

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA EM GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

**FAUNA DE EDIACARA NA BACIA DO JAIBARAS, NOROESTE DO CEARÁ: A
PRIMEIRA OCORRÊNCIA NO NORDESTE DO BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MESTRANDO: Francisco Rony Gomes Barroso

Orientador: Prof. Dr. Mario Ferreira de Lima Filho - UFPE

FRANCISCO RONY GOMES BARROSO

Biólogo, Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA, 2010

**FAUNA DE EDIACARA NA BACIA DO JAIBARAS, NOROESTE DO CEARÁ: A
PRIMEIRA OCORRÊNCIA NO NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação que apresenta a Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Mário Ferreira de Lima Filho, como preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de mestre em Geociências, área de concentração em Geologia Ambiental e Sedimentar.

RECIFE, PE

Agosto/2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

B277f Barroso, Francisco Rony Gomes.
Fauna de Ediacara na Bacia do Jaibas, Noroeste do Ceará: a primeira ocorrência no Nordeste do Brasil / Francisco Rony Gomes Barroso. – Recife: O Autor, 2012.
ix, 72f., il., figs.

Orientador: Prof. Dr. Mário Ferreira de Lima Filho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2012.
Inclui Referências.

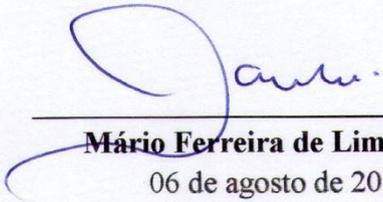
1. Geociências. 2. Fauna Ediacara. 3. Icnofósseis. 4. Bacia de Jaibas.
5. Pré-Cambriano. 6. Estado do Ceará. I. Lima Filho, Mário Ferreira
(Orientador). II. Título.

551 CDD (22.ed) UFPE/BCTG-2012 / 232

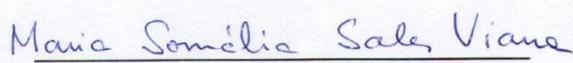
A FAUNA DE EDIACARA NA BACIA DE JAIBARAS

Francisco Rony Barroso

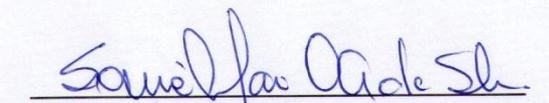
APROVADO



Mário Ferreira de Lima Filho
06 de agosto de 2012



Maria Somália Sales Viana
06 de agosto de 2012



Sônia Maria Oliveira Agostinho de Silva
06 de agosto de 2012

Dedico este trabalho aos meus pais, Rita Gomes Barroso e José Barroso Sobrinho; aos meus irmãos; e aos meus amáveis sobrinhos.

“Se a humanidade surgiu apenas ontem, como um pequeno broto em um ramo de árvore frondosa, então a vida de modo algum poderia existir para nós ou por nossa causa. Talvez sejamos apenas uma idéia tardia, uma espécie de acidente cósmico, nada mais que uma quinquilharia pendurada na árvore de natal da evolução.”

(Stephen Jay Gould)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha existência e o dom da inteligência para concluir este trabalho.

É uma satisfação agradecer à Profa. Dra. Maria Somália Sales Viana, responsável pelo meu engajamento na paleontologia, mas especialmente, pela confiança em ceder toda a coleção de fósseis do Museu Dom José (Sobral-CE) e acompanhar-me em todas as etapas de campo indispensáveis na composição desta dissertação. Igualmente agradeço às valiosas sugestões, revisões e inteira disponibilidade em todas as fases de desenvolvimento desse trabalho, beneficiado por sua competência, ética e experiência na pesquisa em paleontologia.

Ao Prof. Dr. Mário Filho o qual prezo profunda admiração e respeito por aceitar ser meu orientador e acreditar no meu trabalho, estando sempre acessível e disponível às discussões, contribuindo com informações preciosas sobre estratigrafia e Geologia.

À Profa. Dra. Sonia Agostinho, especialmente, pelas sugestões, auxílio bibliográfico, e revisões sobre o conteúdo icnofossilífero, além de toda sua atenção, amizade, acolhimento e incentivo que contribuíram imensamente para tornar mais fácil e agradável o desenvolvimento deste trabalho. Toda sua ajuda foi imprescindível para realização do meu sonho de conclusão do curso de mestrado.

Ao diretor do Museu de Pacujá Alan Kardec Leopoldino por ter disponibilidade em auxiliar nas primeiras etapas de campo, apresentado os afloramentos com as ocorrências fossilíferas e por facilitar de todas as formas possíveis o acesso aos fósseis da região.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico-CNPq pela bolsa de pesquisa durante o Curso de Mestrado em Geociências e durante a minha Graduação em Biologia. Também agradeço pelo financiamento de parte dos trabalhos de campo e pela manutenção da coleção de fósseis do Museu Dom José, através do Projeto nº 401781/2010-0.

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar e Ambiental-LAGESE, na pessoa do Prof. Gelson Fambrini pelo apoio estrutural durante o desenvolvimento desta pesquisa junto a Universidade Federal de Pernambuco-UFPE.

Ao Museu Dom José, na pessoa da Profa. Giovana Mont'Alverne Girão e a Profa. Hilce Capote e toda sua equipe de funcionários pela recepção e apoio durante as visitas à coleção de Paleontologia.

À CPRM de Fortaleza (Ceará) por ter concedido gentilmente as fotografias de satélite e disponibilizado acesso aos trabalhos sobre a geologia regional.

Aos Professores do Curso de Mestrado em Geologia da UFPE, os quais me proporcionaram aprofundar meus conhecimentos geológicos e paleontológicos.

Aos Professores Andrey Knoll (Universidade de Harvard, Cambridge) e Max Leonov (Instituto Paleontológico Russo) por terem gentilmente me encaminhado os *papers* solicitados.

À equipe administrativa da Coordenação da Pós-Graduação em Geociências da UFPE, Elizabete Galdino, Fagner Stewart e Igor Bandin.

Aos meus pais que me trouxeram ao mundo, Raimunda Ribeiro e Euclides Sampaio por estarem sempre torcendo pela minha vitória, mesmo distantes; e aos meus queridos irmãos: Antonio, Eliete, Elieuda, João Batista, José, Juliete, Maria Auxiliadora, Maria de Fátima, Pedro Henrique, Renato, Rita de Cássia e Welington.

Aos meus pais que me acolheram com muito amor, Rita Gomes e José Barroso por sempre se empenharem de todas as formas possíveis para assegurar meu crescimento pessoal e profissional, preocupando-se em me conceder uma boa educação; aos meus irmãos Rivânia, Ricardo, Maria de Fátima e Fatiane por tanto que me querem bem e sempre demonstrar preocupação e apoio às minhas decisões; e aos meus adoráveis e amáveis sobrinhos.

A Carlos Cezar pelo apoio, companheirismo, amizade e prontidão nas horas em que mais precisei. Foi muito importante a sua contribuição no decorrer da minha caminhada.

Agradecer especialmente a minha irmã Maria de Fátima e seu esposo Jucier Oliveira pela estadia em Sobral durante a minha pesquisa e aos meus queridos e amáveis sobrinhos Mateus, Michelly e Milena pela feliz e agradável convivência.

À Família Rodrigues nas pessoas de Dona Margarida, Carlos Cezar, Mary, Paulo Cezar, Dona Conceição, “tia” Fátima e Angélica.

Aos amigos do LAGESE e do Departamento de Geologia: Adriana Baggio, Aline Gonçalves, Cecília Barros, César Figueiras, Clarissa Gomes, Emília Tomé, Flávia Azevedo, Ira Clézia, José Stroessner, Miviam Melo, Rafael Lima e Zenilda Vieira.

Aos amigos do Laboratório de Paleontologia – LABOPALEO, da Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA: Arquimedes Pompeu, Daiane Abreu, Gina Cardoso, Larissa Amanda, Maria de Jesus (Marri), Sergio Xavier, Vanessa Ávila, e em particular a Robbyson Mendes pela disponibilidade e contribuição nos trabalhos de campo.

Aos contemporâneos acadêmicos de Biologia e meus grandes amigos Anderson Weiny, Jordania Marques, Juliane Passos e Moêmia Portela por estarem sempre me incentivando e acreditando no meu trabalho.

À Profa. Tatiany Freitas Coordenadora do Curso de Biologia do IVA por estar sempre atenta às minhas solicitações, dispensando atenção e amizade.

Aos amigos da vida. Alguns próximos e outros distantes, mas sempre presentes: Anderson Fontenele, Aparecida Rodrigues, Edson Farias, Gilgleane Silva, Juliana Araujo, Juliana Sampaio, Kássia Pereira, Késsia Pereira, Luziane Freire, Monica Nasson, Michele Araújo e Simone Machado.

Às turmas do Curso de Biologia, Licenciatura (2010.1) e Bacharelado (2010.2) da Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA, que durante as atividades de campo da disciplina de Paleontologia Geral, propuseram-se a auxiliar na contagem e medição dos espécimes nos afloramentos.

Ao núcleo gestor da Escola Sinhá Saboia na pessoa da Profa. Liduina Gomes, Jucileide de Alcântara e Lucia Elizabete e às amigas da Escola, Rosiclea Celestino e Socorro Guimarães.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do meu sonho de conclusão do Curso de Mestrado.

RESUMO

Este trabalho apresenta a primeira ocorrência da fauna de Ediacara no Nordeste do Brasil, localizada no Município de Pacujá, região noroeste do Estado do Ceará e interpretações preliminares sobre seu significado. Por correlação regional, os fósseis estão incluídos na Bacia Jaibaras, possivelmente numa nova unidade estratigráfica. O ambiente deposicional foi atribuído a um sistema fluvio-deltaico com ingressão marinha. Dez espécies Ediacaranas puderam ser identificadas, incluindo grupos pandêmicos, como *Charniodiscus arboreus*, *Charniodiscus concentricus*, *Cyclomedusa davidi*, *Ediacaria flindersi* e *Medusinites asteroides*, e grupos endêmicos, tais como *Kimberalla quadrata*, *Palaeoghragmodictyon reticulata*, *Parvancorina minchami*, *Parvancorina saggita?* e *Pectinifrons abyssalis*. Além disso, três icnogêneros foram observados: *Arenicolites* sp., *Palaeophycus* sp. e *Planolites* sp. A idade relativa dos depósitos foi sugerida em, pelo menos, 560 Ma e o conjunto de fósseis se assemelha à Assembléia White Sea. A bioturbação apresenta icnogêneros típicos do Ediacarano, sem ramificações e com pouca profundidade nos substratos. Portanto, aqui surge mais uma evidência de que as relações ecológicas complexas e os verdadeiros bilaterianos já estavam presentes no Neoproterozoico e que sua ocorrência inédita no Ceará ascende esse Estado no cenário da paleontologia brasileira e mundial.

Palavras-Chave: Geociências, Fauna Ediacara, Icnofósseis, Bacia de Jaibaras, Pré-Cambriano, Estado do Ceará.

ABSTRACT

This work presents the first occurrence of the Ediacaran Fauna in Northeastern Brazil, at Pacuja Municipality (northwestern of Ceará State) and preliminary interpretations about their significance. For regional correlation, the fossils are belonging to Jaibaras Basin and maybe represents a new geological system. The depositional environment was attributed to fluviomarine system. Ten Ediacaran species could be identified, including pandemic groups, as *Charniodiscus arboreus*, *Charniodiscus concentricus*, *Cyclomedusa davidi*, *Ediacaria flindersi* and *Medusinites asteroides*; and endemic groups such as *Kimberella quadrata*, *Palaeohragmodictyon reticulata*, *Parvancorina minchami*, *Parvancorina saggita?* and *Pectinifrons abyssalis*. In addition, three ichnogenera were observed: *Arenicolites* sp., *Palaeophycus* sp. and *Planolites* sp. The relative age of the deposits was suggested at least 560 Ma and the aggregation of fossils is resembled to the White Sea Assemblage. The bioturbation presents typical Ediacaran ichnogenus without branches and with little depth in the substrate. Therefore, here comes more another evidence that the complex ecological relationships and true bilaterians were already present in Neoproterozoic and that its unpublished occurrence in the Ceará, amounts to the importance of this State in the scenario of Paleontology in Brazil and mundial.

Palavras-Chave: Geosciences, Ediacaran Fauna, Icnofossils, Jaibaras Basin, Pre-Cambrian, State of Ceará.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 TRABALHOS ANTERIORES	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo Geral.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 ÁREA DE ESTUDO.....	4
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	5
1.5.1 Levantamento Bibliográfico	5
1.5.2 Etapa de Campo	5
1.5.3 Etapa de Laboratório	6
CAPÍTULO 2: GEOLOGIA REGIONAL	7
2.1 GRABEN DE UBAJARA.....	10
2.2 GRABEN DE JAIBARAS	10
2.3 BACIA DO PARNAÍBA	14
2.4 GEOCRONOLOGIA	15
CAPÍTULO 3: O NEOPROTEROZÓICO	16
3.1 GONDWANA E O GRABEN DE JAIBARAS	17
3.2 O EDIACARANO	18
CAPÍTULO 4: A FAUNA DE EDIACARA	21
4.1 REPRESENTANTES	21
4.2 EXTINÇÃO.....	26
4.3 PRESERVAÇÃO	28
CAPÍTULO 5: RESULTADOS	31
5.1 PESQUISA DE CAMPO	31
5.2 A FAUNA EDIACARANA DO ARENITO CONTRA FOGO	34
5.2.1 Espécie <i>Charniodiscus arboreus</i> Glaessner, 1959.....	34
5.2.2 Espécie <i>Charniodiscus concentricus</i> Ford, 1958.....	37
5.2.3 Espécie <i>Cyclomedusa davidi</i> Sprigg, 1947	39
5.2.4 Espécie <i>Ediacaria flindersi</i> Sprigg, 1947.....	40
5.2.5 Espécie <i>Kimberella quadrata</i> Glaessner & Wade, 1966.....	42
5.2.6 Espécie <i>Medusinites asteroides</i> Sprigg, 1949	44
5.2.7 Espécie <i>Palaeophragmodictyon reticulata</i> Gehling & Rigby, 1996	46
5.2.8 Espécie <i>Parvancorina minchami</i> Glaessner, 1958	48
5.2.9 Espécie <i>Parvancorina saggita?</i> Ivantsov, Malakhovskaya, Serezhnikova, 2004	50
5.2.10 Espécie <i>Pectinifrons abyssalis</i> Bamforth, Narbonne, Anderson, 2008.....	51
5.3 ASSOSSIAÇÕES ICNOFOSSILÍFERAS DA FAUNA DE EDIACARA	53
5.3.1 Icnogênero <i>Arenicolites</i> Salter, 1857	53
5.3.2 Icnogênero <i>Palaeophycus</i> Hall, 1987	54
5.3.3 Icnogênero <i>Planolites</i> Nicholson, 1873	55

CAPÍTULO 6: DISCUSSÃO	56
CAPÍTULO 7: PALEOAMBIENTE E PALEOECOLOGIA	60
CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES.....	64
CAPÍTULO 9: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica do Município de Pacujá	4
Figura 2 - Localização do noroeste do Ceará na Província Borborema	8
Figura 3 - Principais unidades estratigráficas e magmáticas do NW do Ceará	9
Figura 4 - Evolução sedimentar da Bacia de Jaibaras	12
Figura 5 - Esquema cronoestratigráfico da área estudada	13
Figura 6 - Reconstituição dos continentes durante o Neoproterozóico	17
Figura 7 - Principais eventos do período Ediacarano	20
Figura 8 - Ecossistema Ediacarano e principais representantes	22
Figura 9 - Estilo de vida dos Vendobiontes e Psammocorallia	23
Figura 10- Morfologia das frondes	25
Figura 11- Modelo de extinção dos Vendobiontes	27
Figura 12- Diagrama esquemático da tafonomia Ediacarana	29
Figura 13- Perfil estratigráfico e distribuições dos fósseis	33
Figura 14- Espécie <i>Charniodiscus arboreus</i>	34
Figura 15- Discos basais de <i>Charniodiscus</i> sp.	36
Figura 16 – Interpretação tafonômica de <i>Charniodiscus arboreus</i>	36
Figura 17- Espécie <i>Charniodiscus concentricus</i>	37
Figura 18 – Espécime de <i>C. concentricus</i> , na floresta Charnwood.....	38
Figura 19- Espécie <i>Cyclomedusa davidi</i>	39
Figura 20- Espécie <i>Ediacaria flindersi</i>	40
Figura 21- Espécime <i>Ediacaria flindersi</i> , na Austrália.....	41
Figura 22- Espécie <i>Kimberella quadrata</i>	42
Figura 23- Espécime <i>Kimberella quadrata</i> , na Rússia.....	43
Figura 24- Espécie <i>Medusinites asteroides</i>	44
Figura 25- Espécie <i>Medusinites asteroides</i> , na Austrália.....	45
Figura 26- Espécie <i>Palaeophragmodictyon reticulata</i>	46
Figura 27- Espécime <i>Palaeophragmodictyon reticulata</i> , na Austrália.....	47
Figura 28- Espécie <i>Parvancorina minchami</i>	48
Figura 29- Espécime <i>Parvancorina saggita?</i>	50
Figura 30- Espécie <i>Pectinifrons abyssalis</i>	51
Figura 31- Espécime <i>Pectinifrons abyssalis</i> , em Mistaken Point.....	52

Figura 32- Icnogênero <i>Arenicolites</i>	53
Figura 33 - Icnogênero <i>Palaeophycus</i>	54
Figura 34 - Icnogênero <i>Planolites</i>	55
Figura 35 - Distribuição estratigráfica das Assembleias Ediacaranas	56
Figura 36 - <i>P. minchami</i> do Brasil e <i>P. minchami</i> da Austrália	61
Figura 37 – Escalonamento ecológico da fauna de Ediacara no NE do Brasil	63

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No Ceará, em virtude dos seus recursos naturais ou pela complexidade e diversidade geológica, apenas duas regiões tem uma longa história para ser contada (Torquato, 1995): o Cariri, desde meados do século XIX, pelos seus depósitos de fósseis e gipsita; e o noroeste do Estado, verdadeiro museu geológico ao ar livre, limitado ao sul/sudeste pelo Lineamento de Sobral-Pedro II (Transbrasiliano). Desde o início do século XX, em virtude da sua diversidade geológica, a qual já Williams (1926 apud Torquato *op. cit.*) descreve como: “*Em todo o Brasil não conheço outra área igual que enfeixe tantos pontos de alto interesse científico e económico como esta, onde elles sobressahem duma maneira tão exuberante e clara*”.

Os estudos realizados nesta região nos últimos 40 anos têm demonstrado que a sua evolução geológica é uma das mais interessantes e complexas do país. Os litótipos ocorrentes representam produtos finais de vários episódios de sedimentação, magmatismo, metamorfismo e tectonismo, ocorridos no Arqueano, Proterozóico e início do Paleozóico; além de manifestações magmáticas e episódios de sedimentação restritos no Meso-Cenozóico (Quadros, 1996).

Diante da complexa evolução geológica e concordantemente às ideias de William , neste trabalho surge uma evidência inédita de importância paleontológica para o noroeste do Ceará: a primeira ocorrência da fauna de Ediacara no Nordeste do Brasil que, por correlação de idade, estão incluídos no *Graben* de Jaibaras.

O *Graben* de Jaibaras, na região em estudo, é a mais importante bacia de idade Cambro-Ordoviciano que ocorre em terrenos pré-cambrianos da Província Borborema (Oliveira, 2001) e continua na direção sudoeste sob os sedimentos da Bacia do Parnaíba (Brito Neves, 1998), cuja sedimentação iniciou-se no Siluriano, através do Grupo Serra Grande (Vaz et al., 2007).

Embora as ocorrências da fauna descoberta estejam registradas geograficamente na área que compreende a Bacia do Parnaíba, elas foram consideradas, nesta pesquisa, pertencentes à Bacia de Jaibaras, visto que, esta é considerada o substrato da Bacia do Parnaíba (Brito Neves, 1998; Oliveira & Mohriak, 2003; Vaz et al., 2007) e ao mesmo tempo possui idades e eventos correlatos com o surgimento da fauna de Ediacara.

A fauna de Ediacara é uma assembleia de organismos enigmáticos e representa o aparecimento dos primeiros organismos com arquitetura complexa na história da Terra, nomeada pela mais famosa localidade, as Montanhas de Ediacara, no Sul da Austrália (Waggoner, 2003). Tal complexidade levaram muitos pesquisadores a considerá-la como estruturas sedimentares, duvidando da descoberta de Sprigg: *“Estranhamente, quando eu expus a minha descoberta fóssil original de Ediacaria Flindersi, como eu a havia chamado, para a Conferência ANZAAS em Adelaide, em agosto de 1947, Martin não ficou impressionado. Ele as chamou de fortuitas estruturas inorgânicas, como fez o professor Mawson, outro pesquisador assíduo de fósseis Pré-Cambrianos. Apenas o Dr. Curt Teichert veio até mim e disse: ‘Não se preocupe Sprigg, isto só pode ser fóssil’. O resto agora é história”* R. C. Sprigg (1991 apud McCall, 2006).

Esta fauna surge no Neoproterozóico Tardio, se extingue quase totalmente no limite Proterozóico-Fanerozóico, com alguns representantes se estendendo até o Cambriano. Os espécimes mais diversos e complexos são conhecidos somente nos últimos 20 Ma do Neoproterozoico (Knoll & Carroll, 1999). Estão registrados em mais de 30 localidades, das quais, as quatro mais estudadas são: Flinders Ranges, sul da Austrália; Península de Avalon, sudeste de Newfoundland; costa de White Sea, norte da Rússia; e no sul de Namíbia, África do Sul (Mapstone & McIlroy, 2006).

Junto à fauna de Ediacara, apareceram, em abundância, pela primeira vez, marcas nos sedimentos seguramente feitas por animais diferentes dos preservados como elementos da fauna de Ediacara, ou seja, os icnofósseis (Fairchild & Boggiani, 2010).

A biologia única, a ecologia exclusiva, e o modo de preservação da fauna de Ediacara marcam efetivamente o fim do Eon Proterozóico e anunciam o início do Fanerozóico (Waggoner, 1998).

Portanto, a primeira ocorrência da fauna de Ediacara no noroeste do Ceará e suas associações icnofossilíferas conduzem a uma visão próxima da evolução da complexidade biológica, tanto para os organismos, quanto para os seus ecossistemas no Neoproterozóico, e especialmente no Nordeste do Brasil.

1.2 TRABALHOS ANTERIORES

A primeira publicação de icnofósseis em Pacujá deve-se a Leopoldino et al. (2004), que consideraram os representantes da macrofauna mais antiga do Estado, no Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Parnaíba. Novas ocorrências de icnofósseis em outras localidades de Pacujá foram citadas em resumos publicados por Furtado et al. (2005); Viana et al. (2005); Teixeira et al. (2007); Chaves et al. (2008); Chaves & Viana (2009).

Viana et al. (2010) publicam o primeiro trabalho completo sobre as ocorrências de icnofósseis do Grupo Serra Grande, onde foram visitadas dez localidades fossilíferas, distribuídas em seis municípios, incluindo Pacujá. Contudo, não é descrito nenhum fóssil da fauna de Ediacara, sendo as formas bizarras referenciadas como novidades taxonômicas.

Xavier et al. (2011) apresentam a coleção de icnofósseis do Laboratório de Paleontologia do Museu José, em Sobral-CE, onde estão depositados os materiais coletados durante as pesquisas paleontológicas em Pacujá, mas não registram nenhum fóssil Ediacarano.

As únicas ocorrências da fauna de Ediacara no Brasil referem-se ao Grupo Corumbá, Estado de Mato Grosso, em depósitos carbonáticos com presença de *Cloudina* e *Corumbella* (Walde, 1984; Babcock et al., 2005); em depósitos siliciclásticos no Grupo Itajaí, Estado de Santa Catarina, onde foram preservados *Parvancorina* sp., *Charniodiscus?* sp. e *Cyclomedusa* (Zucatti da Rosa, 2005); e na Formação Camarinha, Estado do Paraná, onde foram descritos *Beltanelliformis* (Drefahl & Silva, 2007).

Portanto, nota-se que até a publicação deste trabalho, não havia ainda nenhuma citação sobre a ocorrência de fósseis Ediacaranos na região noroeste do Estado do Ceará, nem no Nordeste do Brasil.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar a primeira ocorrência da fauna de Ediacara no Nordeste do Brasil e suas associações icnofossilíferas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar, descrever, coletar e tomar as impressões e icnofósseis da área em estudo;
- Correlacionar a fauna de Ediacara do Nordeste do Brasil com as demais faunas conhecidas mundialmente a fim de obter dados de idades relativas;
- Reconhecer e descrever as condições paleoambientais e paleoecológicas nos estratos fossilíferos;
- Elaborar um perfil estratigráfico com a distribuição dos fósseis de acordo com a textura e estruturas sedimentares.

1.4 ÁREA DE ESTUDO

A área pesquisada situa-se a leste da cidade de Pacujá, na região noroeste do Estado do Ceará (Figura 1), com os afloramentos distribuídos na Fazenda Conta Fogo e nas margens do riacho Lameirão, incluídos na folha Ipu (SB. 24-V-A-III).

Além dos ricos afloramentos fossilíferos que circundam a área de Pacujá, agora reconhecidos como importantes registros para a paleontologia do Nordeste Brasileiro e mundial, o município ainda concentra dados geológicos e arqueológicos para o entendimento do contexto regional. Com o objetivo de preservar e de divulgar o potencial da região, foi criado o Museu de Pacujá, em 2005.

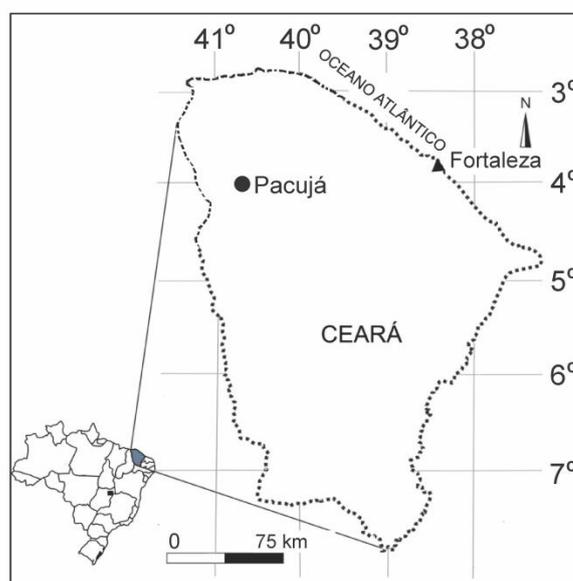


Figura 1. Localização geográfica da área estudada.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida durante esta pesquisa incluiu etapas básicas em trabalhos de paleontologia que versam especificamente sobre as impressões da fauna de Ediacara e icnofósseis, cujo objetivo principal é o registro, descrição e quando possível, a coleta no campo e inclusão dos espécimes em coleção paleontológica.

As impressões são vestígios que evidenciam a existência de um organismo. Porém, os organismos que deram origem aos fósseis não se preservam, restando apenas o molde externo (moldagem da superfície externa), ou molde interno (revela a morfologia interna do organismo), ou o contra molde (quando se forma uma réplica do organismo original) (Cassab, 2010). Os icnofósseis são vestígios das atividades vitais dos organismos nos sedimentos e sua presença contribui para fazer inferências paleoambientais (Fernandes et al., 2002).

A seguir, serão descritas as etapas básicas desenvolvidas:

1.5.1 Levantamento Bibliográfico

Nesta etapa objetivou-se principalmente investigar citações sobre a fauna de Ediacara no Brasil, bem como proceder a um levantamento das ocorrências em outras localidades mundialmente conhecidas. Além disso, buscou-se uma pesquisa direcionada aos aspectos geológicos, tectônicos, estratigráficos, cronoestratigráficos, paleontológicos e sistemas deposicionais nas principais bacias sedimentares da região noroeste do Ceará que correspondessem aos eventos ocorridos no Neoproterozóico para a preservação da fauna de Ediacara no Nordeste do Brasil. Foram consultadas fotografias de satélite do acervo do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em Fortaleza, Ceará, em escala 1: 70.000 e mapas geológicos para georeferenciar as ocorrências.

1.5.2 Etapa de Campo

Realizaram-se cinco viagens a campo, nos arredores do Município de Pacujá, para coleta e anotação dos dados sedimentológicos (textura e estruturas sedimentares), estratigráficos (geometria, distribuição e ordenamento das camadas) e paleontológicos (levantamento dos icnofósseis e impressões da fauna de Ediacara).

Todas essas informações foram incluídas em um perfil estratigráfico, graficado em Corel Draw X5, além de serem utilizadas para a reconstrução paleoambiental.

Inicialmente, a área do único afloramento em estudo foi medida em forma retangular e anotadas as coordenadas geográficas com auxílio de GPS. Entretanto, posteriormente, foi possível localizar outros afloramentos compostos de impressões e icnofósseis, que possibilitaram uma visão geral da sequência fossilífera, bem como a distribuição geográfica e espessura total.

A maioria dos espécimes foi descrita no campo, medidos com paquímetro digital, fotografados com câmera digital e registrados, não podendo ser coletados devido às características litológicas do afloramento, que incluíam extensos blocos de arenitos grossos, por vezes bastante silicificados, com abundância de impressões e icnofósseis unidos. Portanto, além de comprometer a integridade do material, a coleta limitaria a visão associativa dos padrões comportamentais. Além disso, há planos de criação de um parque paleontológico na região.

No campo, registrou-se a situação do icnofóssil em relação ao estrato, de acordo com Osgood (1970), informação importante, inclusive para a interpretação comportamental. Para a descrição foram utilizados os critérios de *icnotaxobases* proposto por Bromley (1990)

Igualmente a posição das impressões nos estratos também é um fator importante e foi seguida a metodologia de Gehling (1999) e Narbonne (2005).

1.5.3 Etapa de Laboratório

Todo o material coletado foi preparado mecanicamente no Laboratório de Paleontologia da Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA – LABOPALEO, nas dependências do Museu Dom José, em Sobral-CE, e incluído na Coleção de Paleontologia. A preparação consistiu de lavagem e principalmente, impermeabilização com verniz acrílico dissolvido a 50%.

Além disso, a coleção foi reorganizada, visto que algumas impressões estavam catalogadas como icnofósseis, sendo incluídas agora como representantes Ediacaranos. Portanto, foram remanejados 80 fósseis com um novo código de tombo: MDJ Ed- N^o, onde MDJ refere-se ao Museu Dom José; Ed aos representantes Ediacaranos; e N^o acompanha um algarismo que referencia o espécime da coleção.

CAPÍTULO 2: GEOLOGIA REGIONAL

O noroeste do Ceará inclui-se igualmente na porção noroeste da Província Borborema (Figura 2). Esta denominação é utilizada para a porção nordeste da Plataforma Sul Americana, representando a área onde foi efetiva a atuação de fenômenos termais, tectônicos, magmáticos e outros eventos no Proterozóico Superior, perdurantes inclusive ao longo do Cambro-Ordoviciano (Almeida et al., 1977).

O Sistema Médio Coreaú, na Província Borborema, é a designação que procura enfeixar de melhor forma a área noroeste do Ceará, contígua, a noroeste, do chamado Lineamento Sobral-Pedro II. Trata-se de uma área-sede de grande mobilidade ruptural ao longo do final do Pré-Cambriano, com tendência geral a processos de subsidência, pelo que se destacou das áreas adjacentes e foi capaz de preservar, de melhor maneira, os registros litoestratigráficos (Santos & Brito Neves, 1984).

Uma série de artigos encontra-se disponível na literatura que abordam de todas as formas a geologia do canto Noroeste do Ceará. Dentre estes, podemos destacar os trabalhos de cunho revisivo sobre a história e evolução do conhecimento geológico na área em estudo que merecem ser citados, uma vez que constituíram a etapa básica do embasamento bibliográfico. São eles: Kegel et al., 1958; Costa et al., 1973; Santos & Brito Neves, 1984; Torquato, 1995; Torquato & Nogueira Neto, 1996; Quadros, 1996; Oliveira, 2001; Oliveira & Mohriak, 2003; Schobbenhaus & Brito Neves, 2003; Vaz et al., 2007; Santos & Carvalho, 2009.

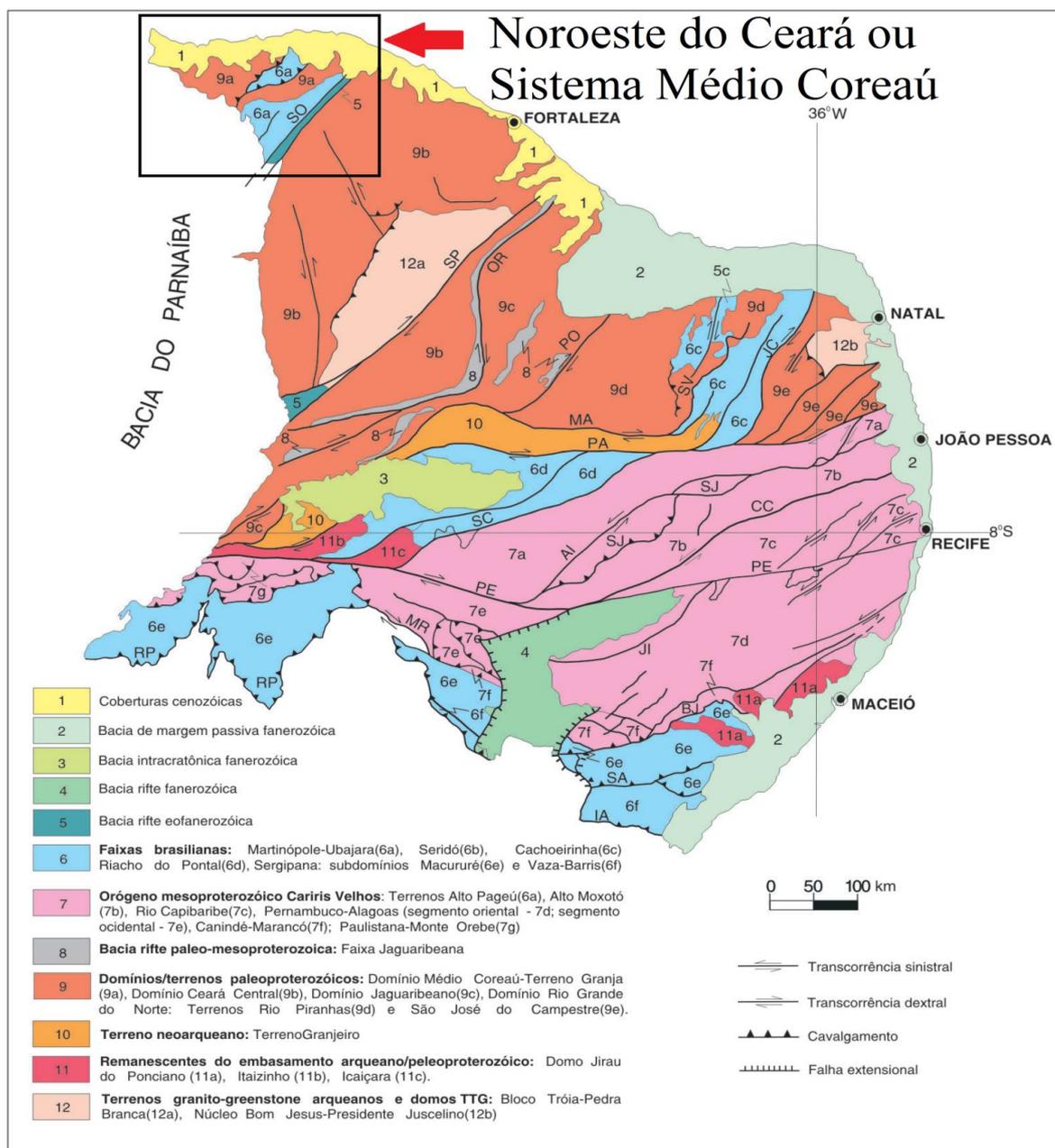


Figura 2. Localização do noroeste do Ceará ou Sistema Médio Coreaú junto a Província Borborema. (Modificado de Delgado et al., 2003).

Torquato & Nogueira Neto (1996) apresentam um resumo histórico estratigráfico para a região noroeste. As unidades estratigráficas que se interligam dentro do contexto dos principais eventos tectônicos e ambientes sedimentares do Neoproterozóico e Paleozoico Inferior, relacionados à origem e diversificação da fauna de Ediacara, são em ordem cronológica: Grupo Ubajara, Grupo Jaibaras e a Bacia do Parnaíba (Figura 3). Portanto, é feita uma breve abordagem entre a primeira e a última sequência estratigráfica, embora seja dada mais ênfase ao Grupo Jaibaras, que contém os representantes fósseis.

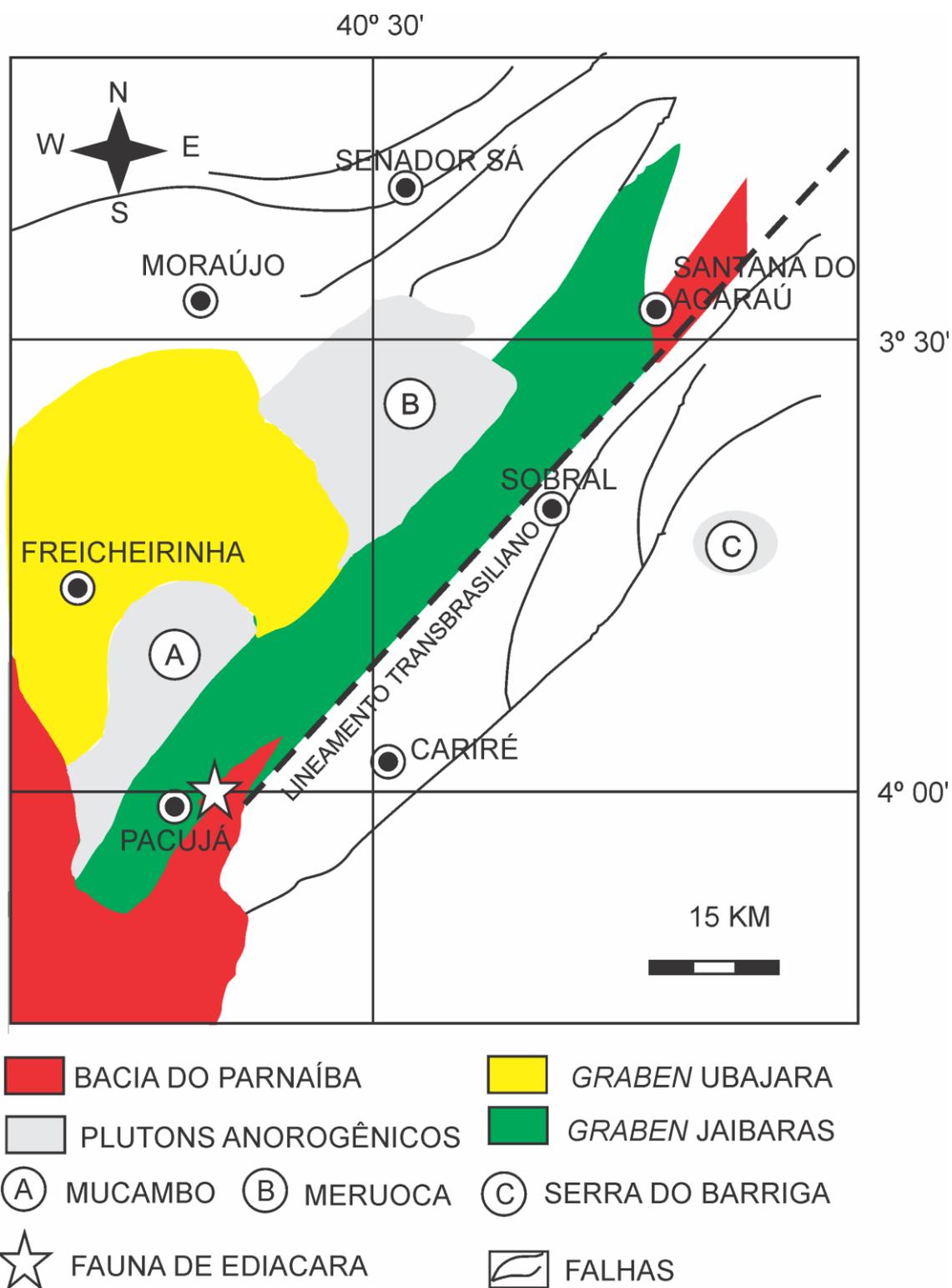


Figura 3. Principais unidades estratigráficas e eventos magmáticos do noroeste do Ceará (Modificado de Oliveira, 2000).

2.1 GRABEN DE UBAJARA

O *Graben* de Ubajara constitui a sequência basal do *Graben* de Jaibaras, com suas rochas sendo continuamente metamorfisadas em baixo grau, no Brasileiro, gerando uma foliação mineral bastante penetrativa. A falta dessa deformação nos sedimentos do *Graben* de Jaibaras fornece subsídios para estabelecer o começo do rifteamento e da sedimentação relacionada (Oliveira & Mohriak, 2003).

A sequência é constituída por sedimentos clastopelíticos (Formações Trapiá e Caiçaras), com uma importante fácies carbonática (Formação Frecheirinha), a qual é superposta por uma recorrência clastopelítica (Formação Coreáú), toda sequência sendo interpretada como de ambiente flúvio marinho (Delgado et al., 2003). Quadros (1996), no seu modelo de evolução tectono sedimentar da Bacia Jaibaras, coloca o Grupo Ubajara como unidade subjacente.

2.2 GRABEN DE JAIBARAS

O *Graben* de Jaibaras está preenchido por sedimentos siliciclásticos imaturos. A sedimentação completa da bacia é formalmente denominada de Grupo Jaibaras, englobando as formações Massapê, Pacujá e Aprazível.

A Formação Massapê compreende os conglomerados polimíticos, brechóides, compostos por elementos angulosos oriundos de fonte próxima a área de deposição, cimentados por matriz areno arcoseana vermelha ou cinza escura, de caráter molassóide. Ocupa claramente a base do Grupo Jaibaras e representa a sedimentação não marinha proximal, constituindo o início da sedimentação molássica. O episódio Massapê inaugura o chamado estágio de transição, no processo de consolidação da plataforma, na região noroeste do Ceará (Costa et al., 1973). A inexistência de fragmentos de composição das rochas estratigraficamente acima é o principal marcador da sua posição na coluna estratigráfica.

A Formação Pacujá constitui a unidade dominante do *Graben* de Jaibaras, mormente na sua porção sul. Ocorre normalmente com uma sucessão de bancos decimétricos bem estratificados, de composição variando desde arenito fino micáceo até típicos arcóseos ou grauvacas. Sobrepõe-se concordantemente aos conglomerados da Formação Massapê, com uma passagem gradativa e interdigitada.

A Formação Pacujá, já tectonizada e parcialmente erodida, representa o soalho dos derrames de lavas do vulcanismo Parapuí que a recobrem discordantemente, da mesma forma que os conglomerados da Formação Aprazível e os arenitos e conglomerados do Grupo Serra Grande. A Formação Pacujá corresponde à continuidade e fase principal do ciclo de sedimentação inaugurado com os conglomerados da Formação Massapê (Costa et al., 1973).

Os dados de Quadros (1996) apontam para a Formação Pacujá um ambiente deposicional caracterizado como lacustre, com vulcanismo associado (Figura 4), sujeito a ação de ondas de tempestades, atestada pela presença da laminação cruzada *micro-hummocky*. Entretanto, o mesmo não descartou um ambiente marinho para esta Formação, uma vez que os dados obtidos no campo não foram suficientes para caracterizar um destes ambientes, com segurança. Nesta Formação, as intercalações rítmicas de arenitos com pelitos caracterizam ciclos de tempestitos, geralmente incompletos.

A Formação Aprazível é constituída por conglomerados grosseiros com matriz arcoseana, ocorrentes ao longo de linhas de falha e de relevo escarpado, recobrimdo em discordância, indistintamente, às Formações Massapê, Parapuí e Pacujá. Assinala o derradeiro episódio do estágio de transição no processo de consolidação da plataforma na região noroeste do Ceará.

O conjunto sedimentar da Bacia do Jaibaras pode ser interpretado como um sistema fluvial que gradativamente passa a um delta e mais distalmente a um lago. As fácies pelíticas ocorrem predominantemente no centro do rifte, enquanto as mais arenoconglomeráticas distribuem-se na borda (Oliveira, 2000).

Mello (1978) propõe que o tipo de sedimentação do Grupo Jaibaras foi terrígena na base, sob a forma de um cone aluvial (conglomerados da Formação Massapê e Formação Aprazível), seguido de canal fluvial (arenitos maciços de parte da Formação Pacujá), e planície aluvial (arenitos lamosos e lamitos também da Formação Pacujá).

A evolução sedimentar da Bacia do Jaibaras é dominada por uma forte atividade magmática, outro aspecto fundamental desse *Graben* (Figura 4). Com efeito, o *Graben* de Jaibaras é um excelente exemplo de uma bacia cujos preenchimento sedimentar e os eventos magmáticos são resultados de processos cogenéticos (Oliveira, 2000).

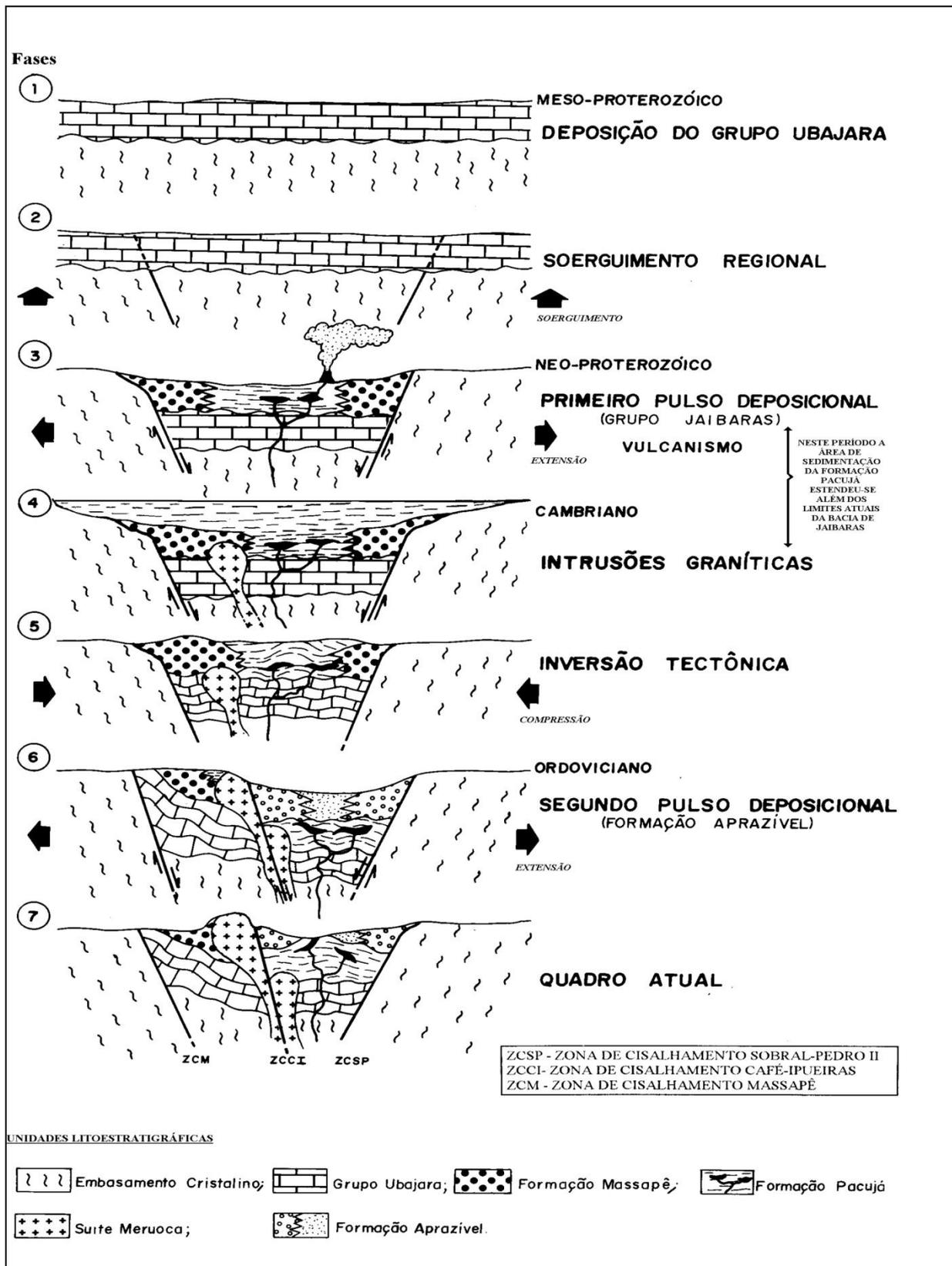


Figura 4. Evolução sedimentar da Bacia Jaibaras com vulcanismo associado (Modificado de Quadros, 1996).

A evolução magmática do *Graben* de Jaibaras compreende basicamente quatro eventos, todos separados temporal e espacialmente. O Enxame de Diques Coreaú, de idade Vendiana, constitui o estágio inicial de abertura do rifte. Antecedendo ao preenchimento do *Graben*, a evolução desse sistema distensional, no cambriano inferior, permitiu o alojamento do Pluton de Mucambo. No cambriano médio, a sedimentação da bacia foi acompanhada por um volume considerável de magma essencialmente básico (a suíte Parapuí). Em seguida, houve a intrusão passiva do Pluton de Meruoca. As interações estratigráficas entre os eventos magmáticos e as sucessões sedimentares no *Graben* podem ser perfeitamente estabelecidas a partir das relações estruturais clássicas de “corte e preenchimento” (Figura 5), associados ao bom controle geocronológico (Oliveira 2001).

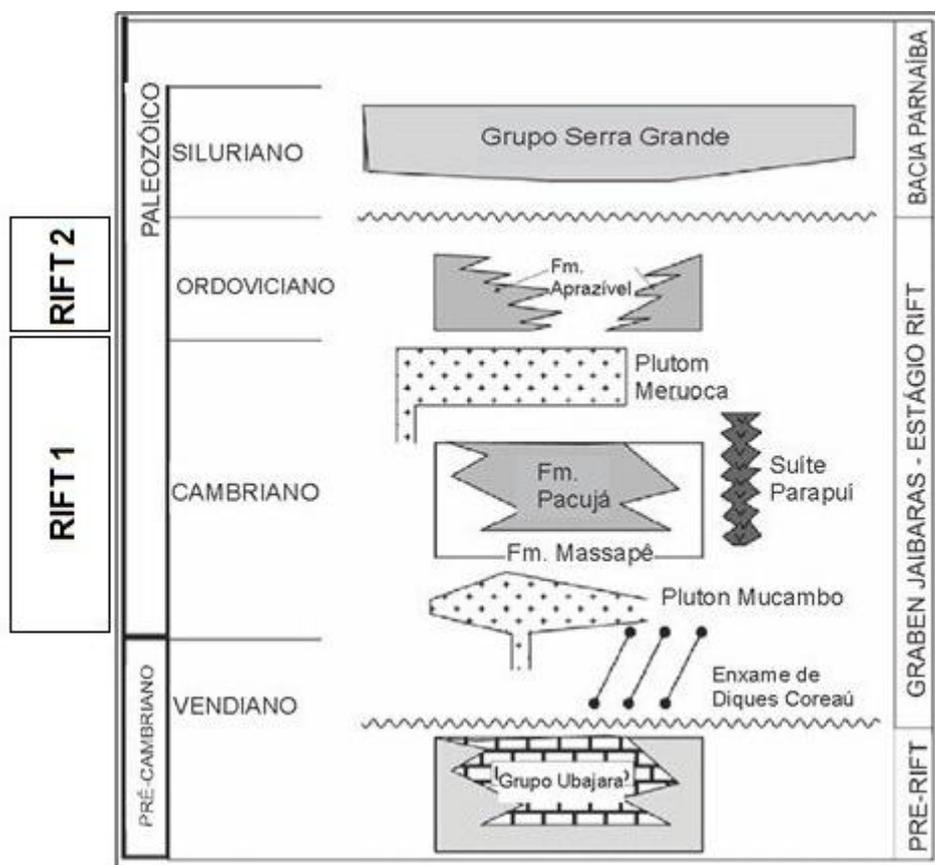


Figura 5 – Esquema estratigráfico da área em estudo (Modificado de Oliveira & Mohriak, 2003).

Nesta pesquisa, os novos arenitos grossos e fossilíferos, mapeados anteriormente como pertencentes ao Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba (Cavalcante et al., 2003), são considerados como uma unidade pertencente ao *Graben* de Jaibaras, em virtude das idades e eventos relacionados a origem e extinção da fauna de Ediacara.

2.3 BACIA DO PARNAÍBA

A Bacia do Parnaíba desenvolveu-se durante o Estádio de Estabilização da Plataforma Sul-Americana, no Ciclo Brasileiro (Almeida & Carneiro, 2004).

É constituída por seqüências sedimentares depositadas do Siluriano ao Cretáceo, sendo de natureza siliciclástica, ocorrendo subordinadamente calcário, anidrita e sílex, além de diabásio e basalto, representativos de eventos magmáticos do Neotriássico ao Eocretáceo (Góes & Feijó, 1994). A seqüência estratigráfica engloba os grupos Serra Grande, Canindé, Balsas, Mearim e o conjunto composto pelas formações Grajaú, Codó, Itapecuru, Urucua e Areado.

Na área da pesquisa ocorrem rochas do Grupo Serra Grande, apresentando grandes exposições na borda leste e nordeste da Bacia, formando a Serra da Ibiapaba. Este Grupo está subdividido nas formações Ipu, Tianguá e Jaicós.

Segundo Oliveira & Mohriak (2003), estruturas grabeniformes, interpretadas no substrato da Bacia do Parnaíba, teriam controlado o depocentro inicial. Ademais, esses sítios deposicionais ou riftes precursores seriam correlacionáveis ao *Graben* de Jaibaras e também a outros *Grabens*.

Vaz et al. (2007) deduziram que o substrato dessa bacia é constituído de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, cujas idades abrangem um longo intervalo (Arqueano ao ordoviciano), porém, possivelmente predominem rochas formadas entre o final do Proterozóico e início do Paleozóico, correspondente ao tempo de consolidação da Plataforma Sul Americana. Seu embasamento é composto por duas unidades sedimentares: A Formação Riachão, de Góes & Feijó (1994) que consideram que o Grupo Jaibaras (depósitos fluviais, aluviais e lacustres) provavelmente esteja ligado à gênese da Bacia do Parnaíba.

2.4 GEOCRONOLOGIA

Um considerável número de dados geocronológicos está publicado na literatura sobre o noroeste do Ceará. Quando analisado cada evento magmático, separadamente, bem como as datações radiométricas dos sedimentos da Formação Pacujá, esses dados são claramente compatíveis entre si (Oliveira & Mohriak, 2003).

Novais et al. (1979) por meio do estudo geocronológico de grande parte da região noroeste do Ceará, obtiveram datações radiométricas para o *Graben* de Ubajara e *Graben* de Jaibaras.

No *Graben* de Ubajara, somente a Formação Caiçaras apresentou material apropriado. A isócrona obtida forneceu uma idade de 1.000 Ma, que foi atribuída à idade de sedimentação, e 610 Ma correspondente à fase deformacional com metamorfismo da Formação Caiçaras.

Já na datação da Formação Pacujá, através da metodologia Rb/Sr em siltitos finos, a idade isocrônica foi calculada em 535 ± 27 Ma, sendo atribuída aos processos principais de transformações termodinâmicas (diagênese alta a anquimetamorfismo). Os eventos deposicionais não foram determinados através dos métodos radiométricos, sendo os mesmos inferidos como iniciados no Neoproterozóico e estendendo-se até o Cambriano. Nas conclusões, ao comentarem os dados obtidos dizem que, no tempo, o Grupo Jaibaras se estende do final do Pré-Cambriano ao Ordoviciano. A Formação Aprazível uma vez que contém clastos das rochas vulcânicas, será obrigatoriamente do Ordoviciano.

De Araújo et al. (2012) dataram zircões Neoproterozóicos no arenito Pacujá, cujas idades mais jovens foram calculadas em 530 ± 08 Ma, porém os dois grupos principais se estendem de 550 a 598 Ma e de 600 a 630 Ma.

Caputo & Lima (1984), por relações estratigráficas, colocam a unidade de base da Bacia do Parnaíba, Formação Ipu, afossilífera, no topo do Ordoviciano e início do Siluriano.

CAPÍTULO 3: O NEOPROTEROZÓICO

A última fase do tempo Pré-Cambriano é chamada de Neoproterozóico, um termo aplicado às rochas datadas em 1.000 a 542 milhões de anos atrás. Durante este tempo, a diversidade dos fósseis aumentou significativamente (Benton, 2008).

A história do Neoproterozóico é em sua essência a história de um ciclo supercontinental (destruição de um continente e posterior reconstrução de outro continente). Este ciclo continental trata da fissão do supercontinente Rodínia, havendo a posterior aglutinação de um grupo de fragmentos descendentes desse continente, para a formação de um outro supercontinente denominado Gondwana, concluída somente no início do Fanerozóico (Eo-Ordoviciano) (Schobbenhaus & Brito Neves, 2003).

A visão da configuração de Rodínia varia consideravelmente, mas a maioria dos trabalhos concorda que este se formou há 1.000-1.200 Ma e se quebrou há aproximadamente 750 Ma (Narbonne, 2005). Já a formação de Gondwana durou de 600 a 540 Ma (Proterozóico Tardio-Cambriano), onde os terrenos da América do Sul e África permaneceram ligados e, em conjunto, com Antártica, Austrália e Índia (Figura 6) por 320 Ma, ou seja, até o Carbonífero Médio (Veevers, 2004).

Esse evento tectônico dirigiu as principais mudanças na hidrosfera, atmosfera e criosfera, que trouxe igualmente profundas mudanças da biosfera (Narbonne, 2005), com a fauna de Ediacara florescendo nos ambientes de praias rasas, formados pela quebra do supercontinente (McCall, 2006) e demarcando um novo período dentro do Neoproterozóico, o Ediacarano.

A ocorrência desse ciclo continental está consignada de forma excepcional no embasamento da Plataforma Sul-Americana, desde que alguns complementos sejam importados da Plataforma Africana. No Brasil, o evento é denominado de Ciclo Brasileiro (Brito Neves, 2002), e nos seus correspondentes possuem nomes diferentes. Por exemplo, no continente africano o Ciclo é conhecido como Pan-Africano; na Austrália,

Ciclo Pinjarra, Paterson, Petterman, Adeladidano; e na Antártica, Ciclo Prydz-Pinjarra, Ross-Delameriano (Brito Neves, 2011).

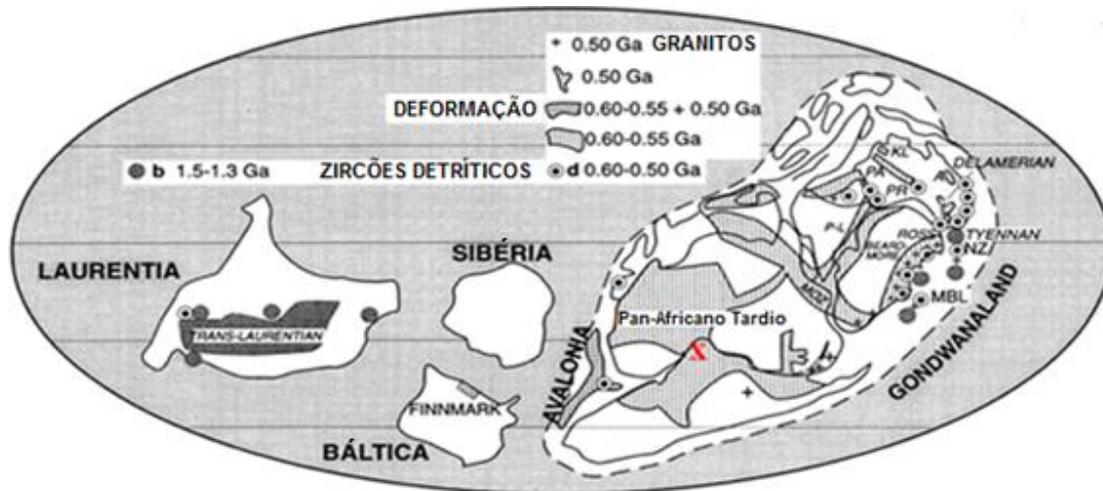


Figura 6. Reconstituição dos continentes durante o Neoproterozóico, mostrando dados geocronológicos recentes, obtidos da análise de zircões detriticos, e principais bacias sedimentares (Veevers, 2004). [X] representa a paleolocalização aproximada do Graben Jaibaras.

As bacias molássicas são principalmente caracterizadas pela preservação de depósitos sedimentares imaturos, bem como vários outros produtos vulcanossedimentares e estão associados à esquematização geográfico-geológica finais de Gondwana. Porém, somente no substrato das sinéclises paleozóicas, estes depósitos apresentam possanças e extensão bastante significativas (Brito Neves 1991). Fora destas condições de proteção pelo registro sedimentar paleozóico, as coberturas do estágio de transição foram facilmente erodidas e minimizadas em expressão e dimensões, o que é uma característica do Cambro-Ordoviciano da Plataforma Sul-Americana (Schobbenhaus & Brito Neves, 2003).

A implantação e desenvolvimento do *Graben* de Jaibaras, no Sistema Médio Coreá, representa o final do grandioso evento termo-tectônico denominado de Brasileiro-Panafricano, quando regimes contracionais começaram a dar lugar aos estágios de quebra da crosta continental (Oliveira, 2001). Alternativamente, pode-se dizer que a história das sinéclises coincide com a história de dois supercontinentes: de

Gondwana (começaram após sua consolidação) a Pangea (terminaram com a desarticulação deste) (Oliveira & Mohriak, 2003).

3.2 O EDIACARANO

Na criosfera, o principal impacto da quebra de Rodínia foi o surgimento de glaciações em todo o mundo, pela primeira vez, em mais de um bilhão de anos. A Terra passou por períodos de congelamento, chamada de Criogeniano, mas a maioria utiliza o termo “*Snow ball*”. Estima-se que pelos menos três glaciações Neoproterozóicas principais possam ser distinguidas: A Sturtiana (720-725 Ma), a Marinoana (635-600 Ma) e a Gaskier (580 Ma) (Hoffman & Schrag, 2002).

Com as glaciações Proterozóicas, os isótopos de carbono da água do mar flutuaram em conjunto com anomalias positivas de + 10%, precedendo cada glaciação; e anomalias negativas de – 5%, acompanhando cada glaciação, talvez refletindo o sequestro do carbono orgânico em águas profundas ou em metano, e então, sendo libertado abruptamente (Hoffman & Schrag, 2002). O enterramento de carbono orgânico em larga escala implica em um concomitante aumento de oxigênio (Derry et al., 1992).

Além disso, no Neoproterozóico Tardio, as condições dos mares profundos se transformaram ferruginosas (ferro- rico em anoxia). Estes oceanos foram substanciais reservatórios para dissolver carbono orgânico, fornecendo um caminho para oxigenação dos mares profundos, há 580 milhões de anos (Canfield, 2005).

Portanto, o gatilho que permitiu aos animais obterem tamanhos maiores, neste período, pode ter sido um aumento global de oxigênio atmosférico no Proterozóico Tardio (Canfield & Teske, 1996).

O resultado de todos estes eventos globais culminou com o aparecimento da fauna de Ediacara no Neoproterozóico Tardio. Tal evento constitui um capítulo distinto na história da Terra e marca um novo período geológico, o Ediacarano. Este Período precede diretamente o Cambriano, constituindo o primeiro intervalo Pré-Cambriano a ser definido de acordo com os mesmos princípios que governam a escala do tempo Fanerozóico (presença de fósseis esqueléticos e registro da diversificação animal) (Figura 7). A inicial GSSP (*global stratotype section and point*) do período Ediacarano jaz na base de uma camada carbonática, distinta textural e quimicamente, que cobre rochas

glaciogênicas expostas ao longo do Enorama Creek, em Flinders Ranges, no Sul da Austrália (Knoll et al., 2004).

Os megafósseis Ediacaranos mais antigos, registrados na Formação Twitya do noroeste do Canadá, ocorrem imediatamente embaixo de tilitos correlacionados com a glaciação Marinoan-Varanger, de aproximadamente 600 Ma (Hoffmann et al., 1990). Entretanto, em geral, as glaciações são precursoras da origem e diversificação da fauna de Ediacara (Knoll et al., 2004).

A gradual substituição por animais segmentados e móveis no Ediacarano Tardio, bem como mares bem oxigenados, marcam o fim dos oceanos ferruginosos Neoproterozóicos e o início da “explosão” Cambriana dos animais (Narbonne, 2010).

Além disso, as fases de deglaciação e o aumento do nível do mar, durante a transição Proterozóico-Fanerozóico, foram importantes para fornecer uma maior extensão de habitat de águas-rasas, aumentando igualmente a área de superfície dos oceanos, que por sua vez, repercutiu na elevação do conteúdo de fosfato. Este novo cenário possibilitou aos metazoários uma oportunidade de exploração rumo ao sucesso evolutivo (Cook, 1992).

Idades (Ma)	530	Fanerozóico	Cambriano	<p>← Início da diversificação animal Cambriana</p> <p>← Animais calcificados mais antigos</p> <p>← Escavações animais mais antigas</p> <p>← Biota Ediacarana mais antiga</p> <p>▲▲▲ Glaciação Gaskiers</p> <p>← Embriões animais mais antigos</p> <p>← Capa Carbonática</p> <p>▲▲▲ Glaciação Marinoana</p>
	540			
	550	Proterozóico	Ediacarano	
	560			
	570			
	580			
	590			
	600			
	610			
	620			
	630	Criogeniano	Criogeniano	
	640			

Figura 7. Principais eventos associados ao novo período Ediacarano (Modificado de Knoll et al., 2004)

CAPÍTULO 4: A FAUNA DE EDIACARA

4.1 REPRESENTANTES

Os representantes da fauna de Ediacara são tipicamente de tamanhos centimétricos a decimétricos, com alguns gigantes medindo mais de um metro de comprimento. A diversidade de formas inclui discos, frondes e morfologias seguidas, pelo menos, vagamente comparáveis aos animais modernos (Figura 8), com sua maioria sem mineralizações, mas há ainda uns poucos com calcários (Narbonne, 1998).

Mesmo sendo um fato bem documentado, os representantes da biota de Ediacara se tornaram uma das grandes controvérsias em paleobiologia. As ideias populares de Glaessner apresentam a fauna de Ediacara como ancestrais diretos dos grupos atuais. Igualmente, para outros autores como Gehling (1991), Runnegar & Fedonkin (1992), Waggoner (1998), Waggoner (2003) e Narbonne (2005), os fósseis ediacaranos são similares a alguns organismos vivos (águas-vivas, corais, anelídeos e artrópodes).

Entretanto, as ideias revolucionárias de Seilacher (1988) atestavam que esta fauna não possuía qualquer relação com a biota moderna e deveriam ser incluídos no novo Reino Vendozoa. Subsequentemente, Seilacher (1992) restringiu seu conceito original de “Vendozoa” (passando a chamar Vendobionta), e especificamente removeu *taxas* que ele considera como verdadeiros animais e propôs a inclusão dos organismos Ediacarinos em três grupos: Vendobionta, Psammocoralia e os traços fósseis.

O Reino Vendobionta (Figura 9) refere-se aos organismos em forma de frondes, imóveis, de diversas geometrias, que tiveram somente uns poucos milímetros de espessura, mas alcançaram vários decímetros em tamanhos. Contudo, nenhum órgão pode ser reconhecido. São representantes deste grupo: *Charnia*, *Charniodiscus*, *Dickinsonia*, *Glaessneria* e *Phyllozoon*.

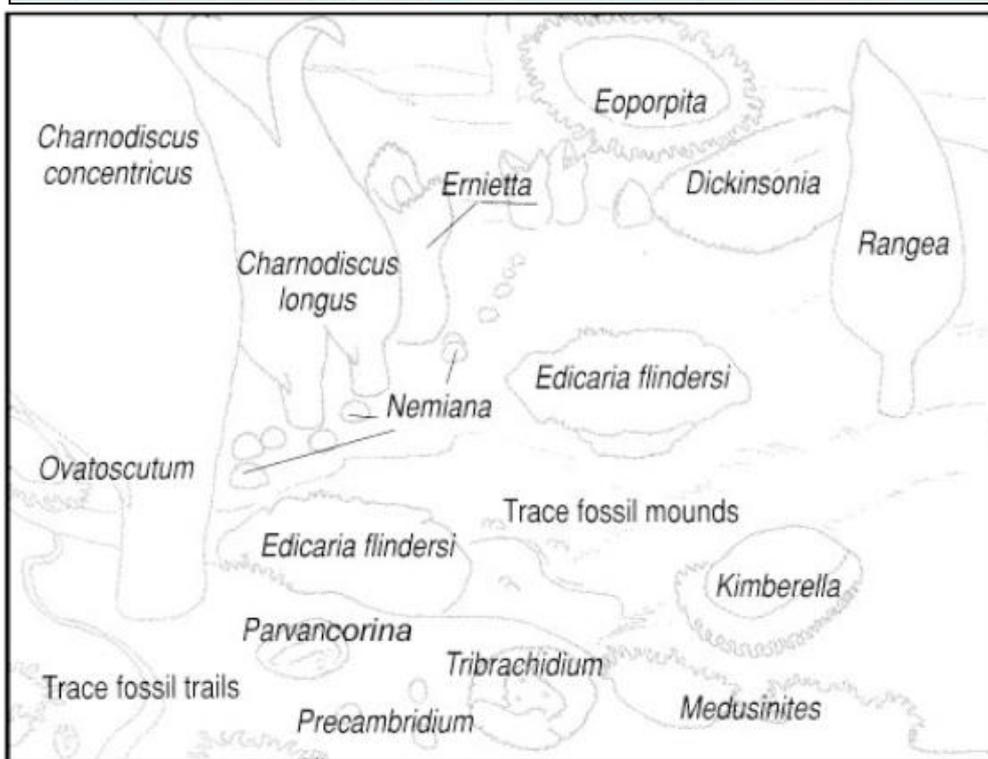


Figura 8. Acima, um ecossistema Ediacarano; Abaixo, identificação dos principais representantes em uma típica biota de Ediacara (Modificado de Valentine, 2002).

Os Psammocorallia foram Coelenterados que utilizavam areia para compor um esqueleto interno (Figura 9). Incluem-se, neste grupo: *Nemiana*, *Tirasiana*, *Protolyella* e outros.

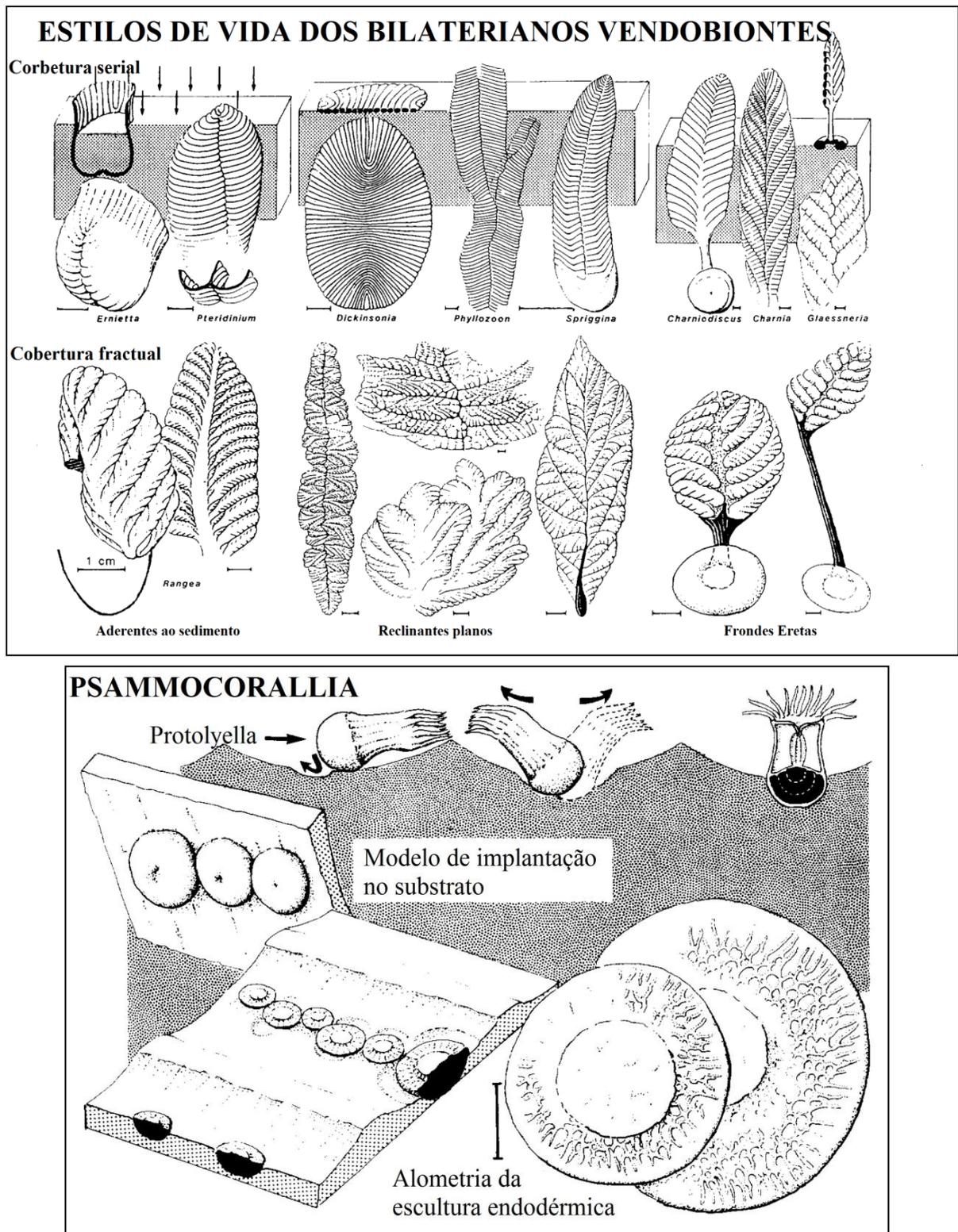


Figura 9. Acima, o estilo de vida dos Vendobiontes bilaterianos filtradores; e abaixo, uma Psammocorallia se enterrando no substrato, ao mesmo tempo que preenche seu corpo com sedimentos disponíveis no fundo (Modificado de Seilacher, 1992).

Os produtores dos icnofósseis Vendianos foram de fato animais, pois em geral, para escavar ou arar o sedimento, um organismo precisa de uma ação coordenada de apêndices ou cílios; ou a habilidade para se movimentar por ondulações; ou movimentos peristálticos.

A complexidade das relações filogenéticas da biota de Ediacara ainda não é um fato concluído. Por exemplo, os *Charniodiscus*, organismos em forma de fronde, são interpretados por Seilacher (1992) como Vendobionta, por Peterson et al. (2003) como fungos, e por Narbonne (2005) como cnidários.

Laflame & Narbonne (2008a) sistematizaram a morfologia das frondes, dividindo-as dentro de três elementos morfológicos básicos (Figura 10): **1.** A base da fronde consiste de um suporte, o disco basal, com forma circular a globular, ou apoiado no topo da superfície, ou jazia dentro dos firmes tapetes microbianos que cobriam vastas extensões dos fundos oceânicos, ou se enterravam abaixo da interface água-sedimento; **2.** Um pedúnculo cilíndrico, sem ornamentações, estende-se do centro do disco basal para dentro de uma haste; **3.** A haste serve como um centro de ancoragem dos ramos que formam uma espécie de fronde, os petaloides. Estes são então agrupados em um *Petalodium*, que consiste de dois (bifoliados) ou mais (multifoliados) petaloides.

A maioria das frondes possuem três possibilidades de organização dos ramos, que se diferenciam em primários, secundários e terciários (Figura 10). Para os ramos primários, há quatro principais arquiteturas dentro da vasta diversidade das frondes Ediacaranas (Figura 10): (1) Tipo-Arborea, ramos caracterizados como uma vagem de ervilha; (2) Tipo-Charnia ramos primários caracterizam-se por sobreposições alternadas, onde não se visualiza a haste central; (3) Tipo-Rangea apresentam elementos bem preservados; (4) Tipo-Swartpuntia consiste de vários petaloides e não apresenta ramos secundários ou terciários.

Uma ideia radical, sugerida por Grazhdankin & Gerdes (2007) ao analisarem os fósseis discoides de *Cyclomedusa*, *Paliella* e *Ediacaria*, indica que a maioria destas formas representam colônias microbianas antigas e que os fósseis discoides são irrelevantes para o entendimento da filogenia dos metazoários.

As conclusões de Grazhdankin & Gerdes (2007) foram refutadas por Laflame et al. (2011), ao comprovarem que aquelas formas discoides foram geradas por metazoários e não por colônias microbianas.

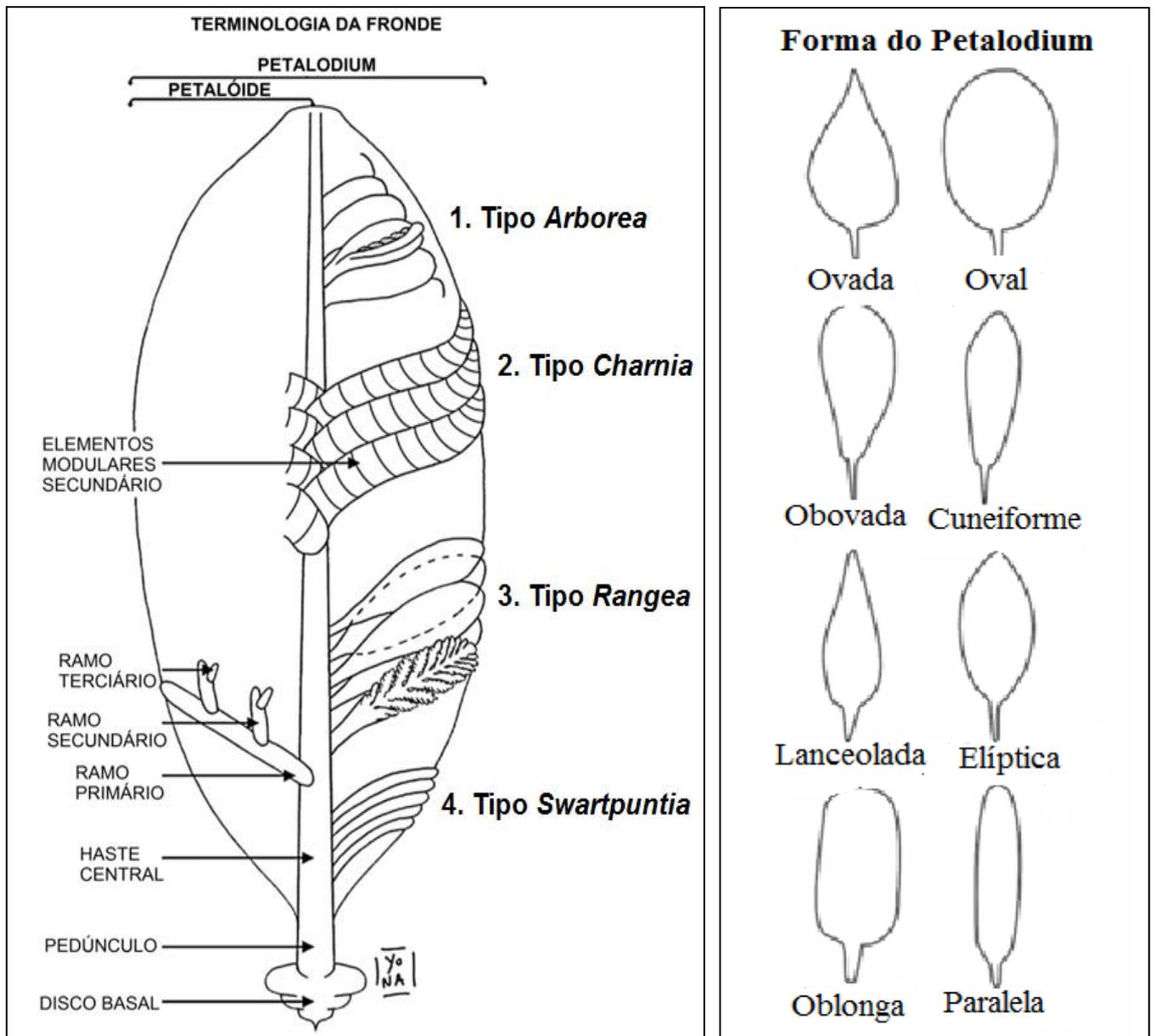


Figura 10. Morfologia de uma fronde. À esquerda, são apresentadas características encontradas na maioria das frondes, com as três possibilidades de organização dos ramos (primários, secundários e terciários). Para os ramos primários existem quatro morfologias: (1) Tipo-Arborea; (2) Tipo-Charnia; (3) Tipo-Rangea; e (4) Tipo-Swartpuntia. À direita, apresenta-se a diversidade morfológica do Petalodium (Modificado de LaFlame & Narbonne, 2008b).

Atualmente, um consenso parece a favor de uma junção das diferentes hipóteses, ou seja, estabiota consiste de uma variedade de táxons não relacionados (LaFlame & Narbonne, 2008b).

Apesar de toda essa controvérsia, Waggoner (2003) tem demonstrado que a maioria de todas as ocorrências de fósseis ediacaranos, com suas frondes, discos e icnofósseis, podem ser agrupados em três assembleias distintas: I. Assembléia Avalon; II. Assembléia White Sea; e III. Assembléia Nama. Também foi observado que a distribuição destas assembleias é influenciada por três fatores principais: a história tectônica da Terra; especiação e extinção nas linhagens de Ediacara; e respostas ecológicas aos fatores ambientais, que abrangem padrões globais (gradientes de biodiversidade latitudinais), e padrões de escalas menores (estrutura das comunidades).

4.2 EXTINÇÃO

As afirmações sobre a extinção abrupta da fauna de Ediacara no limite Neoproterozóico-Cambriano ou de sua extensão até o Cambriano têm levantado novos debates nos últimos anos.

Seilacher (1984 apud Crimes & McIlroy, 1999) propôs que a maioria dos representantes desta fauna não realizava locomoção, eram quase autótrofos e foram aniquilados por um evento de extinção em massa no limite entre o Neoproterozóico-Cambriano.

Do contrário, Crimes & McIlroy (1999) descobriram fósseis Ediacaranos típicos em estratos do Cambriano Inferior e até mesmo Superior, lançando dúvidas sobre as hipóteses de uma extinção em massa, que marca o limite Neoproterozóico-Cambriano. Concordantemente, o enigmático fóssil *Thaumaptilon walcotti*, no Folhelho de *Burgess*, é considerado um resquício da fauna de Ediacara no Cambriano (Conway Morris, 1993).

Seilacher (1998) aponta que as mudanças bióticas do limite Neoproterozóico-Cambriano, interpretadas como uma “Revolução Agronômica”, seriam a causa da extinção. Estas mudanças representam a passagem de substratos dominados por desenvolvidos tapetes microbianos para substratos bioturbados (Figura 11). As biotas pré-cambrianas apresentam estilos de vida e de preservação relacionados com o

desenvolvimento destes tapetes microbianos, que estabilizam os sedimentos, e ao envolvê-los, acaba tornando-os resistentes à erosão.

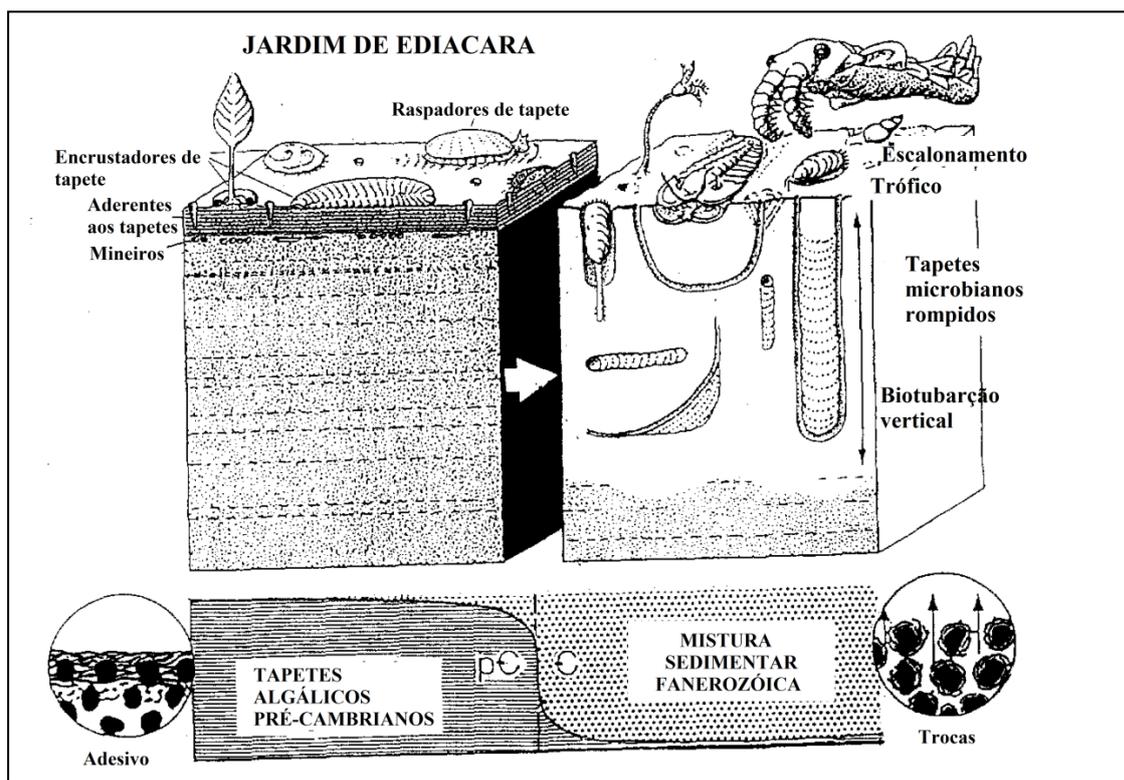


Figura 11. A extinção dos Vendobiontes de Seilacher (1992) na transição Proterozoico-Fanerozóico. A esquerda, tapetes algálicos bem desenvolvidos; e a direita a chamada revolução ecológica marcada pela presença de bioturbadores, que afetaram o estilo de vida bentônico, bem como o modo de evolução das espécies (Modificado de Seilacher, 1998).

Inversamente ao Neoproterozóico, os substratos Fanerozóicos se encontravam afetados por bioturbação que mesclava as partículas sedimentares e impedia o desenvolvimento de tais tapetes (Seilacher, 1998). As escavações contribuíram para a perda das estruturas sedimentares e aumento da oxigenação do sedimento (Buatois et al., 2002), dificultando a preservação dos tecidos macios.

A extinção da fauna de Ediacara coincide com a máxima abundância de fosfato nos oceanos (Cook, 1992), definitivo para a biomineralização produzir conchas e carapaças protetoras para o surgimento dos grupos modernos, que marcaram a explosão Cambriana. Portanto, a desaparecimento desta fauna, antecedendo a radiação evolucionária dos metazoários com mandíbulas duras e garras, não é nenhuma surpresa (Gould, 1990).

Atualmente tem sido proposto que o fracasso da fauna de Ediacara foi ocasionado pelo fechamento de uma única janela tafonômica, mediada por atividades microbianas e que a biota pode ter aparecido no Cambriano, mas não foi preservada. Contudo, a escassez de fósseis Ediacaranos no Folhelho de *Burgess* aponta para um cenário de extinção ou pelo menos restrição ecológica (Xiao & Laflame, 2008).

4.3 PRESERVAÇÃO

As assembléias Ediacaranas típicas bem preservadas ocorrem em abundância, com algumas superfícies contendo densidades de 3000 a 4000 indivíduos por metros quadrado (Narbonne, 2005). Alguns são preservados exatamente onde viveram, o que oferece excepcional oportunidade para análise da comunidade ecológica.

A maioria dos fósseis Ediacaranos são impressões em sedimentos siliciclásticos relativamente grossos, sob condições de alta energia em ambientes marinho raso e deltaico (Mapstone & McIlroy, 2006). O tamanho do sedimento limita a preservação de detalhes de estruturas, diferente dos mais completos registros de fósseis de corpos macios em *Lagerstätten* de folhelhos ou siltitos (Gehling & Rigby 1996).

A preservação dessas meras impressões, sem qualquer substância orgânica deixada, ocorre em situações sedimentológicas diferentes, podendo estar na base de arenitos de tempestade, ou em baixo de camadas de cinzas vulcânicas, ou em estuários. O que estes ambientes têm em comum é o papel da sedimentação episódica (*event beds*), que enterrou toda a biota acidentalmente.

Glaessner & Wade (1966) observaram cinco estágios de preservação destes fósseis (Figura 12): (1) *Moldes* são achatados convexos na superfície inferior de um bloco de quartzito da depressão original do sedimento subjacente. A depressão no estrato subjacente que corresponde ao *molde* é seu (2) *contra-molde* que reproduz as características da superfície como uma imagem de espelho. A sobreposição das características da superfície inferior do organismo, moldada sobre o estrato subjacente, e daquelas da sua superfície superior, produz um (3) *molde composto*. Onde uma característica côncava da superfície subjacente, possivelmente o próprio organismo morto é desenhado dentro da superfície inferior do estrato sobrejacente, fala-se de uma impressão de (4) *molde externo*. O *molde* natural correspondente desta impressão que é ocasionalmente visto sobre uma camada de arenito abaixo é o (5) *contra-molde externo*.

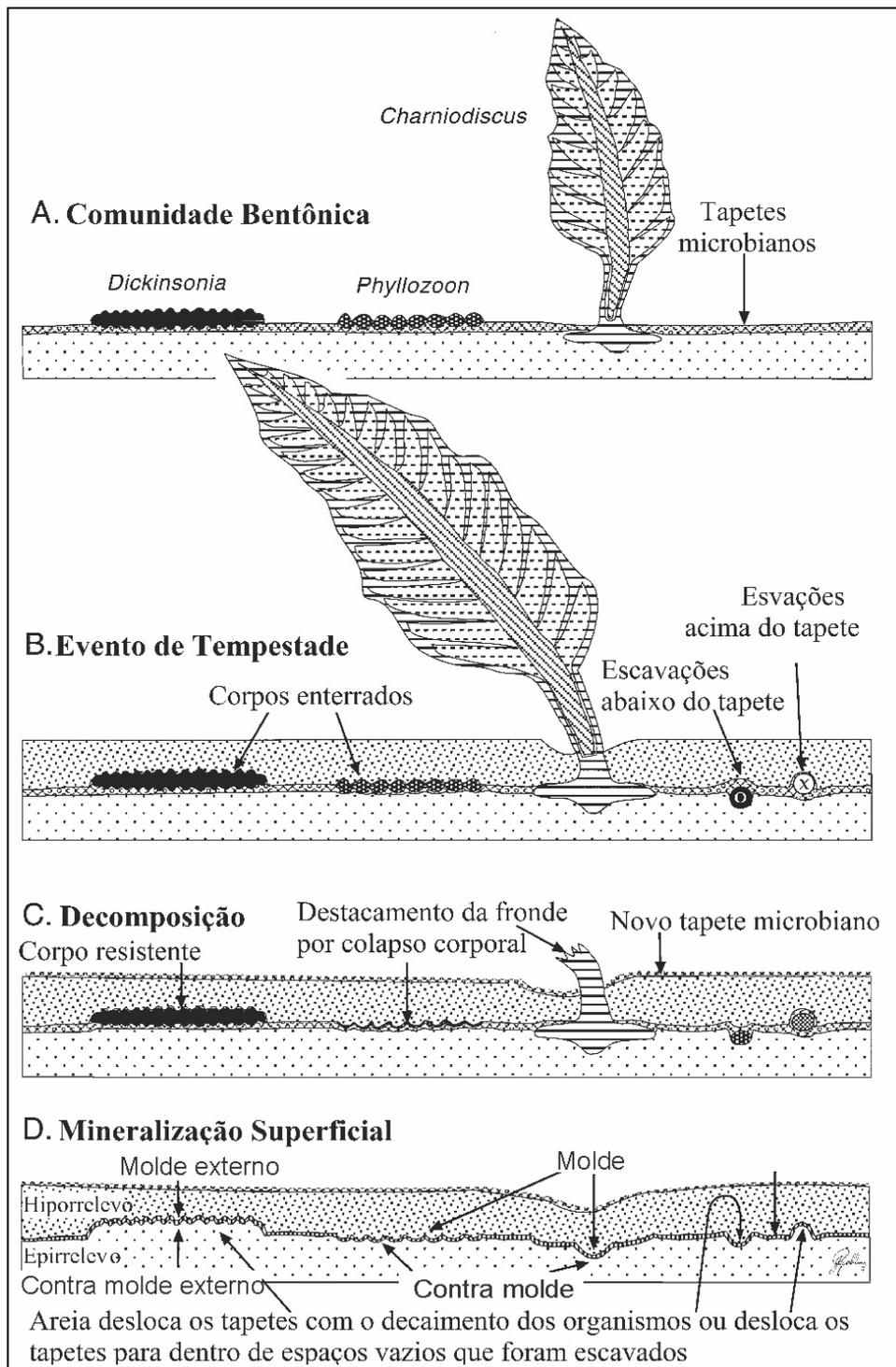


Figura 12. Diagrama esquemático da tafonomia Ediacarana. (A) Comunidade bentônica dos organismos Ediacaranos sobre os tapetes microbianos; À esquerda *Dickinsonia* e *Phyllozoon*; Acima, à direita, a fronde *Charniodiscus*. (B) Evento de tempestade enterra os organismos e tapetes microbianos, porém as frondes sobrevivem com o disco basal enterrado; escavações infaunais podem ser feitas acima dos tapetes [X], e embaixo dos tapetes [O]. (C) A decomposição dos organismos inicia com o rápido colapso de *Phyllozoon*, enquanto *Dickinsonia* decai lentamente; (D) Minerais se encrustam como "máscara de morte" na sola; depois, o decaimento completo da matéria orgânica, no arenito subjacente forma contra-moldes e moldes (Modificado de Gehling, 1999).

Simplificando a classificação de Glaessner & Wade (1966), na percepção de Gehling (1999), Narbonne (2005), Mapstone & McIlroy (2006), afirma-se que as impressões ou moldes aparecem na superfície superior das camadas areníticas como epirrelevo negativo e epirrelevo positivo; ou na sola da camada como hiporrelevo negativo e hiporrelevo positivo.

Estes modos de preservação variam em determinadas localidades, por exemplo, nas montanhas de Ediacara da Austrália, e White Sea da Rússia, os fósseis estão tipicamente preservados como hiporrelevo positivo nos arenitos relacionados a “*event beds*”. Já os espécimes de Mistaken Point, no Canadá, foram preservados em epirrelevo positivo em camadas planares de siltitos (LaFlame et al., 2004). Já que ambas as formas de preservação podem ocorrer na superfície da camada, elas devem ser um produto das diferentes respostas tafonômicas dos diversos *taxas* soterrados juntos (Gehling & Rigby, 1996).

As pesquisas de Gehling (1991 e 1999) aceitam as formas discoides e talos como parte das frondes, atacados ao fundo do mar por um pedúnculo. Mais comumente, as formas discoides e hastes são fossilizados separadamente das frondes; Raramente, excelentes amostras ocorrem intactas. A preservação em três dimensões parece ser facilitada no início da diagênese do arenito, em que os organismos vivos estavam enraizados, e as paredes da cavidade não foram colapsadas depois que os pedúnculos sucumbiam.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS

5.1 PESQUISA DE CAMPO

Na área da pesquisa foram reconhecidas as características litológicas típicas da Formação Pacujá, que incluíam arenito fino/síltico, avermelhado, micáceo, laminação plano-paralela e *ripples*. Este é sotoposto discordantemente por brechas vulcanoclásticas com fragmentos de arenitos e rochas vulcânicas básicas, envolvidas por uma matriz síltica bastante recristalizada, demonstrando, no topo, arenito fino com laminação plano paralela.

Os depósitosossilíferos diferem da Formação Pacujá, pois apresentam arenito grosso, fossilífero, bastante silicificado e imaturo, de cor creme, amarelado, bege, e às vezes cinza, com estratificações cruzadas acanaladas e marcas de ondas simétricas que auxiliaram na caracterização de um sistema fluvial meandrante próximo à desembocadura.

Este arenito é aqui denominado informalmente de Arenito Contra Fogo e ocorre como um espesso lobo adentrando de sul para norte no *Graben* de Jaibaras, repousando discordantemente sobre as brechas da Formação Pacujá.

O Arenito Contra Fogo, que se encontra parcialmente erodido, exibe espessura de cerca de 100m com variações laterais, e, ao leste, é sotoposto lateralmente pelo Grupo Serra Grande (Figura 13). Contudo, esses arenitos com a fauna de Ediacara, constam nos atuais mapas como parte da Bacia do Parnaíba (Cavalcante et al., 2003), o que sugere uma revisão estratigráfica na área, a partir deste novo conteúdo fossilífero.

Na Fazenda Contra Fogo, toda a área que contém a fauna de Ediacara foi medida em forma retangular e revelou uma extensão de 4.800m². Os fósseis ocorrem em superfícies erodidas, sendo a maioria representada pelos discos basais que compõem as

frondes, porém também inclui icnofósseis e bilaterianos Ediacaranos associados. A diversidade específica local preservada é cerca de 5 espécies/m², demonstrando abundância de cerca de 8 indivíduos/m².

Já nas margens do riacho Lameirão, onde a ação das águas fluviais foi efetiva no processo de erosão e exposição do Arenito Contra Fogo, os fósseis estendem-se num percurso de cerca de 4 km e apresentam uma diversidade menor em relação à fauna da Fazenda Contra Fogo, em virtude da ausência dos bilaterianos Ediacaranos.

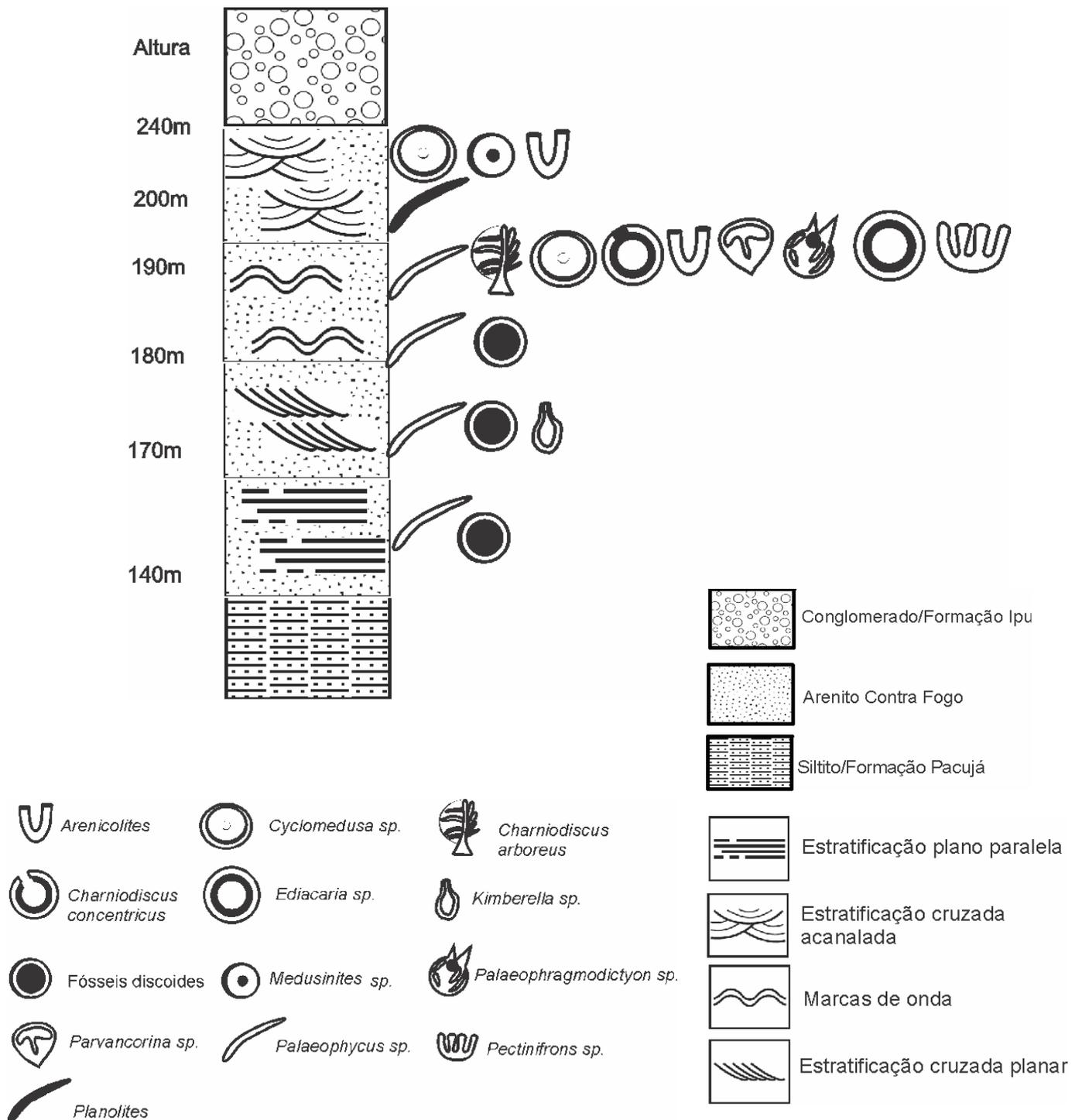


Figura 13. Perfil estratigráfico com as fácies descritas para o Arenito Contra Fogo apresentando a distribuição da fauna de Ediacara nas respectivas camadas.

5.2 A FAUNA EDIACARANA DO ARENITO CONTRA FOGO

Os fósseis ediacaranos e icnofósseis apresentados a seguir, estão depositados na coleção do Museu Dom José, porém alguns foram descritos no campo devido à impossibilidade de coleta. Estima-se que o número total de espécies ultrapasse 30 representantes entre impressões e icnofósseis, embora apenas 13 estejam seguramente identificados até agora.

Com exceção de *Palaeophragmodictyon reticulata* e *Pectinifrons abyssalis*, (preservados em epirrelevo negativo), todas as demais impressões e os icnofósseis estão preservados em epirrelevo positivo.

Gênero *Charniodiscus* Ford, 1958

5.2.1 Espécie *Charniodiscus arboreus* Glaessner, 1959

(Figura 14)

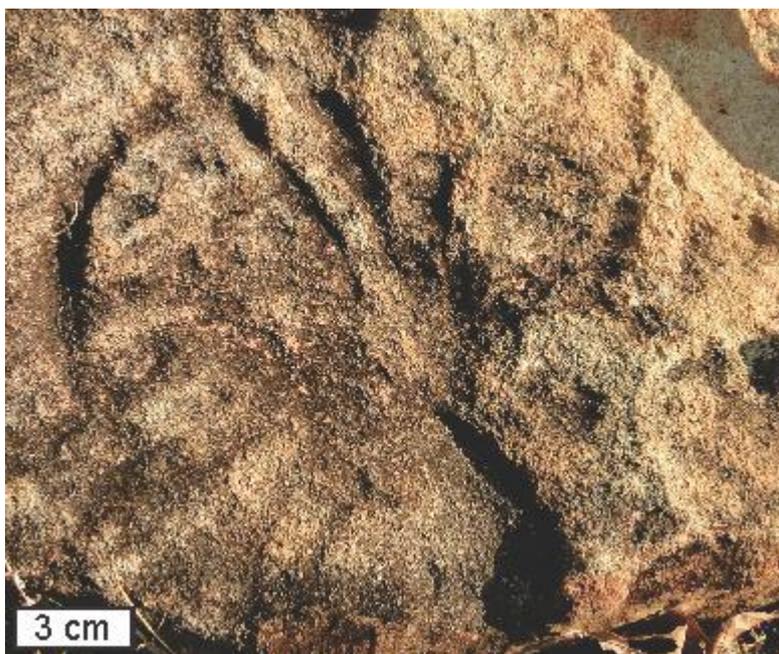


Figura 14. *Charniodiscus arboreus*.

DESCRIÇÃO: Impressão em forma de fronde, preservada em epirrelevo, ora com petaloide em epirrelevo negativo, ora em positivo. As ramificações são aproximadamente uniformes, paralelas, com ramos primários que divergem da haste central em ângulos ligeiramente oblíquos e estão ligados nas suas extremidades distais a uma margem exterior, preservada apenas de um lado. A haste central possui 33 cm de comprimento e 3,5 cm de largura na base. O maior ramo primário mede 9,0 cm de comprimento. A presença de alguns discos preservados sem a fronde possivelmente sejam desta espécie.

MATERIAL: Espécime único descrito e registrado em campo.

OBSERVAÇÃO: O espécime provavelmente não foi enterrado em vida, pois é perceptível o desprendimento de alguns ramos primários da haste central, indicando estado de decomposição. Além disso, observou-se um novo disco sobre a base da haste central (Figura 15), indicando que depois do soterramento, o substrato foi rapidamente recolonizado (Figura 16).

DISCUSSÃO: O principal critério utilizado para classificá-lo como *C. arboreus* refere-se a uma margem que limita a extremidade da ramificação primária e a forma oval. Segundo Laflame & Narbonne (2008a), os ramos parecem variar enormemente em resposta à qualidade da sua conservação. Comumente, a extensão das hastes de *Charniodiscus* é superior a 30 cm. Os *Charniodiscus* são interpretados por Seilacher (1992) como Vendobionta; por Narbonne (2005) como cnidários; e por Peterson et al. (2003) como fungos. Os últimos comentam que as hastes tinham sido aparentemente preenchidas com areia nos espaços internos, indicando que eram ocos em vida e havia um grande canal, estendendo-se por todo o comprimento da haste. É um gênero pandêmico, encontrado na maioria das ocorrências ediacaranas. Foram os primeiros a aparecerem no registro geológico, com alguns representantes se estendendo até o Cambriano (Waggoner, 2003).



Figura 15. À esquerda, um disco basal de *Charniodiscus* sp., em Pacujá. À direita, a seta aponta para a representação de um disco basal por Gould (1990).



Figura 16. Reconstituição tafonômica de *Charniodiscus arboreus*. O substrato teria sido novamente recolonizado após a morte de *C. arboreus*.

Gênero *Charniodiscus* Ford, 1958

5.2.2 Espécie *Charniodiscus concentricus* Ford, 1958

(Figura 17)



Figura 17. *Charniodiscus concentricus*.

DESCRIÇÃO: Este espécime compreende uma impressão circular bipartida, em epirrelevo positivo, apresentando 6,9 cm de espessura com diâmetro total de 13 cm. A borda do disco externo mede 3,3 cm de largura e se encontra separada do disco interno por uma depressão. O disco interno mede 6,0 cm de diâmetro. Uma depressão longa e estreita corta perpendicularmente a extremidade do disco externo.

MATERIAL: MDJ Ed-007.

OBSERVAÇÃO: A depressão perpendicular ao disco externo representa o contato da haste no disco durante a queda da fronde no substrato. Provavelmente, a preservação exclusiva do disco foi facilitada, em virtude do mesmo já encontrar-se soterrado no sedimento.

DISCUSSÃO: Foram descritos inicialmente por Ford (1958 apud Ford 1999) em Charnwood Forest, em Leicestershire, Inglaterra, numa sequência vulcano-sedimentar. Posteriormente, Martin Glaessner encontrou indivíduos semelhantes no Membro Ediacara na Austrália (McCall 2006). Um espécime de fronde totalmente preservado, com 25 cm de comprimento, associado a *Cyclomedusa* e alguns discretos icnofósseis tipicamente Vendianos, em Charnwood Forest, Leicestershire, Inglaterra (Ford, 1999), possibilitou o reconhecimento para a espécie de *Charniodiscus concentricus* em Pacujá (Figura 18).

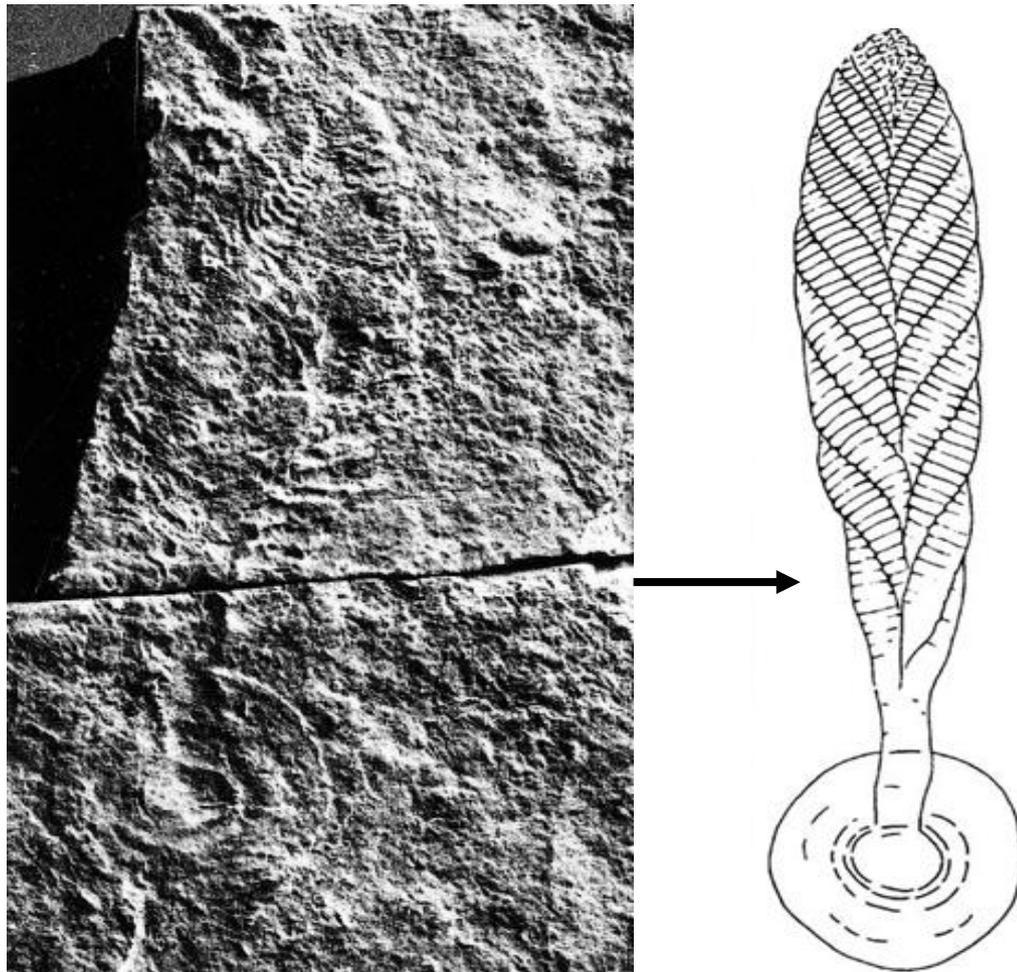


Figura 18. Espécime completo de *Charniodiscus concentricus*, na floresta Charnwood, Inglaterra, apresentando disco basal, pedúnculo e haste (Modificado de Ford, 1990). Comprimento de 25 cm.

Gênero *Cyclomedusa*, Sprigg, 1947

5.2.3 Espécie *Cyclomedusa davidi* Sprigg, 1947

(Figura 19)

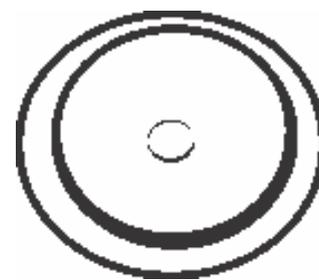


Figura 19. *Cyclomedusa davidi*.

DESCRIÇÃO: O fóssil preservado em epirrelevo positivo compreende uma impressão circular bipartida, com 12 cm de diâmetro. Há um disco externo circundando o disco interno com uma borda ligeiramente alta que mede 1,5 cm de largura. O disco interno em relevo mais alto que o externo, tem 7,0 cm de diâmetro e apresenta uma depressão no centro, medindo 1,5 cm de diâmetro.

MATERIAL: Descrito e fotografado no campo.

DISCUSSÃO: Ford (1999) considera que a depressão no centro é um subtipo de *Cyclomedusa* e frequentemente tem sido chamado de *Cyclomedusa cliffi*. De longe, são as impressões mais comuns em Charnwood Forest, com diâmetros que variam de menos de 1 a 22 cm, sem estriações, entretanto, os espécimes da Austrália já apresentam essas estruturas (Ford, 1999). Jenkins (1992 apud Crimes & McIlroy, 1999) considera que *C. plana*, *C. radiata*, *Springginia annulata* Sprigg 1949, *Medusinites asteroides* Sprigg

1949 e possivelmente *Ediacaria flindersi* Sprigg 1947 são sinônimos, em virtude das associações no registro. *Cyclomedusa* sp. tem sua filogenia atribuída aos cnidários (McCall, 2006).

Gênero *Ediacaria* Sprigg, 1947

5.2.4 Espécie *Ediacaria flindersi* Sprigg, 1947

(Figura 20)



Figura 20. *Ediacaria flindersi*. Escala em centímetros.

DESCRIÇÃO: Impressão circular bipartida, em epirrelevo positivo, embora fragmentada, estima-se um diâmetro total de 17 cm. O disco central mede 10 cm de diâmetro e está circundado por um disco externo cuja borda apresenta 4,5 cm de largura. O disco interno é levemente elevado sobre o disco externo e representa $\frac{3}{4}$ do tamanho da impressão. *E. flindersi* de Pacujá não apresentou sulcos radiais.

MATERIAL: MDJ Ed-53

DISCUSSÃO: *Ediacaria flindersi* é o maior e mais comum medusoide conhecido das assembleias Ediacaranas (De, 2006). Glaessner & Wade (1966) afirmam que podem aparecer ou não estruturas radiais nos espécimes e também registram o maior espécime completo na Austrália com diâmetro de 12 cm, mas outros fragmentos indicam

espécimes muito maiores que 21 cm (Figura 21). Sua afinidade filogenética também é atribuída aos cnidários (McCall, 2006).



Figura 21. Espécime *Ediacaria flindersi*, na Austrália (Glaessner & Wade, 1966). Escala 4 cm.

Gênero *Kimberella* Glaessner & Wade, 1966

5.2.5 Espécie *Kimberella quadrata* Glaessner & Wade, 1966

(Figura 22)

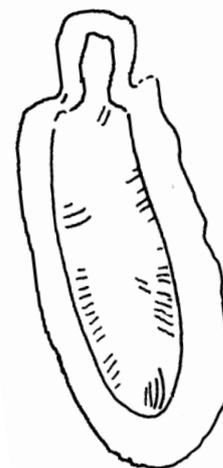


Figura 22. *Kimberella quadrata*.

DESCRIÇÃO: Forma ovalada, as porções distais demonstram uma margem externa relativamente inflada e uma zona interna distorcida e elevada. Possui uma estrutura em forma de pescoço na extremidade anterior. Sem repartições transversais em forma de U, nas bordas infladas, possivelmente devido à granulometria do sedimento. O comprimento antero-posterior mediu 5 cm, enquanto a largura da borda apresentou 1 cm, e a largura da parte interior elevada mediu 0,5 cm.

MATERIAL: Espécime único, registrado e fotografado no campo.

DISCUSSÃO: *Kimberella quadrata* do nordeste do Brasil assemelha-se ao subtipo “C” de Ivantsov (2009) (Figura 23). Vale ressaltar que esses espécimes são endêmicos a Rússia e Austrália, incluídos dentro da Assembléia de White Sea, em associação com fósseis medusoides e icnofósseis. Fedonkin & Waggoner (1997) reconstruíram *Kimberella quadrata* como um bilateriano simétrico, bentônico, apresentando uma

concha univalve não mineralizada e semelhante a um molusco em muitos aspectos. O tamanho do espécime de Pacujá está dentro da média de comprimento e largura.



Figura 23. *Kimberella quadrata*, na região de White Sea, Rússia (Ivantsov, 2009). Comprimento \simeq 6 cm.

Gênero *Medusinites* Glaessner 1966

5.2.6 Espécie *Medusinites asteroides* Sprigg, 1949

(Figura 24)

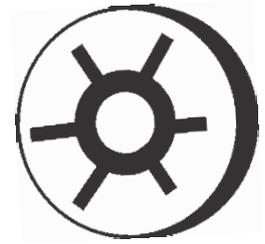


Figura 24. *Medusinites asteroides*. Escala 15 cm.

DESCRIÇÃO: Impressão circular bipartida em epirrelevo positivo. Possui um disco externo elevado e separado do disco interno por uma profunda depressão circundante. Sulcos radiais estão preservados na margem do disco externo em direção ao disco central. O disco central é relativamente menor do que o externo que possui diâmetro total de 10 cm.

MATERIAL: Espécime descrito e fotografado no campo

DISCUSSÃO: Espécimes com diâmetros de 1 a 5 cm podem ser identificados na Austrália (Figura 25) (Glaessner & Wade, 1966) e na África (Bertrand-Sarfat, et al., 1995), contudo o espécime de Pacujá possui o dobro do diâmetro. São considerados cnidários mudusoides sedentários (McCall, 2006).



Figura 25. *Medusinites asteroides*, na Austrália (Glaessner & Wade 1966).
Diâmetro \simeq 5 cm.

Classe Hexactinellida Schmidt, 1870

Ordem Reticulosa Reid, 1958

Superfamília Dictyospongioidea Hall & Clarke, 1899

Gênero *Palaeophragmodictya* Gehling & Rigby, 1996



5.2.7 Espécie *Palaeophragmodictyon reticulata* Gehling & Rigby, 1996

(Figura 26)



Figura 26. *Palaeophragmodictyon reticulata*.

DESCRIÇÃO: Molde com contorno circular, preservado em epirrelevo negativo, incluindo um disco menor compondo uma depressão. O disco menor tende para uma das extremidades e está circundado irregularmente por bordas elevadas. São notáveis duas estruturas anexas, semelhantes a triângulos, em relevo negativo, com suas bases contornando externamente o disco maior. O diâmetro do disco maior mede 13 cm, enquanto o disco menor, deprimido, possui 3 cm de diâmetro.

MATERIAL: Espécime único, descrito e fotografado no campo.

DISCUSSÃO: Gehling & Rigby (1996) descrevem a primeira ocorrência no Membro Ediacara, (Subgrupo Pound) na região de Flinders Ranges, no Sul da Austrália. *Palaeophragmodictyon* de Flinders Ranges alcança 10 cm em diâmetro, com um único ósculo no centro que pode ser plano ou deprimido, apresentando estruturas como “raízes”, ou seja, extensões radiais rodeando a margem (Figura 27). Portanto, o espécime identificado em Pacujá compartilha as principais taxobases, sendo apenas um pouco maior. *P. reticulata* é a única espécie da fauna de Ediacara com afinidade seguramente relacionada aos poríferos.



Figura 27. *Palaeophragmodictyon* sp., na Austrália (Narbonne, 2005).
Diâmetro \approx 3 cm.

Gênero *Parvancorina* Glaessner, 1958

5.2.8 Espécie *Parvancorina minchami* Glaessner, 1958

(Figura 28)

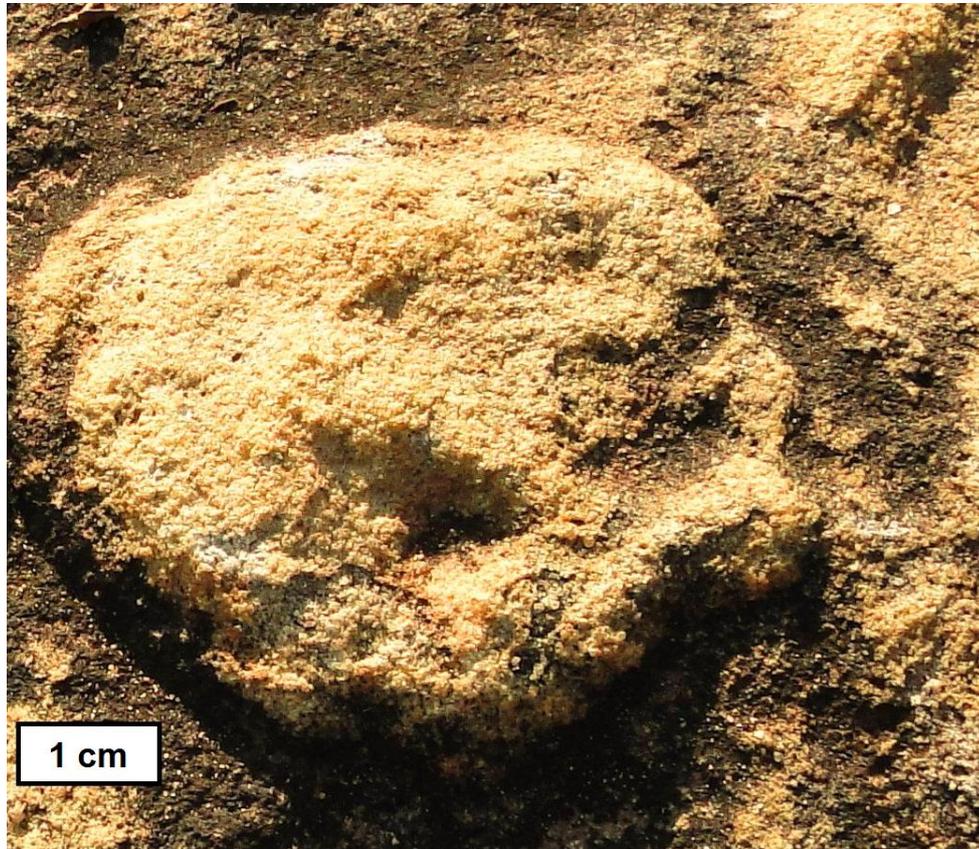


Figura 28. *Parvancorina minchami*.

DESCRIÇÃO: A morfologia é bastante simples, consistindo de um escudo dorsal, arredondado, alarga na parte lateral anterior e afunila posteriormente. Um anel levantado corre ao longo da margem do escudo. Contudo, a principal característica é a forma de âncora convexa localizada no centro do escudo. O comprimento da região anterior-posterior é de 8,5 cm, enquanto a largura mediu 7 cm.

MATERIAL: Descrito e fotografado em campo.

DISCUSSÃO: Registrados apenas em White Sea, Rússia e em Flinders Ranges, na Austrália, os restos de *Parvancorina* sp. só ocorrem como impressões do lado superior de um escudo rígido. Julgando a ausência de partes dobradas e deformações rodeando a

impressão, o corpo de *Parvancorina* sp. foi bastante duro e possivelmente esclerosado (Ivantsov et al., 2004). A forma de escudo em *P. minchami* é descrita como uma carapaça, o que sugere a inclusão dos espécimes na classe Arthropoda. Contudo, as observações de Naimark & Ivantsov (2009), após medirem centenas de espécimes de *Parvancorina*, não registraram qualquer evidência a favor das suas afinidades com os Artrópodes. Esses autores relacionaram o tamanho à profundidade do ambiente, ou seja, quanto maior for a profundidade, menor será o tamanho do espécime. *Parvancorina minchami* mediu três vezes mais que o maior espécime já registrado por Ivantsov et al. (2004).

Gênero *Parvancorina* Glaessner, 19585.2.9 Espécie *Parvancorina saggita*? Ivantsov, Malakhovskaya, Serezhnikova, 2004

(Figura 29)



Figura 29. *Parvancorina saggita*. Escala em centímetros.

DESCRIÇÃO: Possui forma de escudo semelhante à *Parvancorina minchami*, porém o comprimento de *P. saggita* na região antero-posterior é mais alongada em relação a largura, que é significativamente mais estreita. O espécime medido apresentou 7 cm de comprimento, enquanto a largura mediu 2,5 cm.

MATERIAL: MDJ Ed-03.

DISCUSSÃO: Endêmico a White Sea, Rússia, porém com tamanhos variando entre 2 mm a 2 cm (Naimark & Ivantsov, 2009). O espécime do Nordeste do Brasil compartilha as principais características, porém é praticamente quatro vezes maior que a espécie registrada na Rússia, não podendo atribuir precisamente à *P. saggita*. Vale ressaltar que este não é o único espécime de Pacujá com tamanho acima da média.

Gênero *Pectinifrons* Bamforth, Narbonne, Anderson, 2008

5.2.10 Espécie *Pectinifrons abyssalis* Bamforth, Narbonne, Anderson, 2008



(Figura 30)



Figura 30. *Pectinifrons abyssalis*.

DESCRIÇÃO: Com uma aparência de pente, possuía vários ramos primários partindo de um eixo horizontal. Dois espécimes registrados e fotografados no campo não foram coletados. Ambos preservados em epirrelevo negativo, apresentando quatro ramos primários. No espécime maior, a distância entre o primeiro e o último ramo primário, em extremidades opostas, mediu 12 cm, e no espécime menor, 7 cm. A média da largura dos ramos primários foi calculada em 2 cm para o espécime maior, e no menor foi de 1,5 cm. A média da altura dos ramos primários, em ambos, foi de 3 cm.

MATERIAL: Descrito e fotografado no campo.

DISCUSSÃO: Até então encontrados exclusivamente na Formação Mistaken Point (Grupo Conception) e na Formação Trepassey, sobrejacente (Grupo St. John), que representam uma sequência vulcano-sedimentar, em Newfoundland (Bamforth et al.,

2008), onde se registra a fauna de Ediacara mais antiga do mundo (570 Ma) (Laflame & Narbonne, 2008b).

As medidas dos espécimes de Pacujá estão dentro das medidas de *Pectinifrons* sp. de Mistaken Point e compartilham características com o morfotipo 1, onde somente o ramo central interno dos suportes primários são preservados, sem nenhuma evidência de estruturas secundárias das frondes (Figura 31). O eixo principal disposto horizontalmente no substrato e o suporte que representa os ramos centrais das frondes foram originalmente compostos de material mais resistente (Bamforth et al., 2008). Os espécimes de *Pectinifrons abyssalis* documentados em Mistaken Point dividem a superfície com *Fractofusus*, *Charnia*, *Charniodiscus*, *Ivesheadia* e discos de *Aspidella*.



Figura 31. *Pectinifrons abyssalis*, em Mistaken Point (Bamforth et. al, 2008).

5.3 ASSOSSIAÇÕES ICNOFOSSILÍFERAS DA FAUNA DE EDIACARA

5.3.1 Icnogênero *Arenicolites* Salter, 1857

(Figura 32)

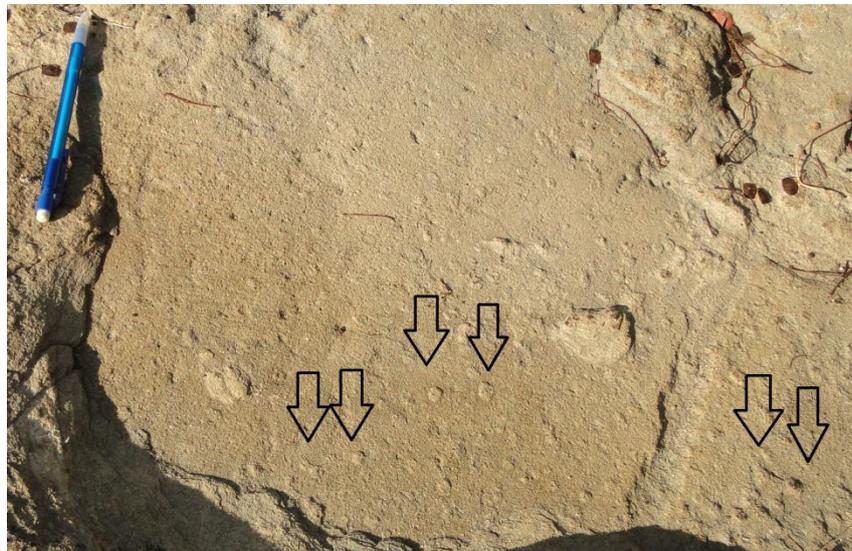


Figura 32. Icnogênero *Arenicolites* sp. indicado pelas setas.
Escala da foto 15 cm.

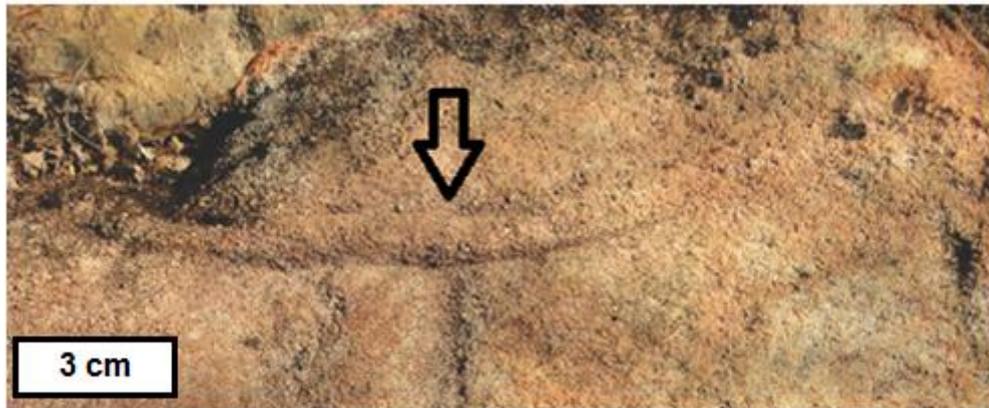
DESCRIÇÃO: Escavações em forma de U, simples, sem *spreite*, orientadas perpendicularmente à estratificação.

MATERIAL: Descrito e fotografado no campo.

DISCUSSÃO: É confirmada a presença de *Arenicolites* sp. no Neoproterozoico, descrito em conformidade com as taxobases propostas para este icnogênero. Além disso, sua associação com *Planolites* sp. e *Palaeophycus* sp. elimina qualquer possibilidade de ser uma estrutura sedimentar. Vale ressaltar que Crimes (1992) também incluiu *Arenicolites* e *Planolites* na sua revisão dos icnofósseis que aparecem no Neoproterozóico e ultrapassam o limite Neoproterozóico-Cambriano, corroborando os dados aqui apresentados. Isso refuta a afirmação de Gehling et al. (2001) sobre *Arenicolites* sp. não ter sido convincentemente descritos em estratos Neoproterozóicos.

5.3.2 Icnogênero *Palaeophycus* Hall, 1987

(Figura 33)

Figura 33. Icnogênero *Palaeophycus* sp.

DESCRIÇÃO: Escavações intraestratais retas a levemente curvas, ligeiramente onduladas a flexuosas, de superfícies lisas cilíndricas e dispostas horizontalmente à estratificação.

MATERIAL: Descrito e fotografado no campo

DISCUSSÃO: É um dos icnogêneros mais comuns associados à fauna de Ediacara, em virtude da sua simplicidade morfológica. Contudo, a maioria do diâmetro das espécies possuem tamanhos milimétricos. Hagadorn & Waggoner (2000) descreveram *Palaeophycus* na Grande Bacia dos Estados Unidos junto a representantes Edicaranos.

5.3.3 Icnogênero *Planolites* Nicholson, 1873

(Figura 34)

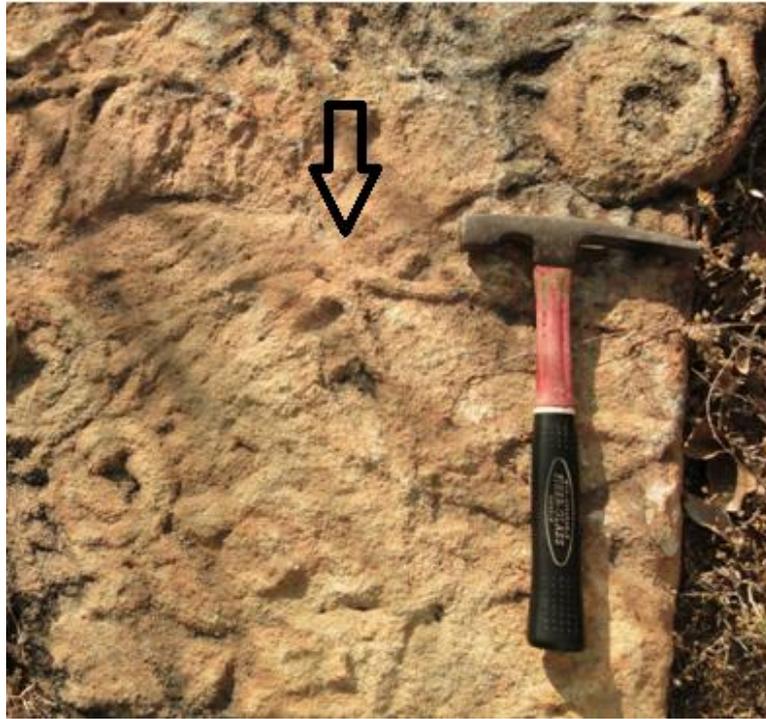


Figura 34. Icnogênero *Planolites*. Escala 30cm.

DESCRIÇÃO: Escavações meandranes de orientação horizontal a oblíqua em relação à estratificação, podendo entrecruzar-se, raramente ramificadas e com dimensões e configurações variadas apresentam seção transversal circular à elíptica.

MATERIAL: Descrito e fotografado no campo.

DISCUSSÃO: Considerado um dos icnogêneros que aparecem no Neoproterozóico e permanecem no Fanerozóico (Crimes 1992). Já foram descritos no Uruguai (Aceñolaza et al., 1998) em uma sequência vulcano-sedimentar relacionada ao Ciclo Brasileiro, e abaixo do limite Neoproterozóico-Cambriano do Canadá (Gehling, et al., 2001). Em Newfoundland, *Arenicolites* e *Planolites*, são registrados apenas em unidades do Cambriano (Droser et al., 2002). No Brasil, *Planolites* e *Palaeophycus* foram descritos no Vendiano da Bacia de Camaquã (Fernandes et al., 2002)

CAPÍTULO 6: DISCUSSÃO

As análises da distribuição das assembleias Ediacaranas no tempo e no espaço de Waggoner (2003) apresentaram que as frondes e os simples medusoides são os primeiros a aparecerem e os últimos a desaparecer, tendo o mais baixo provincianismo (Figura 35). Portanto, através dos *Charniodiscus* e *Cyclomedusas* não é possível obter informações tão precisas sobre as idades e ambientes da fauna no Nordeste do Brasil. Contudo, eles foram indispensáveis na caracterização de uma típica biota Ediacarana.

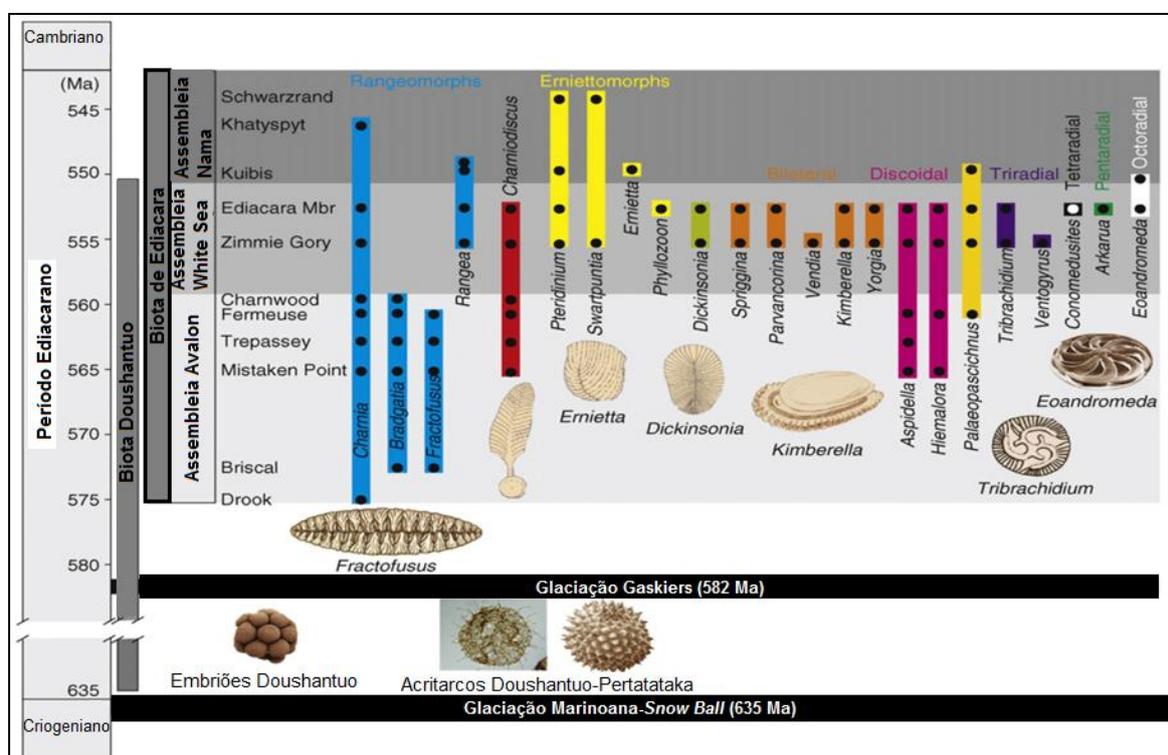


Figura 35. Distribuição temporal e ocorrências estratigráficas (pontos pretos) de gêneros representativos da Fauna de Ediacara, plotados contra a escala do Período Ediacarano e localidades fósseis ou unidades estratigráficas. As três Assembleias Ediacaranas (Caixa 1) estão indicadas por diferentes sombras de cinza. As glaciações Marinoana e Gaskiers, bem como a extensão da biota Doushantuo, são também marcadas (Modificado de Xiao & LaFlamme, 2008).

Contrariamente às frondes e discos, foram registrados espécimes de caráter endêmicos, tais como: *Pectinifrons abyssalis*, *Parvancorina minchami*, *Parvancorina saggita?*, *Palaeophragmodictyon reticulata* e *Kimberella quadrata*. Estes puderam fornecer estimativas sobre as idades e ambientes deposicionais, uma vez que o conjunto de impressões associadas aos icnofósseis é típico da Assembleia White Sea. Porém *Pectinifrons abyssalis* é uma exceção, um fóssil intromisso, pertencente à Assembleia Avalon.

A Assembleia White Sea (Figura 35) é mais bem conhecida nas clássicas seções Vendianas da Rússia e no Membro Ediacara da Austrália. As ocorrências mais antigas são inferiores a 560 Ma e as mais jovens podem estender-se até a base do Cambriano. A maioria das diversas assembleias White Sea viveu em ambientes de águas rasas, entre a base de ondas de bom tempo e a base de ondas de tempestade, sendo caracterizada por fósseis segmentados, discoides e frondes. A abundância de escavações de organismos vermiformes atesta a presença de bilaterianos móveis incluídos na fauna, mas nenhum dos táxons possui esqueletos mineralizados.

Segundo Waggoner (2003), as semelhanças entre faunas ediacaranas em áreas separadas geograficamente significa que elas compartilharam a mesma história tectônica (existiram no mesmo continente, ou em partes separadas de continente quebrado recentemente). Contudo, duas áreas podem ter também assembleias similares simplesmente porque elas tinham o mesmo paleoambiente, ou porque tinham a mesma idade na escala geológica.

Aplicando este modelo à Assembleia de Pacujá, pode-se inferir que a presença de *Pectinifrons abyssalis* é melhor entendida como um compartilhamento geográfico. Isso fica claro quando se analisa o mapa paleogeográfico de Veevers (2004) (Figura 6). Já sobre a dominância de representantes descritos na Rússia e na Austrália, pode ser atribuída às condições ambientais, uma vez que todos constituem ambientes mais rasos e idades semelhantes.

Na Austrália, o Membro Ediacara inicia-se por uma rápida mudança de um arenito argiloso vermelho (Arenito Bonney) para um arenito limpo, estratificado, com marcas de ondas, irregularmente laminado e cor de rosa (Rawnsley Quartzite). Igualmente, a típica Formação Pacujá com arenitos vermelhos, marcas de ondas e gretas de contração pode ser comparada ao Arenito Bonney do Subgrupo Pound, na Austrália.

Já os novos estratos fossilíferos denominados de Arenito Contra Fogo da Bacia do Jaibaras assemelham-se a fácies “C” de Gehling (2000), com arenitos de canal,

confinados sobre brechas, na base do Membro Ediacara. Ressalta-se que a abundância de fósseis na Austrália inicia-se somente 150 m após os canais sobre as brechas.

Através desta analogia estratigráfica e pela presença intromissa de *Pectinifrons abyssalis*, infere-se que a idade dos depósitos do Nordeste do Brasil estaria entre as idades da Assembleia de Avalon e de White Sea, já que compartilham representantes das duas assembleias, não podendo ser comparada à Assembleia Namíbia que é a mais jovem de todas.

Portanto, a idade da fauna de Ediacara contida no Arenito Contra Fogo da Formação Pacujá é estimada em pelo menos 560 Ma, quando comparada a outras localidades datadas por métodos radiométricos, que contém a mesma assembleia fossilífera. Esta idade está de acordo com as datações para os principais eventos da Bacia Jaibaras (Novais et al., 1979; Brito Neves, 2001; Brito Neves & Campos Neto, 2002) quais sejam: Ciclo Brasileiro (670-490 Ma), orogenia (625-580 Ma), Granito Mucambo (548 ± 24 Ma), Formação Pacujá (metamorfismo de 535 ± 27 ; sedimentação inferida no Neoproterozóico), Granito Meruoca (540 ± 7) e Suíte Parapuí (502 ± 8 Ma).

Na área de estudo, ainda não está entendido o modelo “*snow ball*”, um evento de glaciação e deglaciação representado em um pacote sedimentar com o tilito sobreposto por carbonatos, geralmente com a fauna de Ediacara acima do modelo.

O único evento de glaciação na região refere-se ao Grupo Serra Grande, cuja idade é atribuída ao Siluriano, sendo constituído na base pelos ortoconglomerados da Formação Ipu.

Sobre o evento glacial, Brito Neves (2001) elabora uma breve correlação entre a Bacia do Parnaíba e Bacia de Taoudemi, na África e em vários dos perfis da Bacia de Taoudemi aparecem unidades litoestratigráficas Ordovicianas e a alusão a sedimentos glaciais neste período, o que são fatos desconhecidos no desenvolvimento do Parnaíba cuja evolução é a partir do Siluriano. Porém, os valores de idade do processo evolutivo em ca. 850-800 Ma (rifteamento original), orogenia em torno de 625-580 Ma, e eventos pós-colisionais (extrusão, bacias molássicas, granitogênese) ao redor de 520-545 Ma são coerentes nos dois continentes (África e América do Sul).

Bertrand-Sarfati et al. (1995) publicam a primeira ocorrência da fauna de Ediacara encontrada no oeste da África no Grupo Cheiknia, da Bacia de Taoudemi. O Grupo Cheiknia também é coberto discordantemente por uma sequência de tilitos (Grupo Fersiga) com idades inferidas para o Cambriano Inferior.

Quanto à capa carbonática, que deveria estar acima do tilito, não foi observada. Entretanto, há uma importante deposição carbonática marinha representada pela Formação Freicheirinha do *Graben* de Ubajara, de idade Neoproterozóica.

Na África, no noroeste de Ahaggar, a Série Pourprée de I'Anhet (uma molassa da faixa orogênica Pan-Africana com fauna de Ediacara) contém um tilito glaciomarinho sem uma capa carbonática marinha (Bertrand-Sarfati, 1968 apud Bertrand-Sarfati et al., 1995).

Diante do exposto, ainda são necessários novos estudos para o entendimento do modelo “*snow ball*” no noroeste do Estado do Ceará e, principalmente sobre a importância do Grupo Serra Grande neste evento.

Diante do exposto, é possível que o Arenito Contra Fogo com fósseis ediacaranos, represente um novo evento geológico entre a Formação Pacujá e a Formação Aprazível da Bacia Jaibaras.

CAPÍTULO 7: PALEOAMBIENTE E PALEOECOLOGIA

A fauna de Ediacara do Nordeste do Brasil viveu num ambiente flúvio-deltáico com ingressão marinha, na porção mais próxima do continente, onde o substrato era inconsolidado, com boas condições de oxigenação e de luminosidade. As águas rasas seriam ricas em nutrientes, devido ao transporte constante de fluidos em direção ao centro da bacia, beneficiando a biota de hábitos filtradores.

Estas condições ambientais constituiriam parâmetros adequados para o desenvolvimento da fauna de Ediacara da Fazenda Contra Fogo, em virtude da sua diversidade de 5,5 espécies/m² e abundância de 7,8 indivíduos/m².

No nordeste do Brasil e no Sul da Austrália, as frondes geralmente não são preservadas, enquanto são abundantes as hastes e os discos (ou *holdfast*). Neste caso, um viés tafonômico é o provável resultado de uma riqueza menor do que seria previsto para o sul da Austrália e para o Nordeste do Brasil.

Para a fauna de Pacujá, infere-se que a ação dos tapetes microbianos, considerados principais responsáveis pelos processos de fossilização da biota sem mineralização, foi mínima ou ausente, em virtude da intensa bioturbação no substrato e da granulometria do sedimento (Figura 36).

O tamanho dos espécimes da assembleia do Nordeste do Brasil é relativamente bem maior do que outros ocorrentes no mundo Ediacarano. *Parvancorina minchami* mediu três vezes mais que o maior espécime já registrado por Ivantsov et al. (2004). *Medusinites asteroides* na Austrália são reconhecidos entre 1 e 5 cm de diâmetro (Glaessner & Wade, 1966), enquanto na espécie de Pacujá, o diâmetro é 10 cm.

Este tamanho maior pode ter sido um fator decisivo para a preservação como moldes, uma vez que a bioturbação contribuiu para o aumento da oxigenação e diminuiu as possibilidades de fossilização. Possivelmente, indivíduos menores estariam também presentes, mas seriam bioturbados logo após o enterramento.



Figura 36: Acima, observa-se *Parvancorina minchami* no Nordeste do Brasil em substratos intensamente bioturbados (Escala 30 cm); Abaixo, *Parvancorina minchami* (x 1) na Austrália preservado em conjunto com tapetes microbianos (Modificado de Gehling, 1999).

Comparando o modelo ecológico de Clapham et al. (2003) à fauna Ediacarana de Pacujá, é notável a ocorrência dos três primeiros níveis de *tiers* (escalonamento ecológico) mais a presença de icnofósseis, que são ausentes em Mistaken Point.

Portanto, os representantes de cada *tiering* da Assembleia do Nordeste do Brasil estariam escalonados do seguinte modo (Figura 37): **1. *Tiers subinferior*** (abaixo da superfície) - estariam os icnofósseis *Arenicolites*, *Paleophycus* e *Planolites*. Provavelmente, o substrato possuía grande quantidade de matéria orgânica, em virtude das intensas atividades de bioturbação dos verdadeiros bilaterianos, para fins de pastagem, moradia ou deslocamento; **2. *Tiers inferior*** (acima da superfície até 8 cm), constituído por *Charniodiscus* sp., *Cyclomedusa* sp., *Ediacaria* sp., *Kimberella* sp., *Medusinites* sp., *Palaeophragmodyctium* sp., *Parvancorina* sp. e *Pectinifrons* sp., apresentando pequenos filtradores de nutrientes em conjunto com possíveis artrópodes que viviam sobre o assoalho; e **3. *Tiers intermediário*** (8-30 cm) com presença exclusiva de *Charniodiscus* sp.

Vale ressaltar que *tiers* são também aparentes nas assembleias mais jovens no sul da Austrália e White Sea. Embora a maioria dos fósseis reflitam níveis de hierarquização mais baixos, copas grandes demonstram que o complexo *tiering* epifaunal existiu ao longo do Ediacarano.

Em suma, haveria grande disponibilidade de matéria orgânica e de nutrientes sendo carregados por intenso transporte de sedimentos em um canal, com a fauna vivendo em um ambiente com ondas de bom tempo.

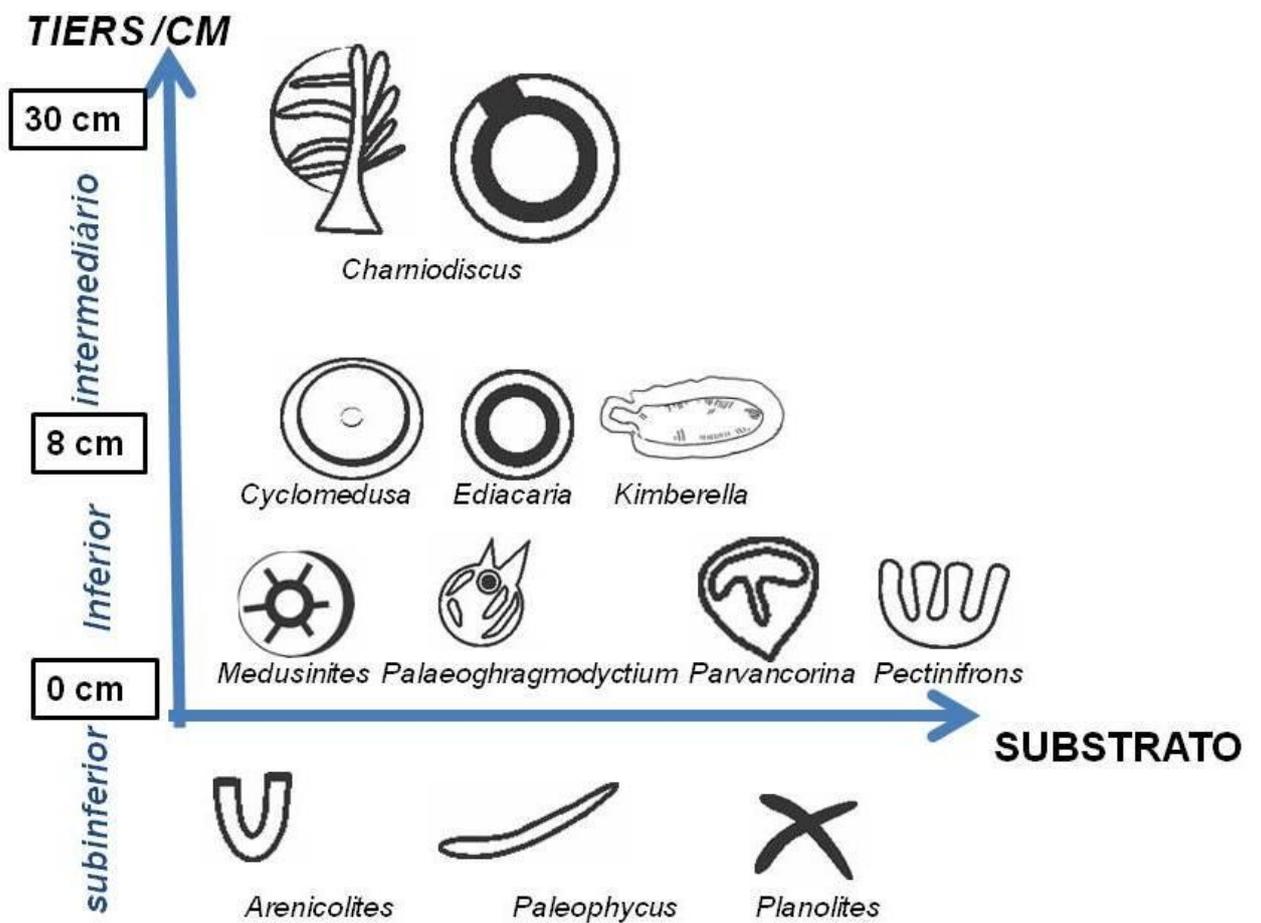


Figura 37: Escalonamento ecológico (*tiring*) da fauna de Ediacara do Nordeste do Brasil.

CAPÍTULO 8: CONCLUSÕES

Este é o primeiro trabalho que versa sobre registros fossilíferos para a Bacia do Jaibaras e apresenta a primeira ocorrência da fauna de Ediacara no Nordeste do Brasil, destacando a importância do Estado do Ceará no cenário da paleontologia brasileira e mundial.

As análises de campo atestam um ambiente flúvio-deltáico com ingressão marinha para o Arenito Contra Fogo, cujas condições de profundidade, salinidade, oxigenação e de luminosidade eram adequadas para o desenvolvimento da fauna, em virtude dos números obtidos de abundância e diversidade específica.

A área desta pesquisa, que havia sido mapeada em outros trabalhos como terrenos da Bacia do Parnaíba com icnofósseis, compreende agora outro contexto geológico pertencente à Bacia do Jaibaras, de idade Neoproterozóica.

A assembleia icnofossilífera composta por *Arenicolites*, *Palaeophycus* e *Planolites* confirma a presença destes táxons no Ediacarano.

A predominância de discos representando as bases das frondes, em vez de frondes completas está relacionada à granulometria dos sedimentos grossos e a intensa bioturbação do assoalho, o que pode ter restringido a atuação de tapetes algálicos para preservar as porções mais sensíveis.

Com relação aos espécimes de *Pectinifrons abyssalis* até então encontrados apenas em Newfoundland, registra-se aqui a sua nova ocorrência e ainda junto aos icnofósseis, podendo sugerir sua extensão em depósitos das Assembleias White Sea.

Através da predominância de representantes da Assembleia White Sea é possível inferir que a idade dos depósitos é pelo menos 560 Ma, que está de acordo com as idades dos principais eventos ocorridos na Bacia do Jaibaras.

Em suma, a heterogeneidade e abundância da fauna de Ediacara do Ceará abrem um novo portal para o entendimento da vida e seus ecossistemas no Neoproterozoico. Além disso, com os novos dados desta pesquisa será possível estabelecer correlações entre as bacias no Nordeste do Brasil e Noroeste da África e reconstituir a história paleontológica do supercontinente Gondwana.

CAPÍTULO 9: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceñolaza, F. G. Sánchez Bettucci., Fernicolo, J.C, 1998. Icnofósiles del Grupo Lavallega, Neoproterozoico de Uruguay. *Coloquios de Paleontologia*. **49**:9-21.

Almeida, F.F.M.; Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R., 1977. Províncias estruturais brasileiras, In: VIII Simpósio de Geologia Nordeste. Campina Grande. Atas. Recife, SBG. p. 363-391.

Almeida, F.F.M. & Carneiro, C.D.R., 2004 Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (eds) *Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Beca, 2004. P. 43-58.

Babcock, L.E., Grunow, A.M., Sadowski, G.R., Leslie, S.A., 2005. *Corumbella*: an Ediacaran-grade organism from the Late Neoproterzoic of Brazil. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*. **220**: 7-18.

Bamforth, E. L., Narbonne, G.M., Anderson, M.M., 2008. Growth and ecology of multi-branched Ediacaran Rangeomorph from Mistaken Point assemblage, Newfoundland. *J. Paleontol.* **82**:763-777.

Benton, M.J., 2008. *The history of life: A very short introduction*. Oxford University, New York, 170p.

Bertrand-Sarfati, J., Moussine-Pouchkine, A., Armad, B., Ahmed, A. A. K., 1995. First Ediacaran Fauna found in western Africa an evidence for an Early Cambrian glaciations. *Geology*. **23**:133-136.

Brito Neves, B.B. 1991. Os dois “Brasís” Geotectônicos. Atas. XIV Simpósio de Geologia do Nordeste – SBG. Núcleo Nordeste. Boletim 12, Recife 15 a 20 de novembro.

Brito Neves, B.B., 1998. The Cambro-Ordovician of the Borborem Province. *Boletim IG*. **29**:175-193.

Brito Neves, B.B. 2011. *Glossário de Geotectônica*. Editora oficina de textos: São Paulo. 256 p.

Brito Neves, B.B. & Neto, M.C.C., 2002. Ciclo Brasileiro: Discussão Prefacial. Anais. XLI Congresso Brasileiro de Geologia. João Pessoa-PB.

Brito Neves, B.B., Van Schmus, W.R., Fetter, A.H., 2001. Noroeste da África – Nordeste do Brasil (Província Borborema) ensaio comparativo e problemas de correlação. *Revista do Instituto de Geociências-USP*. **1**:59-78.

Bromley, R.G. 1990. *Trace Fossils. Biology and taphonomy*. Unwin Hyman, Londres, 280p.

Buatois, L.A., Mángano, M.G. & Aceñolaza, F.G., 2002. Trazas fósiles: señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Editora Interciência: Rio de Janeiro. 382 p.

Canfield, D.E., 2005. The early history of atmospheric oxygen: homage to Robert M. Garrels. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **33**:1-36.

Canfield, D. E. & Teske, A., 1996. Late Proterozoic rise in atmospheric oxygen concentration inferred from phylogenetic and sulphur-isotope studies. *Nature*. **382**:127-132.

Caputo, M.V. & Lima, E.C., 1984. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro, Anais, Rio de Janeiro. 2: 740-743.

Cassab, R. C. T., 2010. Objetivos e princípios. In: Carvalho, I.S. (eds), *Paleontologia: conceitos e métodos*. Interciência: Rio de Janeiro, cap. **1**:4-11.

Cavalcante, J.C., Vasconcelos, A. M., Gomes, F.E.M. **Atlas de geologia e recursos minerais do Ceará**. Sistema de informações Geográficas SIG, Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2003. CD-Rom.

Chaves, A.P.P. & Viana, M.S.S., 2009. *Novo Icnogênero na Localidade da Serrinha, Município de Pacujá, Estado do Ceará, (Grupo Serra Grande, Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Parnaíba)*. In: XI Encontro de Iniciação Científica da Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral-CE. Anais, p. 90.

Chaves, A.P.P., Viana, M.S.S., Agostinho, S., 2008. *Novas ocorrências de icnofósseis do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba, no Estado do Ceará*. In: X Encontro de Iniciação Científica da Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral-CE, Anais, CD-ROM.

Clapham, M.E., Narbonne, G.M., Gehling, J.G., 2003. Paleoeology of the oldest know animal communities: Ediacaran assemblages at Mistaken Point, Newfoundland. *Paleobiology*. **29**:527-544.

Conway Morris, S. 1993. Ediacaran-like Fossils from the Cambrian Burgess Shale Type Faunas of North America. *Palaeontology*. **36**: 593-635.

Cook, J.P., 1992. Phosphogenesis around the Proterozoic-Phanerozoic transition, *Journal of the Geological Society*. **149**: 615-620.

Costa, M.J., França, J.B. de., Bacciegga, I.F., Habekost, C.R., CRUZ, W.B. DA, 1973. Geologia da Bacia do Jaibaras; Ceará, Piauí e Maranhão. Projeto Jaibaras. *DNPM/CPRM*. Recife. Relatório Final (5 vol).

Crimes, T.P., 1992. Changes in the trace fossil biota across the Proterozoic-Phanerozoic boundary. *Journal of the Geological Society*. **149**:631-646.

Crimes, T.P. & McIlroy. D., 1999. A biota of Ediacaran aspect from lower Cambrian strata on the Digermul Peninsula, Arctic Norway. *Geol. Mag.* **136**:633-642.

De Araujo, C.E.G., Cordani, U.G., Basei, M.A.S., Castro, A.N., Sato, K., Sproesser, W.M. 2012. U-Pb detrital zircon provenance of metasedimentary rocks from the Ceará Central and Médio Coreau Domains, Borborema Province, NE-Brazil: Tectonic implications for a long-lived Neoproterozoic active continental margin. *Precambrian Research*. 206-207: 36-51.

De, C., 2006. Ediacaran fossil assemblage in the upper Vindhyan of Central India and its significance. *Journal of Asian Earth Sciences*. **27** 660-683.

Delgado, I.M., Souza, J.D., Silva, L.C., Silveira Filho, N.C., Santos, R.A., Pedreira, A.J., Guimarães, J.T., Angelim, L.A.A., Vasconcelos, A.M., Gomes, I.P., Lacerda Filho, J.V., Valente, C.R., Perrotta, M.M., Heineck, C.A., 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico In Bizzi, L.A., Schobenhau, C., Vidotti., Gonçalves, J.H., (eds), Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. CPRM. Serviço Geológico do Brasil. cap. 5:227-334.

Derry, L.A., Kaufman, A.J., Jacobsen S.B., 1992. Sedimentary cycling and environmental change in the late Proterozoic: evidence from stable and radiogenic isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **56**:1317-1329.

Drefahl, M. & Silva, R.C., 2007. Ocorrências de fósseis Ediacaranos na Formação Camarinha (Neoproterozóico Superior), sudeste do Estado do Paraná. In: Carvalho, I.S. (eds), *Paleontologia: Cenários de Vida*. Interciência, Rio de Janeiro. 3-11p.

Droser, M.L., Jensen, S.; Gehling, J., 2002. Traces fossils and substrates of the terminal Proterozoic-Cambrian transition: Implications for the record of early bilaterians and sediment mixing. *PNAS*. **99**:12572-12576

Fairchild, T. R. & Boggiani, P.C., 2010 A vida primitiva: do Criptozoico (Pré-Cambriano) ao início do Fanerozóico. In: Carvalho, I.S. (eds), *Paleontologia: conceitos e métodos*. Interciência: Rio de Janeiro, cap. **17**:325-337.

Fendonkin, M.A. & Waggoner, B.M. , 1997. The Late Precambrian fossil *Kimberella* is a mollusc-like bilaterian organism. *Nature*. **388**:868-871.

Fernandes, A.C.S., Borghi, L., Carvalho, I.S., Abreu, C.J., 2002, *Guia dos Icnofósseis de Invertebrados do Brasil*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 260p.

Ford, T. D., 1999. The Precambrian fossils of Charnwood Forest. *Geology Today*. 230-234.

- Furtado, A.M., Cunha, L.L.T., Rocha, L.A.S., Viana, M.S.S., 2005. *Ocorrências Fossííferas do Grupo Serra Grande no Estado do Ceará (Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Parnaíba)* In: VII Encontro de Iniciação Científica da Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA. Sobral-CE, Anais. p 64.
- Gehling, J.G. 1991. The case for Ediacaran fossil roots to the metazoan tree. *Memoirs of the Geological Society of India*. **20**:181-223.
- Gehling, J.G., 1999. Microbial mats in the terminal Proterozoic siliciclastics: Ediacaran death masks. *Palaios*. **14**:40-47.
- Gehling, J.G., 2000. Environmental interpretation and a sequence stratigraphic framework for the terminal Proterozoic Ediacaran Member within the Rawnsley Quartzite, South Australia. *Precambrian Research*. **100**: 65-95
- Gehling, J.G. & Rigby, J. K. 1996. Long expected sponges from the Neoproterozoic Ediacara Fauna of South Australia. *Journal of Paleontology*. **70**:185-195.
- Gehling, J. G., Jensen, S., Droser, M.L., Myrow, P.M., 2001. Burrowing below the basal Cambrian GSSP, Fortune Head, Newfoundland. *Geol. Mag.* **138**:213-218.
- Glaessner, M. F. & Wade, M., 1966. The late Precambrian fossils from Ediacara, South Australia. *Palaeontology*. **94**:599-628.
- Góes, M.F. & Feijó, A.L., 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. **8**:57-67.
- Gould, S. J., 1990. *Vida Maravilhosa: O acaso na evolução e a natureza da história*. Editora Schwarcz, São Paulo, 391p.
- Grazhdankin, D. & Gerdes, G., 2007. Ediacaran microbial colonies. *Lethaia*. **40**:201-210.
- Hagadorn, J.W. & Waggoner, B., 2000. Ediacaran fossils from the Southwestern Great Basin, United States. *J. Paleontology*. **74**: 349-359
- Hoffman, P.F. & Schrag, D.P., 2002. The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova*. **14**: 129-155.
- Hoffmann, H.J., Narbonne, G.M., Aitken, J.D., 1990. Ediacaran remains from intertilite beds in Northwestern Canada. *Geology*. **18**:1199-1202.
- Ivantsov, A. Y., 2009. New reconstruction of *Kimberella*, problematic Vendian metazoan. *Paleontological Journal*. **43**:601-611.
- Ivantsov, A. Y., Malakhovshaya, Y, E., Serezhikova, E.A., 2004. Some problematic fossils from the Vendian of the Southeastern White Sea Region. *Paleontological Journal*. **38**:1-9.
- Kegel, W., Scorza, E. P., Coelho, F.C.P., 1958. Estudos geológicos do Norte do Ceará. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*. **184**:1-46

- Knoll, A.H. & Carroll, S.B., 1999. Early Animal Evolution: Emerging views from Comparative Biology and Geology. *Science*. **284**: 2129-2137
- Knoll, H.A., Walter, M. R., Narbonne, G. M., Blick, N.C., 2004. A new period for the Geologic Time Scale. *Science*. **305**:621-622.
- Laflamme, M. & Narbonne, G.M., 2008a. Ediacaran fronds. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. **258**:162-179.
- Laflamme, M. & Narbonne, G.M., 2008b. Competition in a Precambrian world: palaeocology of Ediacaran fronds. *Geology Today*. **24**:182-187
- Laflamme, M., Narbonne, G. M., Anderson, M.M., 2004. Morphometric analysis of the Ediacaran frond Charniodiscus from Mistaken Point Formation, Newfoundland. *Journal of Paleontology*. **78**:827-837.
- Laflamme, M., Schiffbauer, J.D., Narbonne, G.M., Briggs, D.E.G., 2011. Microbial biofilms and the preservation of the Ediacara biota. *Lethaia*. **44**:203-213.
- Leopoldino, A.A., Rocha, L.A.S., Cunha, L.L.T., Viana, M.S.S., 2004. *Descoberta dos fósseis mais antigos do Ceará: Icnofósseis de Pacujá (Form. Tianguá, Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Parnaíba)*. In: VI Encontro de Iniciação Científica da UVA. Sobral-CE, Anais, CD-ROM.
- Mapstone, N.B. & McIlroy, D., 2006. Ediacaran fossil preservation: Taphonomy and diagenesis of discoid biota from the Amadeus Basin, central Austrália. *Precambrian Research*. **149**:126-148.
- McCall, G.J.H., 2006. The Vendian (Ediacaran) in the geological record Enigmas in geology's prelude to the Cambrian explosion. *Earth-Science Reviews*. **77**:1-229.
- Mello, Z.F., 1978. Evoluções finais do Ciclo Geotectônico Brasileiro no Nordeste Oriental. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 1978. Anais. 2438-2450.
- Naimark, E.B. & Ivantsov, A. Y., 2009. Growth variability in the Late Vendian Problematics *Parvancorina* Glaessner. *Paleontological Journal*. **43**:12-18.
- Narbonne, G.M. 1998. The Ediacaran biota; a terminal Neoproterozoic experiment in the evolution of life. *GSA Today*. **8**:1-6
- Narbonne, G.M. 2005. The Ediacara biota: neoproterozoic origin of animals and their ecosystems. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **33**:421-442
- Narbonne, G.M. 2010. Ocean Chemistry and early animals. *Science*. **328**:53-54
- Novais, F.R.G., Neves, B.B.B., Kawashita, K., 1979. Reconhecimento cronoestratigráfica da região nordeste do Estado do Ceará. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11, Natal, 1979. Atas. Natal, SBG. P. 93-110.
- Oliveira, D. C., 2000. Stratigraphic Interplays between igneous and sedimentary events in the early palaeozoic Jaibaras Trough (Northeast Brazil). *Revista Brasileira de Geociências* **30**: 427-431.

- Oliveira, D.C., 2001. Reavaliação da evolução tectono-magmática do *Graben* de Jaibaras (nordeste do Brasil). *Acta geológica hispanica*. **36**:53-95.
- Oliveira, D.C. & Mohriak, W. U. 2003. Jaibaras Trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba sag basin, northeastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*. **20**:351-383.
- Osgood, R. G., 1970. Trace fossils of the Cincinnati area. *Palaeontographica Americana*. **6**: 277-444.
- Peterson, K.J., Waggoner, B., Hagadorn, J. W., 2003. A fungal analogy for Newfoundland Ediacaran fossils? *Integrative and Comparative Biology*. **43**:127-136.
- Quadros, M.L do E.S. 1996. Estudo tectono-sedimentar da Bacia Jaibaras, na região entre as cidades de Pacujá e Jaibaras, NW do Estado do Ceará. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Pará. Belém . 141 p.
- Runnegar, B, & Fendonkin, M.A. 1992. Proterozoic metazoan body fossils. In: WSCHOP, J. & Klein, C. (eds), *The Proterozoic Biosphere: a Multidisciplinary Study* . Cambridge University Press, Cambridge. 369-388.
- Santos, E.J. & Brito Neves, B.B. 1984. Província Borborema. In: Almeida, F.F.M., Hasui, Y. (eds), *O Pré-cambriano do Brasil*. Edgard Bluncher LTDA. 123-186.
- Santos, M.E.C.M. & Carvalho, M.S.S., 2009. Paleontologia das Bacias Parnaíba, Grajaú e São Luís. Serviço Geológico do Brasil –DGM/DIPALE, Rio de Janeiro, 215p.
- Schobbenhaus, C. & Brito Neves, B. B., 2003. Geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul Americana. In: BIZZI, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J.H. (eds), *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Serviço Geológico do Brasil-CPRM, cap. 1:5-54
- Seilacher, A., 1988. Vendozoa: organismic construction in the Proterozoic biosphere. *Lethaia*. **22**:229-329
- Seilacher, A., 1992. Vendobionta and Psammocolaria: lost constructions of Precambrian evolution. *Journal of the Geological Society*. **149**:607-613.
- Seilacher, A., 1998. Patterns of macroevolution: How to be prepared for extinction. *Earth and planetary Sciences*. **327**: 431-440.
- Teixeira, P.M.S., Cunha, L.L.T., Rocha, L.A.S., Oliveira, P.V., Chaves, A.P.P., Viana, M.S.S., 2007. *Mapa Macro-Paleontológico do Grupo Serra Grande (Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Parnaíba no Ceará)* In: VIII Encontro de Iniciação Científica da Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral-CE, Anais, p. 71.
- Torquato, J. R., 1995. A geologia do Noroeste do Ceará (uma visão histórica). *Revista de Geologia*. **8**:5-183.
- Torquato, J.R. & Nogueira Neto, J.A., 1996. Historiografia da região de dobramentos do Médio Coreá. *Revista Brasileira de Geociências*. **26**:303-314.

- Valentine, J.W., 2002. Prelude to the Cambrian Explosion. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 30:285-306.
- Vaz, P.T., Rezende, N.G.A., Filho, J.R.W., Travassos, W.A.S., 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás.* **15**:253-263.
- Veevers, J.J., 2004. Gondwanaland from 650-500 Ma assembly through 320 Ma mergers in Pangea to 185-100 Ma breakup: supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating. *Earth-Science Reviews.* **68**:1-132.
- Viana, M.S.S., Agostinho, S., Lima-Filho, M.F., Leopoldino, A.A., Cunha, L.L.T., Rocha, L.A.S., 2005. *Considerações icnofaciológicas sobre a Formação Tianguá, Silurianno da Bacia do Parnaíba (Estado do Ceará)*. In: XIX Congresso Brasileiro de Paleontologia, Aracaju-SE, Anais, CD-ROM.
- Viana, M.S.S., Oliveira, P.V., Sousa, M.J.G., Barroso, F.R.G., Vasconcelos, V. A., Melo, R.M., Lima, T.A., Oliveira, G.C., Chaves, A.P.P., 2010. Ocorrências Icnofossilíferas do Grupo Serra Grande (Siluriano da Bacia do Parnaíba), Noroeste do Estado do Ceará. *Revista de Geologia.* **23**: 77-89.
- Waggoner, B., 1998. Interpreting The Ealiest Metazoan Fossils: What Can We Learn? *Amer. Zool.* **38**:975-982.
- Waggoner, B., 2003. The Ediacaran Biotas in space and time. *Integrative and Comparative Biology.* **43**:104-113.
- Walde, D.H.G., 1984. *O Grupo Corumbá comparado a outras pertencentes ao Vendiano*. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, Resumos, p. 56.
- Xavier, S.A.S., Oliveira, G.C., Sousa, M.J.G., Melo, R.M., Lima, T.A. Viana, M.S.S. 2011. *Coleção de Icnofósseis do Museu Dom José, Sobral-CE*. In: XXII Congresso Brasileiro de Paleontologia. Natal-RN, Atas, p. 44-46
- Xiao, S. & Laflamme, M., 2008. On the eve of animal radiation: phylogeny, ecology and evolution of the Ediacara biota. *Trends in Ecology and Evolution.* **24**:31-40.
- Zucatti da Rosa, A.L., 2005. Evidências de vida no Ediacarano Inferior da Bacia do Itajaí, SC. **Dissertação de Mestrado**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo-RS. 56p.