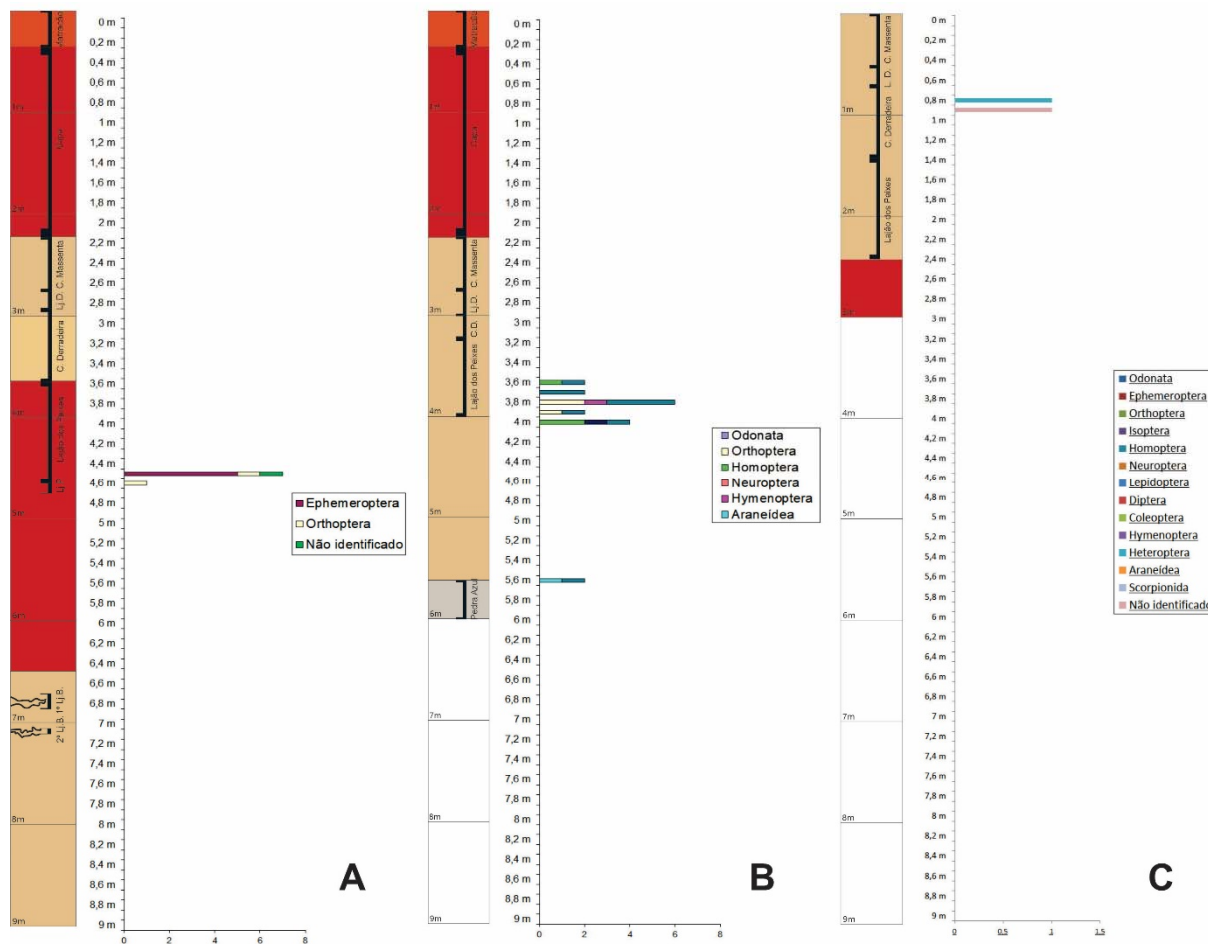


Figura 10: Relação altura (m) x grupos de artrópodes nos níveis calcários em (A) Lavra I, (B) Lavra II e (C) Lavra III.

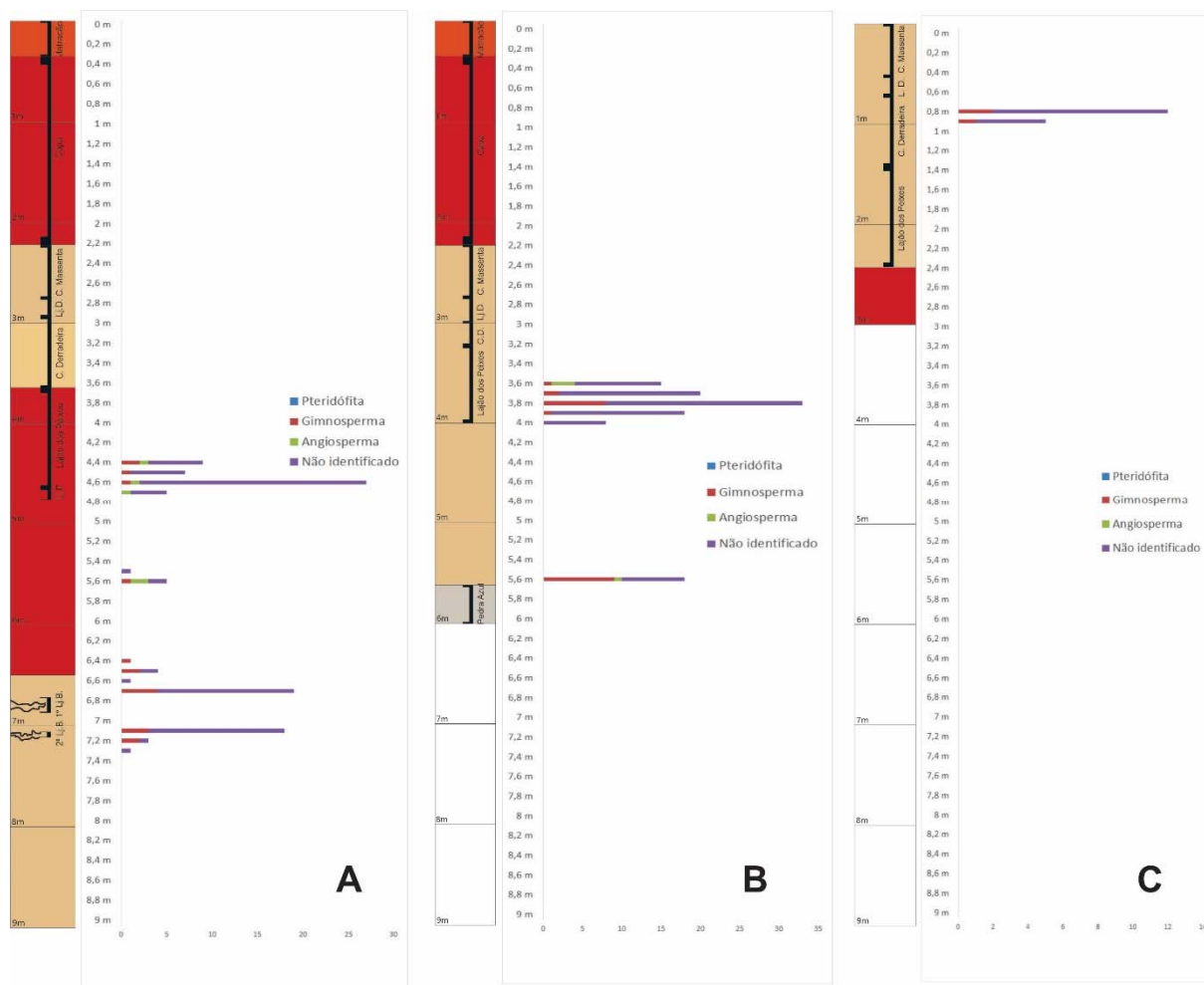


Figura 11: Relação altura (m) x grupos de vegetais nos níveis calcários em (A) Lavra I, (B) Lavra II e (C) Lavra III.

3.6 Orientação Azimutal

Nas três lavras foram retirados os azimutes ou orientações dos fósseis, no intuito de registrar um padrão preferencial. A Formação Crato sendo originado de um lago, muito extenso que ultrapassava os limites da depressão (VALENÇA et al., 2003), seus fósseis poderiam sofrer reorientações, imbricações e alinhamento para posições de maior estabilidade, quando estes iam sendo depositados no seu fundo.

O padrão de orientação dos fósseis é bimodal para as três lavras, sendo um importante eixo N–S e um eixo secundário NW–SE (Figuras 12A,

B e C). Esse padrão demonstra que o Paleolago Araripe sofria intervenções externas em curtos prazos de tempo, sendo alimentado apenas pelos rios locais de baixa energia.

A separação dos continentes Africano e Sul-Americano, o relevo continental da atual Bacia do Araripe, estava soerguido, diminuía a influência marinha sobre o paleoambiente do “Lago Araripe”, como mostra a direção preferencial das paleocorrentes de N-S (Figuras 12A, B e C).

Posteriormente com a total separação dos continentes, onde um rebaixamento deste relevo aumentou a transgressão marinha para dentro do

continente, mudando a direção das paleocorrentes para NW-SE (segundo FARA et al., 2005) (Figura 12D).

Antes o “Lago Araripe” era abastecido pelos rios locais de baixa energia, e no final do Aptiano o mesmo

lago seria abastecido pelas águas do novo oceano que estava se formando entre os continentes Africano e Sul-Americano, evidências mostradas nos Níveis I (*Matracão*) e II (*Capa*).

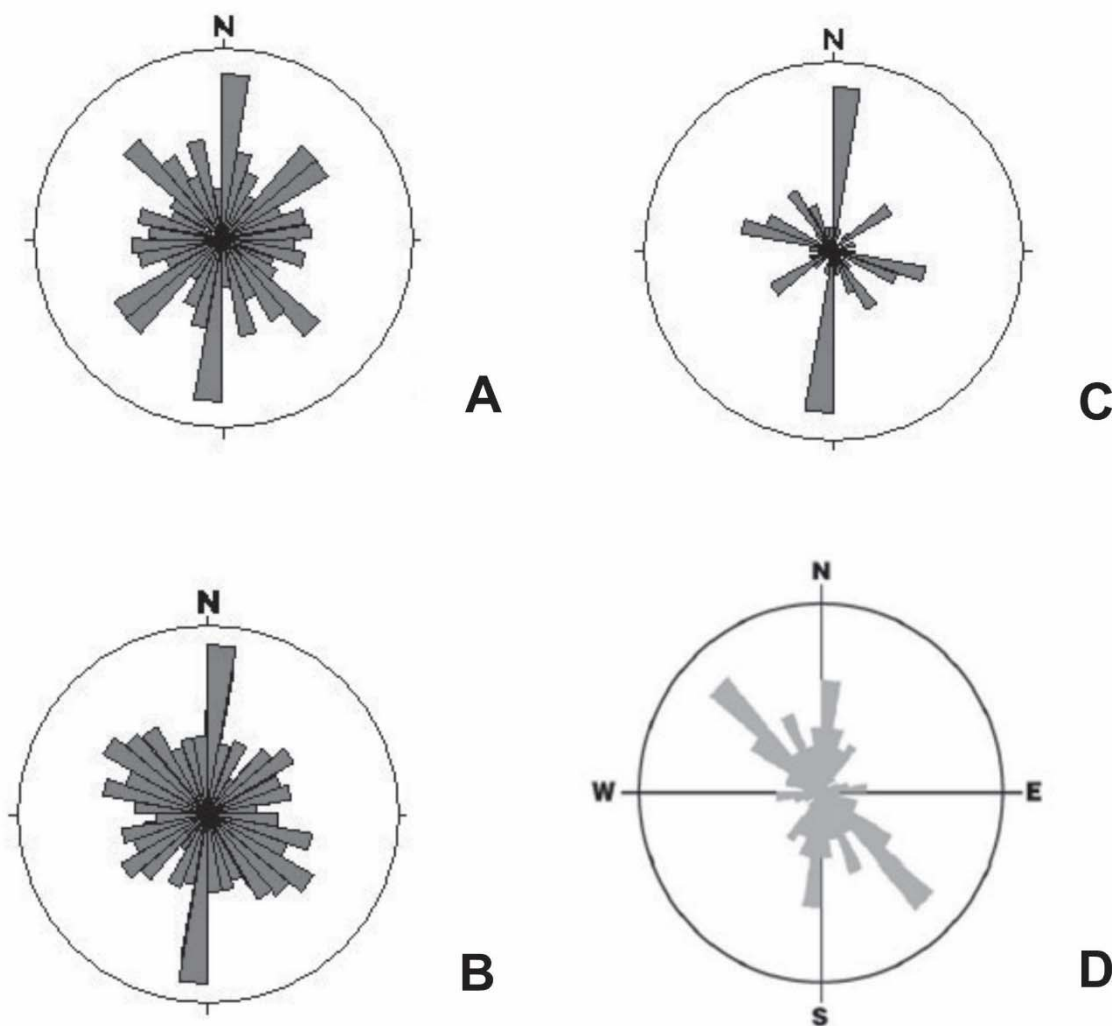


Figura 12: Padrão de orientação bimodal em (A) Lavra I, (B) Lavra II e (C) Lavra III. O diagrama de Roseta mostra a direção preferencial de N-S e a direção secundária de NW-SE, inverso do padrão encontrado por Fara et al. (2005) (D) da Formação Romualdo.

4. DISCUSSÃO

4.1 Marcos Estratigráficos

Com base na integração dos estudos, possibilitou na identificação de marcos estratigráficos das sequências sedimentares do Eocretáceo da Bacia do Araripe, caracterizando os limites

bioestratigráficos e cronoestratigráficos, bem como, incrementando a correlação estratigráfica regional da Bacia do Araripe, vem sendo buscado por diversos trabalhos de cunho regional (SMALL, 1913; BEURLIN, 1962, 1963, 1971; ARAI, COIMBRA & SILVA-TELLES 1997, 2001; GASPARY

& ANJOS, 1964; MABESOONE & TINOCO, 1973; OLIVEIRA *et al.*, 1979; PONTE & APPI, 1990, 1996; ASSINE, 1990, 1992, 1994, 2007).

Conforme Martins Neto (2006):
“Os horizontes contendo *Dastilbe* precedem os de *Ephemeroptera* e sucedem altas concentrações de níveis algálicos depositados, pobres em fósseis preservados.”

Essa afirmação está em desacordo com os dados levantados e interpretados anteriormente. A alternância de camadas observadas nas três áreas estudadas evidencia mudanças bruscas no paleoambiente, exibindo ou não concentrações de diferentes biotas que viviam naquele ambiente.

Essas mudanças estão presentes nas camadas identificadas nas três Lavras estudadas, nos Níveis V (*Lajão dos Peixes*) e VI (*Capa Derradeira*) uma grande concentração e em outras camadas poucas concentrações de fósseis (Figuras 6, 7 e 8). Quando o “Lago Araripe” estava na sua capacidade máxima as camadas apresentam poucas quantidades de material fossilífero. Mas quando este paleolago deixaria de receber a descarga de águas de rios circunvizinhos sofria saturação da água (pH, salinização), diminuição da oxigenação e volume de água, provocando um stress ambiental, sendo evidenciado na concentrações fossilíferas em determinadas camadas identificadas nas Lavras estudadas.

4.2 Interpretação Paleoambiental

A Bacia do Araripe apresenta uma grande biodiversidade fossilífera,

considerada um evento biológico singular com acentuado índice de macroevolução, representada pelo surgimento de novas famílias e gêneros entre as populações de insetos, peixes e répteis (em destaque os pterossauros) (CARVALHO & SANTOS, 2005).

Neumann *et al.* (2003), através da análise da composição e distribuição da matéria orgânica das sequências lacustres e da identificação dos palinórfos presentes, remontou a paleoflora e a paleogeografia local. O sistema lacustre da Formação Crato evoluiu em uma área tropical árido-semiárido onde a flora mais abundante consistia em coníferas, Gnetales, Bennettitales e angiospermas. Com o aumento do volume do “Lago Araripe” no período úmido, conduzia o aprofundamento da coluna de água, tendo como consequência a estratificação térmica da água, devido à influência climática. Enquanto no período árido, havia a queda do nível de água lacustre e encolhimento subsequente do tamanho do lago, conduzindo a uma geração de corpos de água rasos e salinos, sendo esta última afirmação confirmada por Goldberg *et al.* (2019).

Os micros e macrofósseis presentes em um jazido fossilífero e os grupos de fósseis específicos são bons indicadores para a interpretação paleoambiental de um afloramento em estudo.

Com base nisso foi possível notar uma grande diferença litológica nas camadas identificadas e citadas neste trabalho (Figuras 3 e 4). Camadas muito espessas outras muito finas, coloração variando de escuras a

bem claras, além das concentrações fossilíferas e grupos fósseis encontradas nos níveis calcários identificados (Figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10).

Com os dados apresentados e comparados o “Lago Araripe” sofria no decorrer dos anos mudanças bruscas na sua totalidade e a consequência dessas mudanças, afetava a paleoflora e paleofauna existente nas suas margens, originando uma afloramento fossilífero de estimado valor econômico, evolutivo e científico, sendo já citado anteriormente por Neumann *et al.* (2003).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram identificados dez níveis calcários que apresentaram diferenças na coloração, espessura, feições sedimentares e paleontológicas (macrofósseis), entretanto são descontínuos, alguns desses níveis estão ausentes (erosão do estrato litológico ou efeito de borda) em uma ou outra lavra.

Os níveis calcários encontrados apresentam mudanças na sua coloração devido ao aporte sedimentar que era trazido pelos rios locais que abasteciam o “Lago Araripe” além das mudanças tectônicas (pós-rift) que estavam ocorrendo na região, corroborando com períodos de inundação frequentes.

Esses sedimentos contribuíam modificando as propriedades físico-químicas da água do “Lago Araripe”, onde alguns níveis calcários apresentam diferenças quantitativas e qualitativas, evidenciando um período de stress ambiental, com máximas de

expansão e retração nos diferentes grupos fósseis (peixes, artrópodes e vegetais) observados nas três áreas estudadas (Lavra I - Zé Miguel, Lavra II – Idemar e Lavra III - José Valdivino).

O material fóssil coletado (peixes, artrópodes e vegetais) apresentou uma grande variação de tamanhos nos Níveis V (*Capa Derradeira*), VI (*Lajão dos Peixes*), VII (*Lajão Preto*), VIII (*2º Lajão Bombado*) e X (*Pedra Azul*).

Entre os tipos de fossilização a substituição por limonitização é mais evidente na Lavra I (talhado do Zé Miguel), enquanto a carbonização é preponderante nas Lavras II e III (talhados do Idemar e do José Valdivino). As camadas calcárias são mais ferruginosas na sua coloração na Lavra I (talhado do Zé Miguel) há uma predominância de óxido de ferro ($2(\text{Fe}_2\text{O}_3)3\text{H}_2\text{O}$), enquanto nas Lavras II e III (talhados do Idemar e do José Valdivino) os calcários são de colorações mais claras.

A disposição azimutal preferencial dos fósseis apresentou uma orientação com eixo N–S e um eixo secundário NW–SE, inversa da paleocorrente no trabalho de Fara *et al.* (2005).

As três lavras apresentam diferenças nas concentrações fossilíferas entre os níveis calcários, não podendo diferenciá-los até o momento em horizontes, entretanto entre a profundidade de 0,80 m a 4,6 m pode ser encontrada uma ampla gama de material fossilífero. Com base na interpretação dos dados, destacam-se os Níveis V (*Capa Derradeira*) e VI (*Lajão de Peixes*) que apresentaram

uma maior concentração fossilífera de peixes, artrópodes e vegetais.

Os vegetais são abundantes nas três lavras, dando ênfase a grande quantidade de gimnospermas encontradas superando as angiospermas (além da grande quantidade de material não identificado), até a presente data, estatisticamente este comportamento não possuía dados que o comprovassem, por ser considerados muito raros pelos pesquisadores locais.

No decorrer dos trabalhos de campo para a coleta de dados não foram encontrados materiais fossilífero de vegetais (algas e pteridófitas) e de outros vertebrados (anfíbio, réptil e ave) que são frequentes nestes calcários.

Admitir-se que por mês são coletados 400 fósseis por lavra tendo condições de exploração por vinte (20) dias ao mês, com desmonte de dez (10) meses ao ano, assim serão retirados pelo menos 4.000 exemplares fósseis por frente de lavra.

Um evento catastrófico gradual afetou em grande escala o paleoambiente do “Lago Araripe”, pois se verifica uma grande quantidade de fósseis de diferentes grupos, revelados nos mesmo níveis calcários.

Agradecimentos

Agradecemos ao professor Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo (UFC) pelo apoio no programa de Mestrado do Departamento de Geologia; ao Engenheiro de Minas Dr. Francisco Wilson Hollanda Vidal (CETEM) pela execução inicial deste projeto; ao Geólogo Diógenes de Almeida Campos (DNPM – RJ) pelas sugestões; ao pesquisador Alexander W. A. Kellner

(Museu Nacional - RJ) pelo incentivo aos estudos paleontológicos da Bacia do Araripe; aos funcionários do Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens – URCA pela atenção, no uso das instalações laboratoriais e acondicionamento do material coletado no campo; Ao ex-Reitor e Professor Doutor Plácido Cidade Nuvens (URCA) (*in memorium*) e família pelo apoio logístico na cidade de Santana do Cariri; aos proprietários das minas que cederam as frentes de lavras para a coleta de dados e seus trabalhadores pela paciência e experiência prática, as quais colaboraram na finalização desse trabalho; aos professores Dr. (as) Loreci Gislaíne de Oliveira Lehugeur (UFC) (*in memorium*), Alvimir Alves de Oliveira (URCA) e Antônio Álamo Feitosa Saraiva (URCA) por participarem nas correções e sugestões deste trabalho; a Universidade Federal do Ceará – UFC; a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP pelo apoio financeiro e manutenção da bolsa de Mestrado e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, M.; COIMBRA, J. C. & SILVA-TELLES JR., A. C. Síntese Bioestratigráfica da Bacia do Araripe (Nordeste do Brasil). In: Simpósio da Bacia do Araripe Bacias Interiores do Nordeste, 2. Resumo das comunicações, p. 21, 1997.
- ARAI, M.; COIMBRA, J. C. & SILVA-TELLES JR., A. C. Síntese Bioestratigráfica da Bacia do Araripe

- (Nordeste do Brasil). Coleção Chapada do Araripe, Crato, CE, DNPM/URCA/SBP, v. 1, p. 109-125, 2001.
- ASSINE, M. L. Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. IGCE/UNESP, Rio Claro, Dissertação de Mestrado, 124 p. 1990.
- ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 22, n.3, p. 289-300, 1992.
- ASSINE, M. L. Paleocorrentes e Paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências, v. 24, n. 4, p. 223-232, 1994.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n.2, p. 371-389, 2007.
- BEURLEN, K. A geologia da Chapada do Araripe. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 365-370, 1962.
- BEURLEN, K. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 17, Anais, Recife: SBG/ SUDENE, p. 01- 47, 1963.
- BEURLEN, K. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 43, p. 411-415, 1971.
- CARVALHO, M. S. S. DE & SANTOS, M. E. C. M. Histórico das Pesquisas Paleontológicas na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 28, n.1, p. 5-34, 2005.
- CASTRO, J. C. DE; VALENÇA, L. M. M. & NEUMANN, V. H. Ciclos e Seqüências Depositionais das Formações Rio da Batateira e Santana (andar Alagoas), Bacia do Araripe, Brasil. Geociências – UNESP, São Paulo, v. 25, n.3, p. 289-296, 2006.
- CHAGAS, D. B das; ASSINE, M. L & FREITAS, F. I de. Fácies Sedimentares e Ambientes Depositionais da Formação Barbalha no Vale do Cariri, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Geociências – UNESP, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 313-322, 2007.
- DUARTE, L. Vegetais fósseis da Chapada do Araripe, Brasil. Coletânea de Trabalhos Paleontológicos, DNPM, Série Geologia, Brasília, v. 27, p. 585-617, 1985.
- DUARTE, L. Remains of the Lower Cretaceous plants from Northeast of Brazil. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 11, Anais, Curitiba, SBP, v.1, p. 219-233, 1989.
- DUARTE, L. Restos de Araucariáceas da Formação Santana-membro Crato (Aptiano) NE do Brasil. Rio de Janeiro, Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 65, n.4, p. 358-362, 1993.
- FARA, E.; SARAIVA, A. A. F.; CAMPOS, D. de A.; MOREIRA, J. K. R.; SIEBRA, D. de C. & KELLNER, A. W. A. Controlled excavations in the Romualdo Member of the Santana Formation (Early Cretaceous, Araripe Basin, northeastern Brazil): stratigraphic, palaeoenvironmental and palaeoecological implications. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 218, p. 145–160, 2005. doi: 10.1016/j.palaeo.2004.12.012.
- FAMBRINI, G . L.; LEMOS, D. R. de; TESSER JR, S; ARAÚJO, J. T. de; SILVA-FILHO, W. F. da; SOUZA ; B. Y. C. de & NEUMANN, V. H. de M. L. Estratigrafia, Arquitetura Depositional e Faciologia da Formação Missão Velha (Neojurássico-Eocretáceo) na Área-Tipo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: Exemplo de Sedimentação de Estágio de Início de Rifte a Clímax

- de Rifte. Revista do Instituto de Geociências – USP, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 55-87, 2011.
- FAMBRINI, G. L.; NEUMANN, V. H. de M. L.; BARROS, C. L. de; SILVA, S. M. O. A. da; GALM, P. C. & MENEZES FILHO, J. A. B. de. Análise estratigráfica da Formação Brejo Santo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: implicações paleogeográficas. Revista do Instituto de Geociências – USP, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 3-28, 2013.
- GASPARY, J. & ANJOS, N. da F. R. dos. Estudo Hidrogeológico de Juazeiro do Norte - Ceará. Série Hidrogeologia, SUDENE/DRN, Recife, v. 3, 25 p. 1964.
- GEOPARK ARARIPE. Museu de Paleontologia traz novidades. Geopark Notícias, Crato, abril/julho, v. 2, n. 3, p. 4, 2010.
- GHIGNONE, J. I.; COUTO, E.A. & ASSINE, M. L. Estratigrafia e estrutura das Bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Anais, Goiânia (GO), SBG, v. I, p. 271-285, 1986.
- GOLDBERG, K.; PREMAOR, E.; BARDOLA, T. & SOUZA, P. A. Aptian marine ingression in the Araripe Basin: Implications for paleogeographic reconstruction and evaporite accumulation. Marine and Petroleum Geology, v. 107, p. 214-221, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.05.011>
- HENRIQUES, M. H. P.; REIS, R. P. B. P. dos; FERNANDES, A. C. C. S.; SRIVASTAVA, N. K. & CARVALHO, I. de S. Caracterização Tafonômica das Associações registradas de *Dastilbe* sp. Do Membro Crato (Formação Santana; Bacia do Araripe – NE do Brasil; Cretácico). In: Congresso Nacional de Geologia, 5, Actas, Lisboa, Tomo 84, v. 1, p. 201-204, 1998.
- KUNZMANN, L.; MOHR, B. A. R. & BERNARDES-DE-OLIVEIRA, M. E. C. Gymnosperms from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). I. Araucariaceae and Lindleycladus (*incertae sedis*). Mitteilungen aus dem Museum Naturkunde Berlin, Geowissenschaftliche Reihe, v. 7, p. 155-174, 2004.
- LIMA, M. R. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de doutoramento, 335 p. 1978.
- LIMA, R. J. C.; SARAIVA, A. A. F.; LANFREDI, S.; NOBRE, M. A. de LIMA; FREIRE, P. de T. C. & SASAKI, J. M. Caracterização espectroscópica de peixe do período Cretáceo (Bacia do Araripe). Química Nova, v. 30, n. 1, p. 22-24, 2007.
- LIMA, F. J. DE; SARAIVA, A. A. F. & SAYÃO, J. M. Revisão da paleoflora das Formações Missão Velha, Crato e Romualdo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Estudos Geológicos, Recife, v. 22, n.1, p. 99-115, 2012.
- MABESOONE, J. M. & TINOCO, L. M. Paleogeology of Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v.14, n. 2, p. 87-118, 1973.
- MAISEY, J. G. Santana Fossils, an Illustrated Atlas. New Jersey, T.F.H. Publications, Neptune City, 450 p. 1991.
- MARTILL, D. M. The medusa effect; instantaneous fossilization. Geology Today, London, p. 201-205, 1989.
- MARTILL, D. M. Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. London, The Paleontological Association, Field Guide to Fossils, v. 5, 159 p. 1993.
- MARTINS-NETO, R. G. Insetos fósseis como bioindicadores em depósitos sedimentares: um estudo de caso para

- o Cretáceo da Bacia do Araripe (Brasil). Revista Brasileira de Zoociências, v. 8, n. 2, p. 155-183, 2006.
- MOHR, B. A. R. & EKLUND, H. *Araripia florifera*, a magnoliid angiosperm from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). Review Palaeobotany and Palynology, v. 126, p. 279-292, 2003. doi: 10.1016/S0034-6667(03)00092-7.
- MOREIRA, J. K. R. Análise Quantitativa dos Macrofósseis da Formação Crato (Grupo Santana) – Bacia Sedimentar do Araripe. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Dissertação (Mestrado em Geologia), 122 p. 2009.
- MOREIRA, J. K. R. & NOGUEIRA NETO, J. de A. Análise do conteúdo fóssil de frente de lavra da “Pedra Cariri” (Formação Crato, Grupo Santana), região de Nova Olinda-Santana do Cariri (Ce), Bacia do Araripe: Dados iniciais. In: Congresso Brasileiro de Rochas ornamentais, VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 3, Livro de Resumos, Sociedade Brasileira de Geologia (Núcleo Nordeste), Natal – RN, 2 CD- ROM, 2007.
- MOURA, G. J. B. A Anuro fauna da Formação Crato Eocretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação (Mestrado em Geociências), 185 p. 2006.
- MOURA, G. J. B. & BARRETO, A. M. F. B. Aspectos Tafonômicos da Anurofauna da Formação Crato, Eocretáceo da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Estudos Geológicos, Recife, v. 16, n.1, p. 03-15, 2006.
- NEUMANN, V. H. M. L. Estratigrafia, sedimentologia, geoquímica y diagenésis de los sistemas lacustres Aptiense-Albienses de la Cuenca de Araripe (Noreste de Brasil). Faculdade de Geologia, Universidade de Barcelona, Barcelona, Tese (Doutorado em Ciências Geológicas), 250 p. 1999.
- NEUMANN, V.H. & CABRERA, L. Una Nueva Propuesta Estratigráfica para la tectonosecuencia postrifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil e Simpósio sobre el Cretácico de América del Sur, 5, Atas do Simpósio, Serra Negra, p. 279-285, 1999.
- NEUMANN, V.H. & CABRERA, L. Características hidrogeológicas gerais, mudanças de salinidade e caráter endorréico do Sistema Lacustre Cretáceo do Araripe, NE Brasil. Revista de Geologia, v. 15, p. 43-54, 2002.
- NEUMANN, V. H. ; BORREGO, A. G. ; CABRERA, L. & DINO, R. Organic matter composition and distribution through the Aptian-Albian lacustrine sequences of the Araripe Basin, northeastern Brazil. International Journal of Coal Geology, v. 54, p. 21-40, 2003. doi:10.1016/S0166-5162(03)00018-1
- NUVENS, P. C. As pedras de peixe de Santana: Uma introdução à Paleontologia da Formação Santana. Crato, Gráfica Universitária, Universidade Regional do Cariri, 132 p. 1994.
- OLIVEIRA, A. A. DE; BRITO, A. L. F. DE; SANTOS, M. E. C. M & CARVALHO, M. S. S. Projeto Chapada do Araripe. Recife, Relatório Final, DNPM/CPRM, v. 5, 1979.
- OLIVEIRA, A. A. de. Impactos Antrópicos nos Carbonatos Aptianos da região de Nova Olinda e Santana do Cariri – CE. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Tese (Doutorado em Geociências), 225 p. 2006.

- PINHEIRO, F. L.; HORN, B. L. D.; SCHULTZ, C. L.; ANDRADE, J. A. F. G. DE & SUCERQUIA, P. A. Fossilized bacteria in a Cretaceous pterosaur headcrest. *Lethaia*, v. 45, p. 495-499, 2012. doi:10.1111/j.1502-3931.2012.00309
- PONS, D.; BERTHOU, P. Y. & CAMPOS, D.A. Quelques observations sur la palynologie de l'Aptien Supérieur et de l'Albien du Bassin d'Araripe (NE du Brésil). Atas do I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias interiores do Nordeste, p. 241-252, 1990.
- PONTE, F. C. & APPI, C. J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Anais, Natal, SBG, v.1, p. 211-226, 1990.
- PONTE, F. C. & PONTE-FILHO, F. C. Estrutura geológica e evolução tectônica da bacia do Araripe. Brasil: Departamento Nacional de Produção Mineral, 4º e 10º Distritos Regionais, Delegacias do MME em Pernambuco e Recife, 68 p. 1996.
- RAND, H. M. & MANSO, V. A. V. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Anais, Rio de Janeiro, SBG, v.4, p. 2011-2016, 1984.
- SALES, A.M.F. Análise Tafonômica das Ocorrências de Concentrações de Macroinvertebrados fósseis do Membro Romualdo (Albiano) da Formação Santana, Bacia do Araripe, NE do Brasil: significado Estratigráfico, Temporal e Paleoambiental. Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese (Doutorado em Geociência e Geologia Sedimentar), 160 p. 2005.
- SARAIVA, A. A. F.; MACEDO E SILVA, P. E. DE ; MOREIRA, J. K. R.; FARA, E.; GUERRA, N. C. & KELLNER, A. W. A. Escavações Paleontológicas do Membro Romualdo – Formação Santana (Bacia Sedimentar do Araripe), nordeste do Brasil, na localidade tipo Romualdo, Crato – Ceará – Brasil. In: II Congresso Latino Americano de Paleontologia de Vertebrados. Boletim de Resumos, Rio de Janeiro, Museu Nacional/UFRJ, p. 244-245, 2005.
- SILVA, A. D. A. DA; FILHO, J. L. R.; SOUZA, J. C. DE; BARROS, M. L. DE S. C. & LIRA, B. B. Aproveitamento de rejeito de calcário do Cariri cearense na formulação de argamassa. *Estudos Geológicos*, Recife, v. 18, n.1, p. 89-93, 2008.
- SILVA, M. A. M. The Araripe Basin, Northeastern Brazil: Regional Geology and Facies Analysis of a Lower Cretaceous Evaporitic Depositional Complex. Columbia University, EUA, Tese de Doutorado, 290 p. 1983.
- SILVA, M. A. M. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 3, p. 306-310, 1986a.
- SILVA, M. A. M. Lower Cretaceous sedimentary sequences in the Araripe Basin, Northeastern Brazil: a revision. *Revista Brasileira de Geociências*, v.16, n. 3, p. 311-319, 1986b.
- SMALL, H. L. Geologia e Suprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí. Rio de Janeiro: Inspectoria Federal de Obras contra as Secas, serie 7D, publicação n. 25, 80 p. 1913.
- VALENÇA, L. M. M.; NEUMANN, V. H. M. L. & MABESONE, J. M. An overview on Cretaceous intracratonic basins of Northeast Brazil: Onshore stratigraphic record of the opening of the southern Atlantic. *Geologica Acta*, v.1, n.3, p. 261-275, 2003.
- VIANA, M. S. S. & CAVALCANTI, V. M. M. Distribuição estratigráfica dos fósseis na Bacia do Araripe, Nordeste do

- Brasil. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 14, Boletim de Resumos, Uberaba, SBP, v.1, p. 141-142, 1995.
- VIANA, M. S. S. & NEUMANN, V. H. M. L. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE: Riquíssimo registro da fauna e flora do Cretáceo In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Org.). Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, Brasília, DNPM/CPRM/SIGEP, p. 113-120, 2002.
- VILLA NOVA, B. C.; SARAIVA, A. A. F; MOREIRA, J. K. R. & SAYÃO, J. M. Controlled excavations in the Romualdo Formation Lagerstätte (Araripe Basin, Brazil) and pterosaur diversity: remarks based on new findings. *Palaios*, v.26, n.3, p. 173-179, 2011. doi:10.2110/palo.2010.p10-072r.