



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:**  
**GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR**

**TESE DE DOUTORADO**

**ARCABOUÇO PALINOESTRATIGRÁFICO E GEOQUÍMICA**  
**ORGÂNICA DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO),**  
**NA BORDA OESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, BRASIL**

**CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE**

SALVADOR

2015

**ARCABOUÇO PALINOESTRATIGRÁFICO E GEOQUÍMICA  
ORGÂNICA DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO),  
NA BORDA OESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, BRASIL**

**Consuelo Lima Navarro de Andrade**

*Orientadora: Profa. Dra. Altair de Jesus Machado*

*Co-orientadora: Profa. Dra. Tereza Regina Machado Cardoso*

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Geologia, Área de Concentração: Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar.

SALVADOR

2015

**CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE**

**ARCABOUÇO PALINOESTRATIGRÁFICO E GEOQUÍMICA  
ORGÂNICA DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO),  
NA BORDA OESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Doutor em Geologia na área de concentração em Geologia Marinha, Costeira e Sedimentar 16/10/2015.

**TESE APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:**

---

**Dra. Altair de Jesus Machado**  
**Orientadora – PPPGG/UFBA**

---

**Dra. Maristela Bagatin Silva**  
**Examinador Externo – CEng/UFPEL**

---

**Dra. Helisângela Acris Borges de Araújo**  
**Examinador Externo – Faculdade Área 1**

---

**Dra. Simone Souza de Moraes**  
**Examinador Externo – IGEO/UFBA**

---

**Dr. Antônio Fernando de Souza Queiroz**  
**Examinador Externo – POSPETRO/UFBA**

Salvador – BA  
2015

*À minha mãe com muito carinho.*



*“Plante seu jardim e decore sua alma, ao invés  
de esperar que alguém lhe traga flores.”*

*“E você aprende que realmente pode suportar,  
que realmente é forte, e que pode ir muito mais  
longe depois de pensar que não se pode mais. E  
que realmente a vida tem valor e que você tem  
valor diante da vida!”*

*William Shakespeare*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço este trabalho a Deus que esteve comigo em todos os momentos desta dura caminhada e que me deu forças e coragem, quando eu pensei que não mais teria. Também a minha mãe, Lúcia, pela força, dedicação e amor. A toda minha família pelo carinho de sempre.

Agradeço à minha orientadora Profa. Altair e à minha co-orientadora e amiga Profa. Tereza, que me acolheu com muito carinho e compaixão.

Agradeço a todos os componentes do NEA/LEPETRO/UFBA que me acolhem desde a iniciação científica, quando então optei pela vida acadêmica. Aos professores desse núcleo que foram também um pouco orientadores e conselheiros durante todos estes anos, em especial à Profa. Olívia Maria, ao Prof. Antônio Fernando, à Karina e ao meu querido co-orientador Prof. Jorge Alberto Trigüis, responsável por apresentar o universo da geoquímica orgânica para todos nós que inciamos esta trajetória.

Um especial agradecimento as instituições parceiras: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na pessoa do Prof. René Rodrigues, à Universidade Federal do Norte Fluminense (UNF), particularmente ao Prof. Hélio Jorge Severiano Ribeiro. À Universidad de Barcelona (UB) e ao meu tutor de Doutorado Sandúche, Prof. Albert Permanyer e ao Instituto Nacional del Carbón (INCAR/Olviado-España), também a Dra. Isabel Suarez Ruíz.

Agradeço ainda a PETROBRAS, unidade UO-SEAL, pela permissão de uso de suas instalações e microscópios.

A CAPES pela bolsa de doutorado concedida.

A BG Brasil- apoiadora financeira, por financiar o projeto GEOQPETROL, no qual esta tese está inserida.

Minha gratidão a todos os colegas do Programa de Pós-graduação em Geologia e do POSPETRO, que participaram direta ou indiretamente deste processo, ao Rafael Regueira, estudante de Iniciação Científica do Projeto GEOQPETROL, pelo auxílio.

Aos meus amigos que compartilham comigo importantes momentos da minha vida e que por isso fazem parte dela.

Finalmente a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta tese que se constitui um marco na minha realização profissional.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o paleoambiente deposicional e o arcabouço bioestratigráfico de folhelhos da Formação Pimenteiras (Devoniano), na borda oeste da Bacia do Parnaíba, através da geoquímica orgânica e do conteúdo palinológico. A amostragem foi efetuada em duas etapas. Na primeira delas foram coletadas 28 amostras em 7 afloramentos da Formação Pimenteiras, no Estado do Tocantins. Em um segundo momento um, dentre os afloramentos mapeados inicialmente, foi selecionado para uma coleta sistemática, com espaçamento vertical metro a metro. Em todas as amostras avaliou-se o conteúdo orgânico (querogênio) por microscopia e parâmetros geoquímicos. O Carbono Orgânico Total (COT) foi mensurado por extração da fração carbonatos e determinação por LECO Elemental Analyzer SC-444. Os Índices de Hidrogênio (IH) e de Oxigênio (IO), os picos S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub> e a temperatura máxima da pirólise (T<sub>máx</sub>) foram mensurados em Pirolisador Rock-Eval. A reflectância da vitrinita (% Ro) foi medida por meio da análise em microscópio Leica DM6000 M com luz refletida e padrões para vitrinita (0,5%). Para a classificação palinológica foram montadas lâminas organopalinológicas que foram analisadas em microscopia óptica sob luz branca transmitida e sob o modo fluorescência com objetivo de proceder à análise de palinofácies e bioestratigrafia da sequência estudada. Nas amostras com detalhamento sistemático realizou-se uma análise quantitativa e qualitativa dos componentes palinofaciológicos, a partir da contagem de 300 partículas e identificação dos componentes principais da matéria orgânica (fitoclastos, palinomorfos e matéria orgânica amorfa), em suas proporções relativas e subgrupos (ex.: fitoclastos opacos e não opacos, cutículas, acritarcos, esporos, prasinófitas etc.). Em todas as amostras a matéria orgânica apresentou bom grau de preservação e fluorescência. O maior número possível de táxons de acritarcos, prasinófitas (ou ficomatas) e miósporos foram identificados e classificados bem como algumas espécies de quitinozoários. Os resultados de Carbono Orgânico Total (COT) para a maioria das amostras variam entre 2 e 4%, o que é considerado como muito bom para rochas geradoras. Por outro lado, a maioria das amostras possuem de baixos a regulares valores de S<sub>2</sub> (entre 0.18 e 5,33mg/g) o que indica baixo potencial de geração. O querogênio foi classificado como uma mistura entre os tipos II e III. O T<sub>max</sub> varia de 405 a 435°C, o ICE entre 4,0 e 4,5 e a reflectância da vitrinita (%Ro) entre 0,4 e 0,5%, indicando o estágio de diagênese, e, portanto, determinando as amostras avaliadas, como imaturas. Foi possível definir o arcabouço palinoestratigráfico com base em miósporos, acritarcos, ficomatas e quitinozoários e inferir para os afloramentos estudados o intervalo cronoestratigráfico correspondente ao Neoeifeliano - Eofameniano. Entre os constituintes da matéria orgânica os palinomorfos foram os mais abundantes. Quando consideradas as proporções relativas entre os grupos de palinomorfos identificados, o grupo de esporomorfos foi o predominante nas amostras do Devoniano Médio, indicando uma maior contribuição da matéria orgânica continental neste período, com influência deltaica. No entanto, nas amostras do Neodevoniano foi observado um aumento do paleofitoplâncton, com dominância de acritarcos e ficomatas (prasinófitas), indicando aumento do nível do mar e a superfície de inundação máxima.

Palavras-chave: Palinologia. Palinofácies. Geoquímica orgânica. Formação Pimenteiras. Devoniano.

## ABSTRACT

The aim of this study was to characterize and describe the depositional paleoenvironment and biostratigraphic framework of pelites pimenteiras formation (Devonian), on the western edge of the parnaíba basin, through the organic geochemical and palynological content. Sampling carried out in two steps. The first had an exploratory end and held together with the teacher Hélio Jorge Severiano Ribeiro (UENF), in a project funded by FAPERJ. At this stage, it was collected 28 samples in seven outcrops of Pimenteiras Formation in the state of Tocantins. In a second step one, among outcrops explored initially, it selected for a systematic collection, with vertical variation of meter-by-meter. In all samples evaluated the organic content (kerogen) by microscopy and geochemical parameters. The Total Organic Carbon (TOC) measured by extraction of the carbonate fraction and determination by LECO Elemental Analyzer SC-444. The hydrogen (HI) and Oxygen (IO) indices, the peaks S1 and S2 and the maximum temperature of pyrolysis (Tmax) measured in Pyrolyzer of Rock-Eval. The vitrinite reflectance (% Ro) was measured by analysis on microscope Leica DM6000 M with light reflected and patterns for vitrinite. For palynological classification, organic palinological slides were mounted and analyzed in light microscopy under white light and fluorescence mode in order to carry out palynofacies analysis and biostratigraphy of the studied sequence. In the samples with systematic detailed carried out a qualitative and quantitative analysis of palinofaciológicos components from the 300 particle counting and identification of the main components of the organic matter (phytoclads, palinomorfs and amorphous organic matter) in their relative proportions and subgroups (eg.: opaque and non-opaque phytoclads, cuticles, acritarchs, spores, prasinophytes, etc.). The organic matter has the good degree of preservation and fluorescence. The greatest number of taxa of acritarchs, prasinophytes (or phycornates) and miospores were identified and classified, and, in addition, it was possible to identify some species of chitinozoans. Results Total Organic Carbon (TOC), for most samples, ranging between 2 and 4%, which considered very good for source rocks. On the other hand, most of the samples have values low to regular S<sub>2</sub> (between 0.18 and 5.33mg/g) which indicates low potential generation. The kerogen classified as a mix between types II and III. The Tmax ranging from 405 to 435°C, ICE between 4.0 and 4.5 and the vitrinite reflectance (% Ro) between 4 and 5%, indicating the diagenesis stage, and therefore the immaturity of the samples. Could set palynostratigraphic framework based on miospores, acritarchs, phycornates and chitinozoans and infer for to the outcrops studied the chronostratigraphic range that corresponds to the Late Eilefian - Early Famennian Among the constituents of the organic matter, the palinomorfs were the most abundant. When considering the relative proportions between the identified palinomorfnous groups, the sporomorfn group was predominant in the Middle Devonian samples, indicating a greater contribution of organic matter continental in this period, with deltaic influence. However, in the Late Devonian samples observed an increase of the microplankton with acritarchs and ficornatas (prasinófitas) in dominance, indicating rising sea level and the surface of maximum flood.

Keywords: Palynology. Palynofacies. Organic Geochemistry. Pimenteiras Formation. Devonian.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL .....	10
CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1: EXPLORATION OF THE GEOCHEMISTRY AND PALYNOLOGY OF THE WEST EDGE OF THE PIMENTEIRAS FORMATION (DEVONIAN), PARNAÍBA BASIN, BRAZIL ..	22
CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2: ARCABOUÇO BIOESTRATIGRÁFICO DE PELITOS DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO), BACIA DO PARNAÍBA, TOCANTINS, BRASIL .....	49
CAPÍTULO 4 – ARTIGO 3: ORGANIC FACIES AND PALYNOLOGY FROM THE MIDDLE TO LATE DEVONIAN OF THE PIMENTEIRAS FORMATION, PARNAIBA BASIN, BRAZIL .....	93
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES .....	130
APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES .....	132
APÊNDICE B – FICHA DE CONTAGEM DE PALINOFÁCIES .....	133
ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA <i>BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY</i> ..	134
ANEXO B – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA .....	139
ANEXO C – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA <i>MARINE MICROPALAEONTOLOGY</i> .....	142
ANEXO D – CARTA DE SUBMISSÃO A REVISTA BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA .....	154
ANEXO E – CARTA DE SUBMISSÃO A REVISTA <i>MARINE MICROPALAEONTOLOGY</i> .....	155

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

---

A caracterização de rochas geradoras de hidrocarbonetos é uma ferramenta essencial para a avaliação dos riscos exploratórios, uma vez que a ocorrência de intervalos ricos em matéria orgânica é um pré-requisito básico para formação de acumulações de óleo ou gás (Menezes *et al.*, 2008). De acordo com Huc (1990), o estudo das rochas geradoras e a distribuição das fácies orgânicas associadas a elas, gera uma estratégica avaliação de bacias sedimentares com potencial petrolífero.

O estudo da matéria orgânica contida nos sedimentos e nas rochas sedimentares relaciona uma interação entre a biosfera e geosfera. Uma avaliação adequada da questão exige uma compreensão dos controles ambientais que regem a produção de matéria orgânica na biosfera, dos processos ecológicos e sedimentológicos que controlam a sua deposição e distribuição, de fatores biogeoquímicos e microbiológicos que influenciam a preservação e os processos geoquímicos e físicos que determinam a sua modificação durante sua incorporação na geosfera (Tyson, 1995). Esses fatores resultam em uma complexa inter-relação entre a origem, transporte e deposição de partículas orgânicas (Traverse, 1994).

Para o estudo da matéria orgânica, as associações entre técnicas de microscopia e geoquímica orgânica é ferramenta amplamente utilizada e o conhecimento integrado com outras áreas das ciências, tais como sedimentologia, estratigrafia, paleontologia, etc, se faz necessário. As informações biocronoestratigráficas e os dados paleoecológicos dos grupos componentes da matéria orgânica complementam esses estudos.

Porém, os estudos palinológicos em rochas potencialmente geradoras de hidrocarbonetos geralmente apresentam ou um enfoque bioestratigráfico ou paleoambiental. São poucos os trabalhos que apresentam uma integração dessas informações.

A Palinologia, enquanto área científica que se ocupa do estudo de microestruturas e microrganismos fósseis ou contemporâneos, de paredes orgânicas quimicamente resistentes, possui uma relação muito próxima com uma outra área científica, a Sistemática (Traverse, 1996; Brown, 2008).

Bioestratigrafia é a organização sistemática dos estratos de rochas em unidades nomeadas com base no conteúdo e distribuição dos fósseis (Hedberg, 1976 *apud* Cristopher & Goodman, 2002). A classificação bioestratigráfica tem como unidade fundamental a zona que é um pacote de rocha definido ou caracterizado por seu conteúdo fóssil (NASCN, 1983). Genericamente os palinomorfos são microfósseis compostos exclusivamente por matéria orgânica não mineralizada. Em uma investigação palinológica além de pólenes, esporos e matéria orgânica de natureza diversa, são também reconhecidos acritarcos, quitinozoários, cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos, escolecodontes, entre outros (Antunes & Melo, 2001).

Do ponto de vista do registo fóssil parece que os acritarcos e as algas prasinófitas formaram a maior parte do plâncton marinho do Paleozóico (Mullins *et al.*, 2004). Dada a abundância destes grupos é possível utilizar o biozoneamento feito com miósporos calibrados com algumas zonas-associações de acritarcos, ficomasas e quitinozoários para se estabelecer ranges estratigráficos no Paleozóico.

De acordo com Le Hérisse *et al.* (2000), o potencial bioestratigráfico dos acritarcos e prasinófitas em rochas do Devoniano tem sido amplamente reconhecido. Os autores destacam algumas espécies do Devoniano e seus potenciais na bioestratigrafia.

Por ser uma análise interdisciplinar, o estudo das palinofácies de rochas ricas em matéria orgânica associa palinologia, sedimentologia e geoquímica orgânica. Esta ferramenta avalia de maneira qualitativa e quantitativa todos os componentes da matéria orgânica, o que possibilita a caracterização do paleoambiente deposicional das partículas sedimentares.

Assim, a interpretação das palinofácies em conjunto com as informações geoquímicas permitem caracterizar, de maneira mais completa, a matéria orgânica geradora de hidrocarbonetos.

A Bacia do Parnaíba, antes conhecida como Bacia do “Maranhão” ou “Piauí-Maranhão”, está situada na região nordeste ocidental e norte do Brasil (Figura 1). Constitui uma das maiores bacias sedimentares brasileiras, possui uma área de 600.000 km<sup>2</sup>, abrangendo os estados do Piauí e Maranhão quase em sua totalidade, e em parte os estados de Tocantins, Pará, Ceará e Bahia (Vaz *et al.*, 2007). Entretanto, trata-se de uma bacia de nova fronteira ainda pouco explorada.

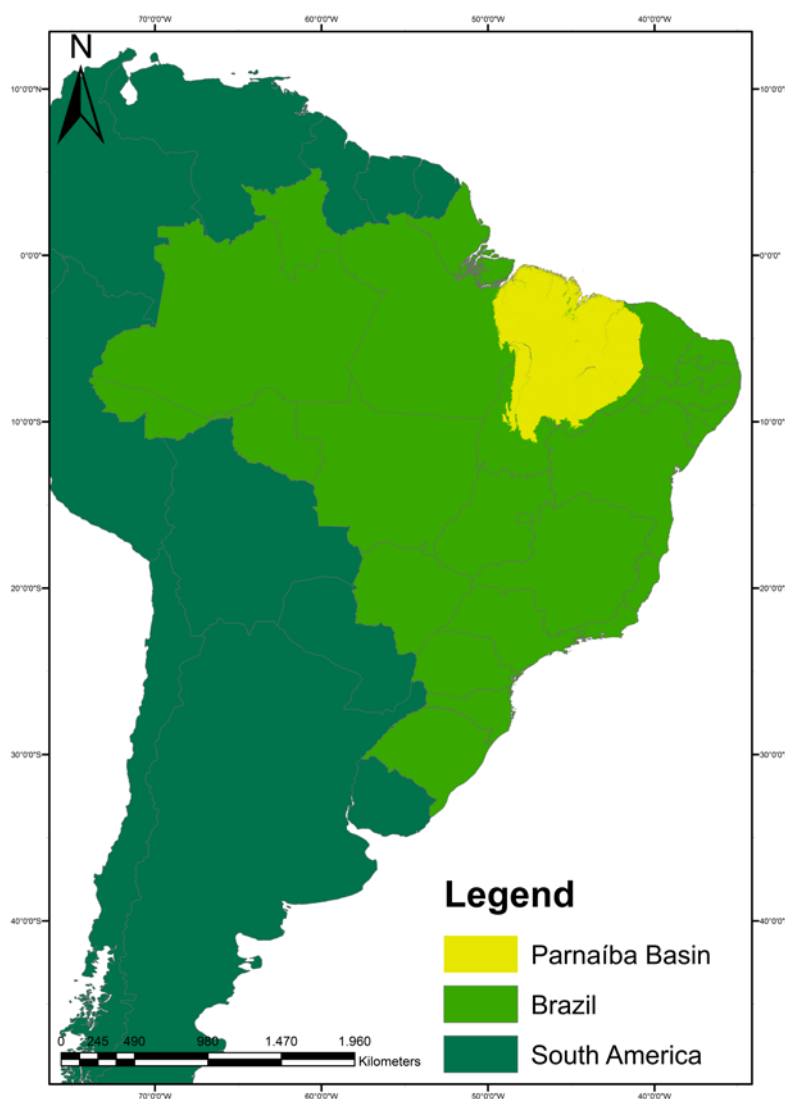


Figura 1: Localização geográfica da Bacia do Parnaíba, Brasil.



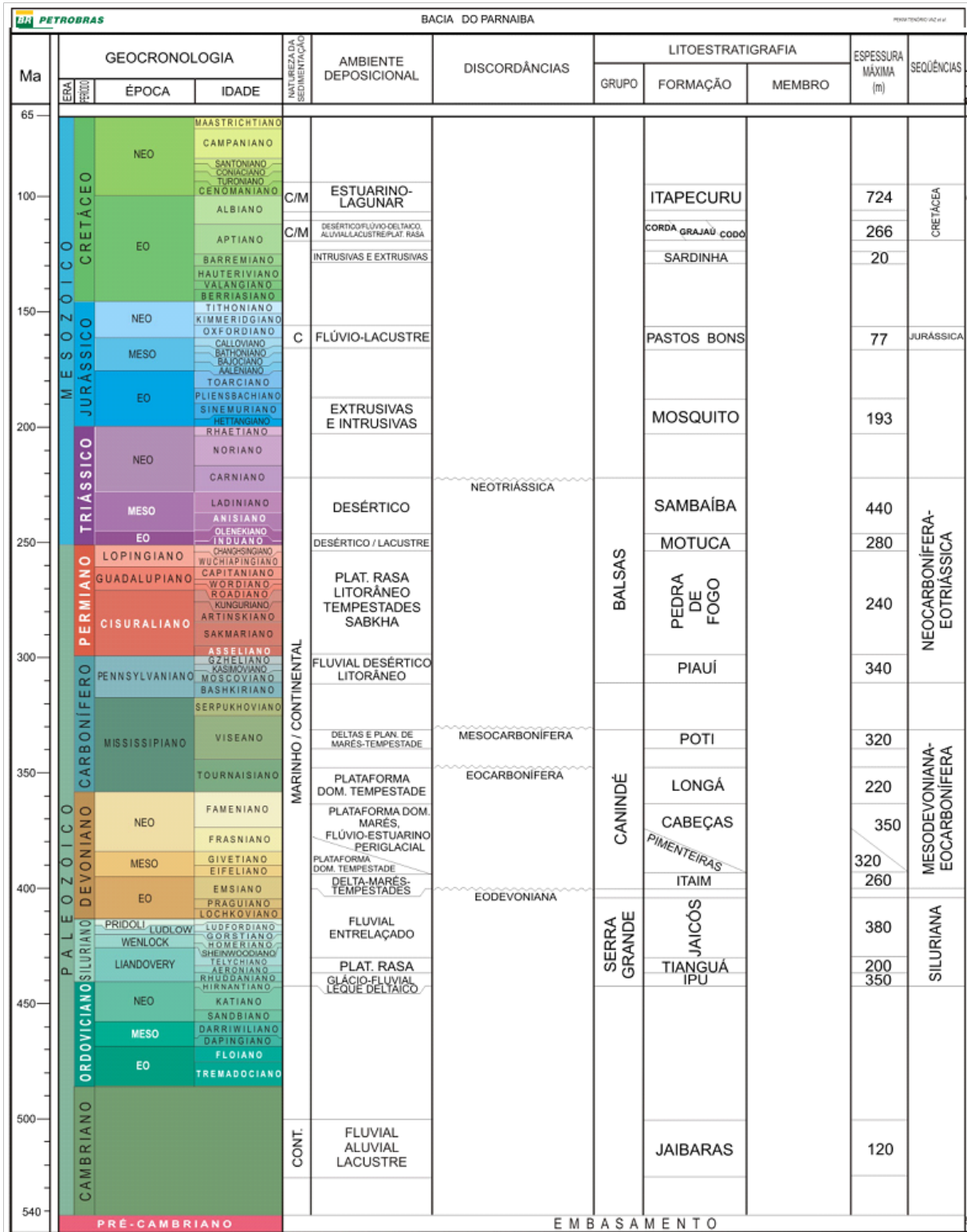
A Bacia do Parnaíba é considerada caracteristicamente Paleozoica e seu pacote sedimentar é dividido em cinco seqüências: Siluriano, Devoniano, Carbonífero-Triássico, Jurássico e Cretáceo (Figura 2). A seqüência devoniana corresponde ao Grupo Canindé, que consiste nas Formações: Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá. Esta seqüência inclui um trato de mar baixo (Formação Itaim) (Rodrigues, 1995), um trato de sistemas transgressivos (parte inferior da Formação Pimenteiras) e um trato de mar profundo (topo da Formação Pimenteiras) (Della Fávera, 1990).

Parnaíba faz parte do grupo de bacias intracratônicas brasileiras e desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o estágio de estabilização da Plataforma Sul-Americana. Por correlação com os litotipos existentes nas faixas de dobramentos, maciços medianos e outras entidades complexas situadas nas bordas ou proximidades da Bacia do Parnaíba, deduz-se que o substrato dessa bacia é constituído de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, cujas idades abrangem um longo intervalo do Arqueano ao Ordoviciano; porém, possivelmente predominem rochas formadas entre o final do Proterozoico e o início do Paleozoico, que corresponde ao tempo de consolidação dessa plataforma (Vaz *et al.*, 2007).

A origem ou subsidência inicial da Bacia do Parnaíba provavelmente está ligada às deformações e eventos térmicos fini e pós-orogênicos do Ciclo Brasileiro ou ao Estágio de Transição da plataforma. No depocentro, a região de maior acúmulo de sedimentos, a espessura total de suas rochas atinge cerca de 3.500 metros (Milani *et al.*, 2007; Vaz *et al.*, 2007).

A Formação Pimenteiras é a principal geradora da bacia e tem sido estudada desde a década de 1910 de maneira descontínua e isolada, em contextos diferentes (paleontológicos, sedimentológicos, estratigráficos e hidrológicos) e sabe-se que esta apresenta excelentes

afloramentos com folhelhos radioativos ricos em matéria orgânica (Rodrigues, 1995; Vaz et al., 2007).



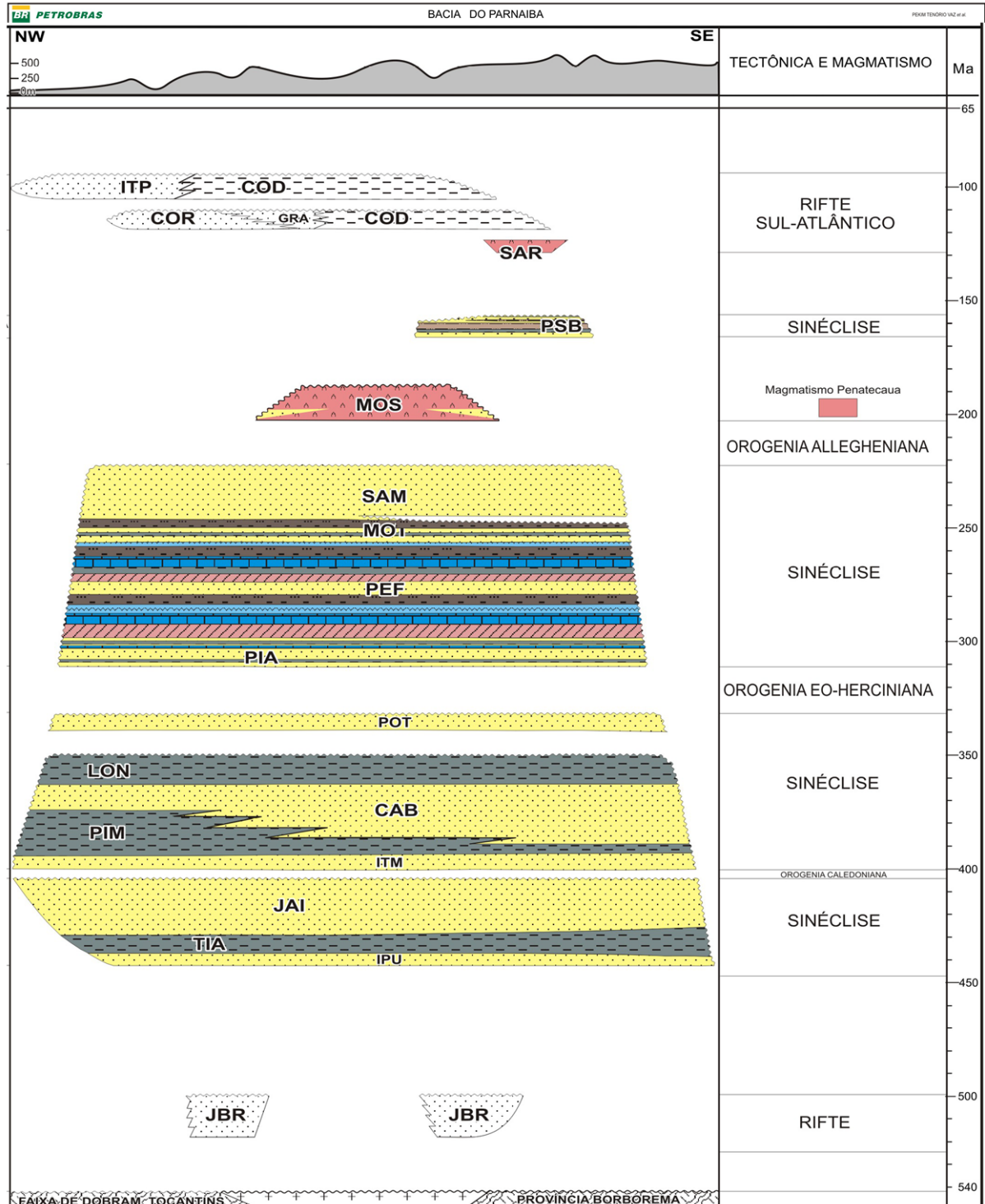


Figura 2 (continuação): Coluna estratigráfica da Bacia do Parnaíba (Vaz et al., 2007).

Pimenteiras consiste em seções espessas de folhelhos cinza escuro e intercalações de granulação médio a fina de arenitos geralmente exibindo estratificação cruzada hummocky. Corpos de arenito individuais têm formas lenticulares mais comumente amalgamados para formar mais espessos e mais complexos tabulares de estratos. Os arenitos são mais desenvolvidos no Devoniano Médio, parte mais antiga da formação, mas tendem a se diluir para fora e até mesmo desaparecer nos pontos mais elevados, que se tornam mais ricos em folhelhos escuros finamente laminado (Loboziak *et al.*, 2000). Isso provavelmente reflete a configuração marinha mais profunda que, de acordo com Rodrigues *et al.* (1995), tornou-se comum na bacia durante o Frasniano.

Santos & Carvalho (2009) destacam que na Bacia do Parnaíba o ciclo transgressivo/regressivo de idades eifeliana e eogivetiana é o principal portador de ocorrências fossilíferas. Este ciclo compreende a Formação Itaim, a parte basal e média da Formação Pimenteira e a parte basal da Formação Cabeças. No topo das formações Pimenteiras e Cabeças ocorre nova transgressão no Neofrasniano-Eofameniano. Nesta idade, a superfície de inundação máxima na Formação Pimenteiras apresenta alto teor de carbono orgânico, indicado na perfilagem de raios-gama, pelos conspícuos picos radioativos e por um vasto levantamento geoquímico feito por Rodrigues (1995). De acordo com Loboziak *et al.* (1994a, b) a Formação Pimenteiras foi depositada principalmente em ambiente marinho raso do final do Eifeliano para, possivelmente, o início do Fameniano, sob a eventual influência das ondas de tempestade (tempestitos, após Della Favera, 1990).

Assim, o objetivo geral deste estudo é analisar o paleoambiente deposicional e o arcabouço bioestratigráfico de folhelhos da Formação Pimenteiras (Devoniano), na borda oeste da Bacia do Parnaíba, através da geoquímica orgânica e do conteúdo palinológico. Os objetivos específicos são:

- Identificar e classificar os táxons de palinomorfos encontrados nas amostras estudadas;

- Discutir a bioestratigrafia dos grupos de palinonormos, a fim de se obter um refinamento bioestratigráfico da sequência devoniana estudada;
- Determinar as palinofácies através da análise quantitativa do conteúdo orgânico da Formação Pimenteiras na borda oeste da Bacia do Parnaíba;
- Determinar os ambientes e sub-ambientes de sedimentação através das palinofácies definidas na sequência devoniana estudada;
- Determinar o tipo da matéria orgânica (querogênio) presente e o grau de maturação atingida por esta;
- Avaliar o potencial petrolífero e a qualidade dessas fácies como potenciais rochas geradoras de hidrocarbonetos.

Para isto foram selecionados alguns afloramentos na borda oeste da Formação Pimenteiras, no Estado do Tocantins, como discutido nos capítulos de 2 a 4. A figura 3 ilustra a localização geográfica geral de todas amostras coletadas que foram utilizadas nas discussões apresentadas nos capítulos seguintes.

A área oeste da Bacia do Parnaíba se encontra em franco estágio de desenvolvimento demográfico, o que representa a abertura de muitas estradas, facilitando o aparecimento de muitos afloramentos, sobretudo no Estado do Tocantins. Essa área da bacia foi muito pouco estudada até o momento, sobretudo no âmbito geoquímico e palinoestratigráfico, e, levando-se em consideração que esta pode ou não ser uma continuidade da área leste mais estudada, é de grande importância sua investigação e detalhamento.

Diante do exposto, o presente trabalho contribuirá para um melhor conhecimento no tocante ao refinamento das idades conferidas à Formação Pimenteiras, bem como na reconstrução



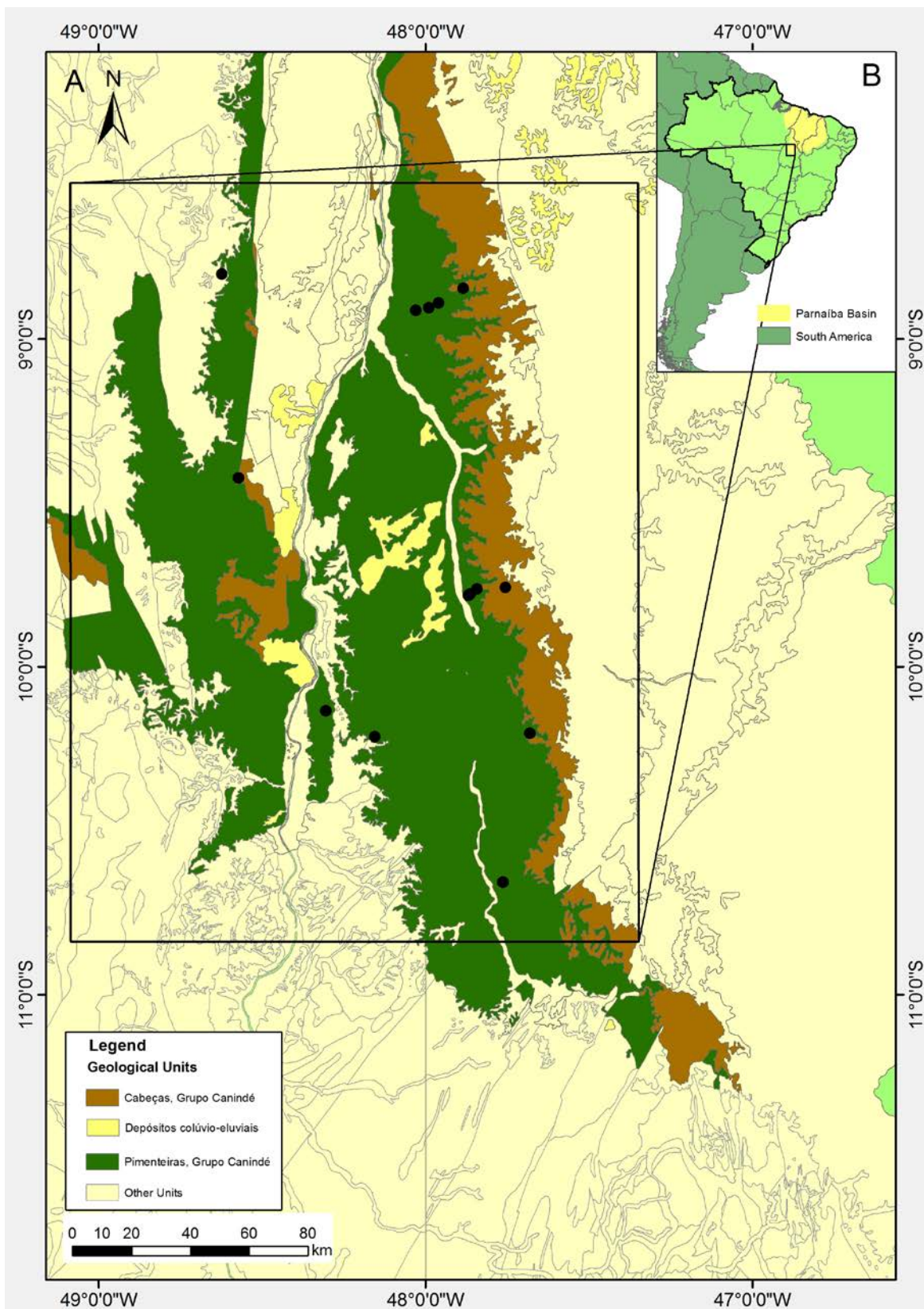


Figura 3: Mapa de localização das amostras coletadas da Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba, TO, Brasil. A- Mapa geológico do Estado do Tocantins com destaque para a localização dos afloramentos estudados. B- Mapa de localização da Bacia do Parnaíba e da área de estudo no continente Sul-Americano.

paleoambiental da sequência deposicional na borda oeste da bacia em foco. Os dados deste estudo certamente irão acrescentar novas informações para a caracterização da matéria orgânica desta formação, na borda oeste da Bacia do Parnaíba, tendo em vista a escassez de materiais científicos publicados a esse respeito, além da necessidade de integração com os dados da porção leste da bacia.

Este trabalho culminou na elaboração de três artigos científicos apresentados nos capítulos II, III e IV desta Tese.

O primeiro deles intitulado de “EXPLORATION OF THE GEOCHEMISTRY AND PALYNOLOGY OF THE WEST EDGE OF THE PIMENTEIRAS FORMATION (DEVONIAN), PARNAÍBA BASIN, BRAZIL” será submetido a revista *Brazilian Journal of Geology*, que possui qualis B2, para Geociências, pelo Sistema Qualis Capes.

O trabalho que compõem o capítulo III: “ARCABOUÇO BIOESTRATIGRÁFICO DE PELITOS DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO), BACIA DO PARNAÍBA, TOCANTINS, BRASIL”, foi submetido a Revista Brasileira de Paleontologia, também com qualis B2 para Geociências.

O terceiro trabalho elaborado (Capítulo IV): “ORGANIC FACIES AND PALINOLOGY FROM THE MIDDLE TO LATE DEVONIAN OF THE PIMENTEIRAS FORMATION, PARNAIBA BASIN, BRAZIL”, foi submetido a revista *Marine Micropaleontology* com qualis A2 para Geociências.

As normas das respectivas revistas constam nos anexos A, B e C e as cartas/e-mails de submissão nas duas últimas revistas nos anexos D e E.

## **Referências**

Antunes, R.L., Melo, J.H.G., 2001. Micropaleontologia e estratigrafia de seqüências. In.: H.J.P.S. Ribeiro (Eds), Estratigrafia de seqüências: fundamentos e aplicações, Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, pp.137-218.

Brown C., 2008. Palynological techniques. James Riding (U.K.) and Sophie Warny (LSU) (Eds), AASP Special Publications, 137p.

- Christopher, R.A., Goodman, D.K., 1996. In: Introduction to biostratigraphy and time scales. In: J. Jansonius J & D. C. Mcgregor (Eds) Palynology: principles and applications. Dallas, Am Assoc Stratigr Palynol Found 2, pp.463-492.
- Della Fávera, J.C., 1990. Tempestitos da bacia do Parnaíba: um ensaio holístico. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ph.D. Thesis, 243p.
- Huc A.Y., 1990. Understanding Organic Facies: A Key to Improved Quantitative Petroleum Evaluation of Sedimentary Basins. In: Huc, A.Y. (Eds), Deposition of Organic Facies. Oklahoma, AAPG Studies in Geology 30, pp. 1-11.
- Le Hérisse, A., 2000. Characteristics of the Acritarch recovery in the Early Silurian of Saudi Arabia. *GeoArabia special volume*, 57-81.
- Loboziak, S., Streel, M., Caputo, M.V., Melo, J.H.G., 1992. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospore stratigraphy in the central Parnaíba Basin (Brazil). *Annales de la Société Géologique de Belgique* 115, 215-226.
- Loboziak, S., Streel, M., Caputo, M.V., Melo, J.H.G., 1993. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospores from selected boreholes in Amazonas and Parnaíba basins (Brazil): additional data, synthesis, and correlation. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon* 125, 277-289.
- Loboziak, S., Melo, J.H.G., Quadros, L.P., Daemon, R.F., Barrilari, I.M.R., 1994a. Biocronostratigrafia dos palinomorfos do Devoniano Médio-Carbonífero Inferior das Bacias do Solimões e Parnaíba: Estado da Arte. In: 2º SINTEX SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA, 1994. Atas, Rio de Janeiro, Petrobrás, pp. 51-56.
- Loboziak, S., Melo, J.H.G., Quadros, L.P., Daemon, R.F., Barrilari, I.M.R., Streel, M., 1994b. Devonian -Dinantian miospore biostratigraphy of the Solimões and Parnaíba Basins (with considerations on the Devonian of the Paraná Basin). Petrobras/Cenpes, Rio de Janeiro 2 vols.
- Loboziak, S., Caputo, M.V., Melo, J.H.G., 2000. Middle Devonian –Tournaisian miospore biostratigraphy in the southwestern outcrop belt of the Parnaíba Basin, north-central Brazil. *Révue de Micropaléontologie* 43, 301-318.
- Menezes, T. R., Mendonça-Filho, J.G., Araújo, C. V., Souza, I. V. A. F. de, Mendonça, J. de O., 2008. Fácies orgânica: conceitos, métodos e estudos de casos na indústria do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências* 38 (2 - suplemento), 80-96.
- Milani, E.J., Melo, J.H.G, Souza, P.A, Fernandes, L.A., França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. In: E. J. Milani, H.D. Rangel, G.V. Bueno, J.M. Stica, W.R. Winter, J.M. Caixeta, O.C. Pessoa Neto (Eds). *Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas*. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro 15 (2), p.265-287.
- Mullins, G.L., Richard J.A., David J. S., 2004. Microplankton associations, biofacies and palaeoenvironment of the type lower Ludlow Series, Silurian. *Review of Palaeobotany and Palynology* 130:163–194.
- N.A.C.S.N. (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature), 1983. North American Stratigraphic Code. *AAPG Bull* 67(5), 841-75.
- Rodrigues, R. A., 1995. Geoquímica orgânica na bacia do Parnaíba. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ph.D. Thesis, 225p.



Santos, M. E. C. M., Carvalho M. S. S., 2009. Paleontologia das Bacias Parnaíba, Grajaú e São Luiz, 2º ed., CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 212p.

Traverse, A., 1994. Sedimentation of Organic Particles. Cambridge University Press. 647p.

Traverse, A., 1996. Nomenclature and taxonomy: Systematics. In: Jansonius, J., McGregor, D.C. (Eds), Palynology: Principles and Applications, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation 1, pp. 13-28.

Tyson, R.V., 1995. Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies. Chapman & Hall, Londres, 615 p.

Vaz, P.T., Rezende, N.G.A.M., Wanderley Filho, J.R., Travassos, W.A.S., 2007. Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobrás 15(2), 253-263.

# **CAPÍTULO 2 – ARTIGO 1: EXPLORATION OF THE GEOCHEMISTRY AND PALYNOLOGY OF THE WEST EDGE OF THE PIMENTEIRAS FORMATION (DEVONIAN), PARNAÍBA BASIN, BRAZIL**

---

## **EXPLORATION OF THE PIMENTEIRAS FORMATION**

### **CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE**

Author for correspondence. Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/NEA). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA). Address: Avenida Orlando Gomes, n. 382, A, 11, Salvador, Bahia, Brazil – Postal Code: 41650010 - consul\_navarro@hotmail.com

### **TEREZA REGINA MACHADO CARDOSO**

Departamento de Estratigrafia e Paleontologia (DEPA), Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.  
terezaregina@gmail.com

### **RAFAEL REGUEIRA SANTOS**

Address: Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/NEA). Instituto de Geociências, Universidade (UFBA) - rafael.regueira.santos@hotmail.com

### **ALTAIR DE JESUS MACHADO**

Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA) - altair@ufba.br

**ABSTRACT:** This study aimed to characterize the organic matter, record the occurrence of palynomorphs and discuss the biochronostratigraphic implications of the identified taxa in the outcrops on the western edge of the Pimenteiras Formation. To do so, 28 samples of pelites were collected from outcrops in the state of Tocantins. For palynological classification, kerogen slides were mounted and analyzed using optical microscopy under white light and fluorescence. The organic matter exhibited a good degree of preservation and fluorescence. The greatest number of taxa of acritarchs and phycornates were identified and classified; moreover, it was possible to identify some species of chitinozoans. Palynological classification allowed for dating of the outcrops for the studied chronostratigraphic range, which corresponded to the Late Eifelian - Early Famennian. The total organic carbon (TOC)

results for most of the samples varied between 2 and 4%, and one of the outcrops reached more than 5%, which is considered very good for sedimentary rocks.

However, most of the samples had low values of S<sub>2</sub> (ranging between 0 and 2.5 mg HC / g rock), which suggests low potential generation. The HI ranged from 16 to 278 mg HC / g TOC, and IO, from 10 to 170 mg CO<sub>2</sub> / g rock, and kerogen was classified as a mixture of types II/III and III. However, the T<sub>max</sub> values ranged from 405 to 431°C, and the reflectance of the vitrinite (% R<sub>o</sub>), between 0,4% and 0,5%, indicating the immaturity of all evaluated rocks.

**Keywords:** palynomorphs; Devonian; potential source rocks of hydrocarbons.

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo caracterizar a matéria orgânica, registrar a ocorrência de palinórfos e discutir as implicações biocronostratigráficas dos táxons identificados em afloramentos na borda ocidental da Formação Pimenteiras. Para isto foram coletadas 28 amostras de pelitos em afloramentos no Estado do Tocantins. Para a classificação palinológica foram montadas lâminas organopalinológicas que foram analisadas em microscopia óptica sob luz branca e sob o modo fluorescência. A matéria orgânica apresentou bom grau de preservação e fluorescência. O maior número possível de táxons de acritarcos e prasinofitas (ou ficomasas) foram identificados e classificados, e, em adição, foi possível identificar algumas espécies de quitinozoários. A classificação palinológica permitiu inferir para os afloramentos estudados o intervalo cronoestratigráfico que correspondente ao Neoeleifiano - Eofameniano. Os resultados de Carbono Orgânico Total (COT) para a maioria das amostras varia entre 2 e 4%, e em um dos afloramentos atinge mais de 5%, o que é considerado como muito bom para rochas geradoras. Por outro lado, a maioria das amostras possuem baixos valores de S<sub>2</sub> (variando entre 0 e 2.5 mg HC / g rocha), o que indica baixo potencial de geração. O IH variou de 16 a 278 mg HC/g COT e o IO de 10 a 170 mg CO<sub>2</sub>/g rocha e o querogênio foi classificado como uma mistura entre os tipos II/III e III. Os valores

de T máx, variando de 405 a 431°C, e a reflectância da vitrinite (%Ro) entre 0,4 e 0,5% indicam, entretanto, a imaturidade de todas as rochas avaliadas.

**Palavras-chave:** palinomorfos; Devoniano; rochas potencialmente geradoras de hidrocarbonetos.

## 1. INTRODUCTION

The characterization of hydrocarbon source rocks is an essential tool for the evaluation of exploration risks because the occurrence of intervals rich in organic matter is a prerequisite for the formation of oil or gas accumulations. The use and interpretation of organic geochemistry data constitutes one of the most important steps for successful petroleum exploration. These data make it possible to position in time and space the occurrence of a particular facie potentially generating hydrocarbons (Menezes *et al.* 2008).

Biostratigraphy is a widely used tool for dating source rocks for hydrocarbons, and the interpretation of biochronostratigraphic implications is often critical to the characterization of these rocks. From the point of view of the fossil record, it seems that acritarchs and prasinophytes formed the bulk of Paleozoic marine plankton (Mullins *et al.* 2004). According to Le Hérissé *et al.* (2000), the biostratigraphic potential of the acritarchs and prasinophytes of Devonian rocks has been widely recognized.

The Parnaíba Basin is considered characteristically Paleozoic, and the sedimentary package is divided into five sequences as follows: Silurian, Devonian, Carboniferous-Triassic, Jurassic and Cretaceous. The Devonian sequence corresponds to the Canindé Group, which consists of the following formations: Itaim Pimenteiras, Cabeças and Longá. This sequence includes a low sea tract (Itaim Formation) (Rodrigues 1995), a tract of transgressive systems (bottom of Formation Pimenteiras) and a deep-sea tract (top of Formation Pimenteiras) (Della Favera 1990).

The Pimenteiras Formation was mainly deposited in the shallow marine environment of the late Eifelian, possibly at the beginning of the Famennian (Loboziak *et al.*, 1994a, b) under the possible influence of storm waves (tempestites after Della Favera, 1990).

Pimenteiras is the main generator of the Basin and has been studied since the 1910s in a discontinuous and isolated manner in different contexts (paleontological, sedimentological, stratigraphic and hydrologic); it is known that it has excellent outcrops with radioactive shales rich in organic matter (Vaz *et al.* 2007).

The first palynostratigraphic study in the Parnaíba Basin is credited to Müller (1962). After this work, several other authors investigated the palynology this basin, especially Brito & Santos (1965), Brito (1965; 1967; 1968; 1971; 1976), Carozzi *et al.* (1975), Daemon (1976) Quadros (1982), Brito & Quadros (1984; 1985), Grahn (1992) and Loboziak *et al.* (1992). Loboziak *et al.* (2000) conducted a biostratigraphic study of miospores from the Middle Devonian to the Tournasian in the western edge of the Parnaíba Basin. In the cited work, the authors established the age of the studied outcrops on the western edge of the Pimenteiras Formation as ranging from the Givetian - Frasnian.

However, despite its excellent exposure, the Parnaíba Basin is one of the lesser-known Brazilian Paleozoic basins from a geological point of view. The western edge of the basin is in a sharp demographic development stage, which represents the opening of many roads, facilitating the appearance of many outcrops, particularly in the state of Tocantins. Thus, taking into account that this may or may not be a continuation of the most studied east area is of great importance for its research and detailing.

The objective of this study was to record the occurrence of palynomorphs and the biostratigraphic implications of the associations between them and to characterize the potential of probable source rocks for hydrocarbons in outcrops on the western edge of the Pimenteiras Formation (Devonian), the Parnaíba Basin, Brazil.

## **Geological setting**

The Parnaíba Basin is one of the largest sedimentary basins, covering more than 600.000 km<sup>2</sup>, including almost the entire states of Piauí and Maranhão and parts of the states of Tocantins, Pará, Ceará and Bahia (Vaz *et al.* 2007). Parnaíba is part of the group of Brazilian intracratonic basins, which developed on a continental basis during the stabilization stage of the South American Platform.

Two depositional axes had strong influence on the tectonic-depositional cycle Serra Grande Group (Silurian) and Caninde Group (Devonian). These depositional axes are oriented NE-SW and NE-SE and coincide with the directions of the Transbrasiliiano and Picos-Santa Ines lineaments (Cunha 1986). The deposition of the sediments that form the Caninde Group resulted from the continuation of thermal subsidence processes and the strong influence of flexural effects. Combined with a global tendency to increase the sea level, these processes resulted in an extensive epicontinental sea, intensifying marine sedimentation during the Devonian. The closure of this sequence is characterized by a significant regional unconformity, correlated to pre-Hercynian Orogeny (Góes *et al.* 1990).

The Pimenteiras Formation consists of thick sections of dark gray shales and medium-grained to thin intercalations of sandstones usually exhibiting hummocky cross-bedding. Individual sandstone bodies have lenticular forms that are most commonly amalgamated to form thicker and more complex tabular strata. The sandstones are best developed in the Middle Devonian, the oldest part of the formation, but they tend to thin out and even disappear at the highest points, which become richer in finely laminated dark shales (Loboziak *et al.* 2000). This probably reflects the deeper sea configuration, which, according Rodrigues *et al.* (1995), became common in the basin during the Frasnian.

The palynological data presented by Loboziak *et al.* (2000) and previous contributions (Loboziak *et al.* 1992; 1993) suggest that the early stages of sedimentation in the Pimenteiras

Formation occurred along the western border of the Parnaíba Basin, at approximately the same time as in the more central parts of the basin, thus indicating a very fast marine flooding event.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

### **2.1 Sampling**

To achieve the proposed objective, 28 samples were collected from outcrops of the Pimenteiras Formation, which is located in Tocantins state (Fig. 1). Twenty-one samples were shared with Parra (2012), who made a geochemical characterization of the Pimenteiras Formation through a biomarker study. In a table in the following section (Tab. 1), these samples are marked with an asterisk.

Because this is an exploratory work, to define the sampling points, the outcrops containing darker shales were primarily considered suggestive of higher organic carbon concentrations.

### **2.2 Palynological preparation**

The slides were mounted following the methodology adapted from Tyson (1995) using acidification via the maceration technique with 32% hydrochloric acid (HCl) and 40% hydrofluoric acid (HF) to eliminate the mineral fractions of the samples.

The remaining organic matter was sieved through a 10-mesh before slide mounting.

### **2.3 Palynological analysis**

To characterize the biochronostratigraphic implications, all possible species of acritarchs and prasinophytes, as well as some chitinozoans, were identified. For this, hundreds of photos were taken with white light and in fluorescence mode. These were analyzed qualitatively by observing each palynomorph specimen and using the reference literature for the identification and classification of species. The references used included the following: Mcgregor & Camfield (1976), Playford (1977), Wicander & Write (1983), Grahn (1992), Ottone (1996),

Ottone & Rosselo (1996), Le Hérissé *et al.* (1997), Rubinstein *et al.* (2008), Grahn *et al.* (2006), and Steemans *et al.* (2008).

#### **2.4 Geochemical analysis**

The total organic carbon (TOC) and Rock Eval pyrolysis analyses were conducted in the Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA) of Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

For the determination of TOC, the samples initially underwent acid extraction with 50% HCl to eliminate carbonate fractions, and then TOC was determined using a LECO Elemental Analyzer SC-444.

For the Rock Eval pyrolysis analysis, the samples were pulverized and removed at a rate of 100 mg. Peaks S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> and S<sub>3</sub>, the hydrogen index (HI), the oxygen index (OI) and the maximum temperature of pyrolysis (T<sub>max</sub>) were obtained.

#### **2.5 Organic petrography**

Organic petrography was conducted at the Instituto Nacional del Carbón (INCAR) in Olviedo, Spain.

As a function of the quantity of TOC, the hydrogen index (HI) and the S<sub>2</sub> peak, 21 samples were selected for making polished sections (plugs) of whole rock for analysis via microscopy according to the standards set by the American Society for Testing and Materials (ASTM, 2011). The plugs were analyzed using a Leica DM6000 M microscope under reflected light with a 20X objective, also according to the standards of the ASTM (2011), to measure vitrinite reflectance (% R<sub>o</sub>). However, it is important to consider that unlike coal, the dispersed organic matter present in sedimentary rocks is generally poor in vitrinite particles. Therefore, measurements of all particles present in each sample were made; note that in some cases, there were no more than five particles.



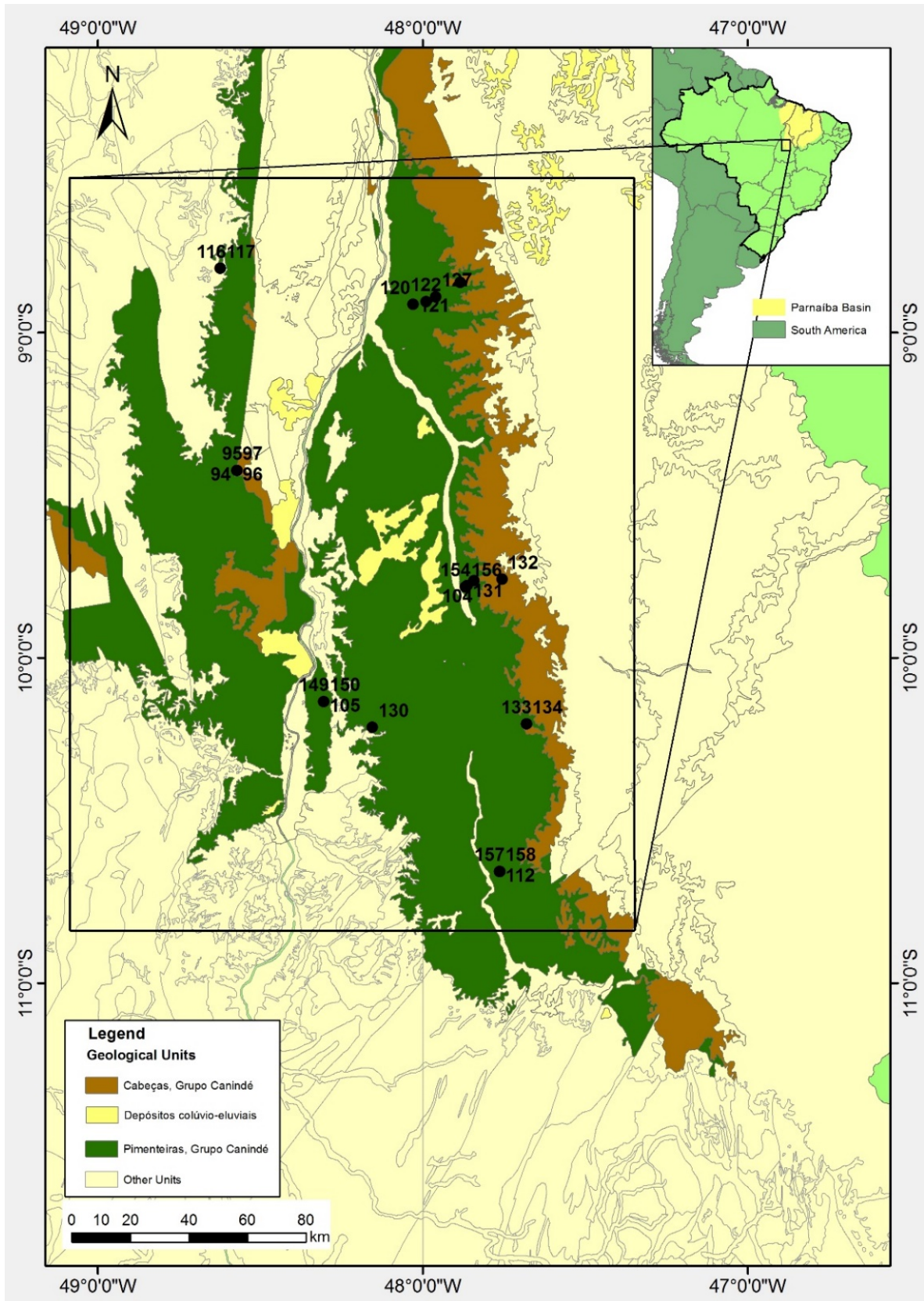


Figure 1: Location map of the samples collected from the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil. A - Location Map of the Parnaíba Basin and the study area in the South America. B - Geological map of the state of Tocantins, highlighting the formations of the Parnaíba Basin and the location of the studied outcrop.

Maps of concentration were mounted with attached to some of the geochemical data for the interpretation of the generation potential of the rocks sampled for each studied outcrop.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Palynological interpretation

Overall, the organic matter exhibited a good degree of preservation, and the palynomorphs showed fluorescence ranging from light green to orange. Approximately 50 species of acritarchs and prasinophytes (or phycornates), which were distributed over 26 different genus and 3 chitinozoans taxa (full list in Appendix), were measured. Figure 2 illustrates the taxa found and the chronostratigraphic distribution of those in the Devonian according to the reference literature cited in the image footer. Figure 3 shows photos of some of the identified species.

From a stratigraphic point of view, some of the most important species were used to define the chronostratigraphic interval that corresponds to Late Eifelian - Latest Frasnian.

##### 3.1.1 RANGE: LATE EIFELIAN - EARLY GIVETIAN

Among the most representative species of acritarchs and phycornates in this range, it is possible to mention the following: *Duvernaysphaera angelae* (Fig. 3I), *D. tenuicingulata* (Fig. 3E), *Evittia remota*, *Gornonisphaeridium* sp. cf. *Micrhystridium sericum*, *Gornonisphaeridium granatum*, *P. carnatum*, *Polyedryxium skalensis* (Fig. 3O), *Pterospermella pernambucensis* (Fig. 3M and N), *Schizocystia saharica* (Fig. 3P), *Stellinium comptum*, *Hapsidopalla sannemannii* and *Leiofusa banderillae*.

*Schizocystia saharica* is commonly found in the lower Devonian but can be recorded also in the Middle and Upper Devonian (Maunder, 2007).

Fensome *et al.* (1990) stated that *Duvernaysphaera tenuicingulata* is a type of Upper Devonian species. However, this species was identified in association with *Schizocystia*

*saharica* in the passage of Emsiano for Eifelian by Antonielli & Otone (2006) in the province of Santiago del Estero, Argentina.

	Middle Devonian		Upper Devonian	
	Late Eifelian	Givetian	Frasnian	Early Famennian
<b>Acritarchs and Phycomates</b>				
<i>Multiplicisphaeridium ramusculosum</i>	—————			
<i>Schizocystia saharica</i>	—————			
<i>Polyedryxium carnatum</i>	—————			
<i>Polyedryxium skalensis</i>	—————			
<i>Exochoderma triangulata</i>		—————		
<i>Umbellasphaeridium saharicum</i>	—————			
<i>Duvernaysphaera tenuicingulata</i>	—————			
<i>Navifusa bacilla</i>	.....			
<i>Gornonisphaeridium</i> sp. cf.	—————			
<i>Micrhystridium sericum</i>	—————			
<i>Evittia remota</i>	—————			
<i>Leiofusa banderillae</i>	—————			
<i>Gorgonisphaeridium granatum</i>	—————			
<i>Hapsidopalla sannemannii</i>	—————			
<i>Duvernaysphaera angelae</i>	.....			
<i>Pterospermella pernambucensis</i>	—————			
<i>Ammonidium garrasinoi</i>		—————		
<i>Maranhites magnus</i>			—————	
<i>Maranhites toigoi</i>			—————	
<i>Hapsidopalla exornata</i>	—————			
<i>Hemiruptia legaultii</i>		—————		
<i>Lunulidia micropunctata</i>		—————		
<i>Maranhites brasiliensis</i>	.....		—————	
<i>Maranhites stockmansii</i>		—————		
<i>Veryhachium colemanii</i>		—————		
<i>Ammonidium loriferum</i>			—————	
<i>Gorgonisphaeridium evexispinosum</i>			—————	
<i>Lophosphaeridium segregum</i>			—————	
<i>Maranhites lobulatus</i>			—————	
<i>Leiofusa tumauae</i>				—————
<i>Lophosphaeridium irregularis</i>				—————
<i>Multiplicisphaeridium loriferum</i>	—————			
<i>Maranhites moysesii</i>			—————	
<i>Veryhachium polyaster</i>			—————	
<i>Umbellasphaeridium deflandrei</i>			—————	
<i>Micrhystridium</i> cf. <i>vigintispinum</i>			—————	
<i>Veryhachium pannuceum</i>			—————	
<i>Schizocystia</i> sp.			—————	
<i>Veryhachium downiei</i>			—————	
<i>Gorgonisphaeridium</i> sp.			—————	
<i>Leiosphaeridia</i> sp.			—————	
<i>Lophosphaeridium</i> sp.			—————	
<i>Orygmahapsis fistulosa</i>			—————	
<i>Palacanthus ledanoisii</i>			—————	
<i>Stellinium comptum</i>			—————	
<i>Stellinium micropolygonale</i>			—————	
<i>Tasmanites</i> sp.			—————	
<i>Tunisphaeridium tentaculaferum</i>			—————	
<i>Umbellasphaeridium</i> sp.			—————	
<i>Veryhachium lairdii</i>			—————	
<i>Veryhachium trispinosum</i>			—————	
<b>Chitinozoans</b>				
<i>Angochitina avelinoi?</i>				—————
<i>Angochitina mourai?</i>				—————
<i>Fungochitina pilosa?</i>				—————

Figure 2: Biochronostratigraphic distribution of the palynomorphous taxa identified on the western edge of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Brazil. For the definition of biostratigraphic ranges, consult the following authors: McGregor & Camfield (1976), Playford (1977), Wicander & Write (1983), Fensome *et al.* (1990), Grahn (1992), Ottone (1996), Ottone & Rosselo (1996), Le Hérisse *et al.* (1997), Vavrdová & Isaacson (1999), Rubinstein *et al.* (2008), Grahn *et al.* (2006), Steemans *et al.* (2008), and Filipiak (2009).



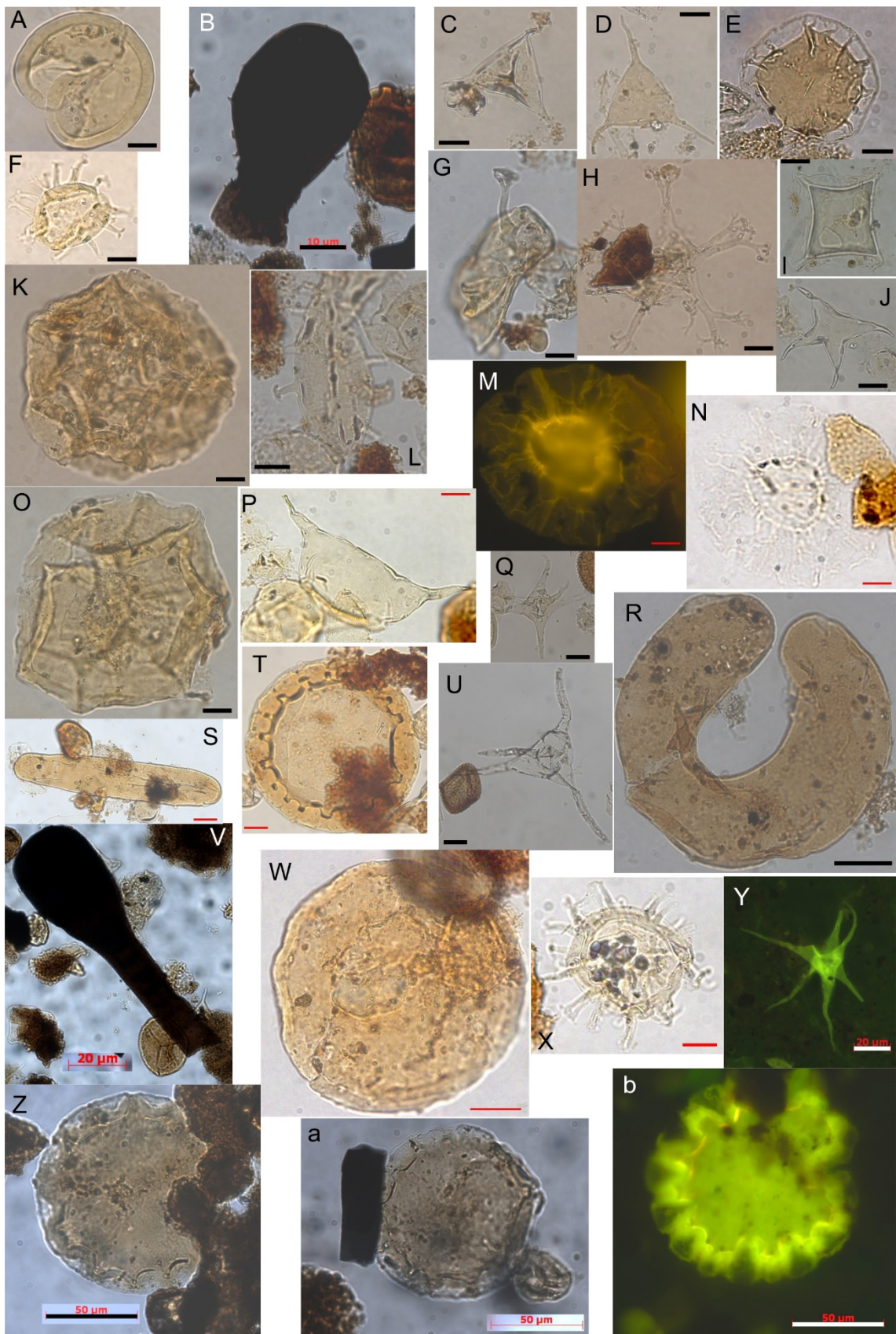


Figure 3: Photos of acritarchs and phycomates identified in the outcrops studied on the western edge of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Brazil. A - *Hemiruptia legaultii*

(10 µm); B - *Angochitina mourai*; C - *Veryhachium downiei* (10 µm); D - *Veryhachium trispinosum* (10 µm); E - *Duvernaysphaera tenuicingulata* (10 µm); F - *Ammonidium garrasinoi* (10 µm); G - *Umbellasphaeridium saharicum* (10 µm); H - *Multicisphaeridium ramusculosum* (10 µm); I - *Duvernaysphaera angelae* (10 µm); J - *Palacanthus ledanoisii* (10 µm); K - *Polyedryxium carnatum* (10 µm); L - *Umbellasphaeridium deflandrei* (10 µm); M and N - *Pterospermela pernambucensis* (10 µm); O - *Polyedryxium skalensis* (10 µm); P - *Schizocystia saharica* (10 µm); Q - *Veryhachium polyaster* (10 µm); R - *Lunulidia micropunctata* (20 µm); S - *Navifusa bacilla* (20 µm); T - *Maranhites brasiliensis* (20 µm); U - *Exochoderma triangulata* (20 µm); V - *Angochitina avelinoi*; W - *Maranhites stokmansii* (20 µm); X - *Multiplicisphaeridium loriferum* (20 µm); Y - *Veryhachium colemanii*; Z - *Maranhites mosesii*; a - *Maranhites magnus*; b - *Maranhites toigoi*.

The chitinozoan *Fungochitina pilosa* was recorded in the Middle Devonian of the Parnaíba Basin (Grahn *et al.* 2006), although other authors have previously recorded this species (Grahn *et al.* 2002) in the Upper Devonian.

### 3.1.2 RANGE: MIDDLE GIVETIAN - EARLY FRASNIAN

The zone-association acritarchs and phycomates registered indicate that this chronostratigraphic interval is composed of *Ammonidium garrasinoi* (Fig. 3F), *Exochoderma triangulate* (Fig. 3U), *Hemiruptia legaultii* (Fig. 3A), *Maranhites brasiliensis* (Fig. 3T) and *Maranhites mosesii* (Fig. 3Z). Souza *et al.* (2013) also registered *Maranhites brasiliensis* at the boundary between the Givetian and Frasnian in the Paraná Basin. The same species was identified by Oliveira (1997) in the range of Frasnian - Late Famennian in the Paraná Basin and in the Formation of Monos, Tarija Basin, Argentina, identified in the Frasnian strata (Ottone, 1996).

Ottone (1996) also reported the presence of *Ammonidium garrasinoi*, *Exochoderma triangulata*, *Hemiruptia legaultii* and *Maranhites mosesii* from the Late Givetian to the Early Frasnian in the Tarija Basin, Argentina.

### 3.1.3 RANGE: EARLY FRASNIAN - EARLY FAMENNIAN

Many species characteristic of the Upper Devonian were found in the samples; the most stratigraphically significant included: *Hapsidopalla exornata*, *Leiofusa turnauae*; *Lophosphaeridium irregularis*; *Maranhites brasiliensis*; *M. stokmansii* (Fig. 3 W); *M. magnus*

(Fig. 3a); *M. lobulatus*; *M. toigoi* (Fig. 3b); *Micrhystridium cf vigintispinum*; *Multiplicisphaeridium loriferum* (Fig. 3X); *Orygmahapsis fistulosa*; *Umbellasphaeridium deflandrei* (Fig. 3 L); *U. saharicum* (Fig. 3G) and *Veryhachium pannuceum*.

The presence of different species of the genus *Maranhites* is common in Upper Devonian assemblies in various basins in South America. *Maranhites stockmansii* was observed in the interval corresponding to the Frasnian in the Paraná Basin by Oliveira (1997) and Souza *et al.* (2013). The species *Maranhites magnus*, *Maranhites lobulatus* and *Maranhites toigoi* were recorded for the first time in the Frasnian by Burjak & Oliveira (1989). *M. lobulatus* was also later recorded in the Late Famennian by Loboziak *et al.* (1997).

The association of different species of genus *Maranhites* with *Umbellasphaeridium saharicum* is common in the Upper Devonian assemblies not only in Brazil but also in Bolivia and Argentina (e.g., Ottone 1996; Limachi *et al.* 1996; Oliveira *et al.* 1997; Quadros 1999; Noetinger & Pasquio 2007). Oliveira *et al.* (1997), for example, reported the association of these species in the Paraná Basin in equivalent levels from the Frasnian to Late Famennian. *Leiofusa turnauae* and *Lophosphaeridium irregularis* were registered for the first time in the Lower Famennian of Poland by Filipiak (2009).

According to Vavrdová & Isaacson (1999) *Gorgonisphaeridium evexispinosum*, *Orygmahapsis fistulosa* and *Veryhachium pannuceum* are common taxa to Western Gondwana que links between the Late Devonian - Early Carboniferous. The three species, together with *Umbellasphaeridium deflandrei* and *U. saharicum*, were recorded in the Latest Famennian, Titicaca Lake, NW Bolivia by the aforementioned authors.

Furthermore, according to Fensome *et al.* (1990), *Multiplicisphaeridium loriferum* is characteristic of the Frasnian, and *Hapsidopalla exornata* was apparently recorded for the first time by Deuff (1967) in the Frasnian in southern Ontario.

It is important to record the possible presence of the chitinozoan *Angochitina avelinoi* (Fig. 3 V), which was identified in the range that corresponds to the Frasnian - Middle Famennian by Grahn (2003) in the Basin of Amazonas, Brazil. Moreover, the presence of *Angochitina mourai* (Fig. 3B), despite having already been recorded at other levels of the Paleozoic, was identified in the Upper Devonian of the Parnaíba Basin by Grahn *et al.* (2006).

Other authors (Loboziak *et al.* 2000; Grahn *et al.* 2006) did not find assemblies of palynomorphs that could ensure the registration of the Famennian in the Pimenteiras Formation. However, the lack of registration reported in these studies can be explained by the presence of a stratigraphic gap in the Parnaíba Basin, as was reported previously (Grahn *et al.* 2006). This regional hiatus, which also occurs in the Amazon Basin, most likely resulted from a sharp fall in sea level at the end of the Famennian and the beginning of the glaciation that occurred in the Late Devonian (Caputo 1984; Loboziak *et al.* 2000; Streeel *et al.* 2000; 2001). Thus, it is possible that the assemblies of miospores and chitinozoans, which was investigated by Loboziak *et al.* (2000) and Grahn *et al.* (2006), contemporary to the Late Famennian have not been preserved in the portions of the Pimenteiras Formation studied by these authors. On the other hand, the research presented in this work opens up prospects for more detailed relevant studies to be carried out to better describe the entire range of the Upper Devonian formation in Pimenteiras because the assemblage of palynomorphs registered in this study allows for indicating the beginning of the Famennian in the Pimenteiras Formation.

#### 3.1.4 COSMOPOLITAN TAXA

In addition to the species mentioned, many taxa of Devonian and Paleozoic cosmopolitan palynomorphs were identified. Amongst these, we can mention the following:

*Gorgonisphaeridium* sp., *Leiosphaeridia* sp., *Lophosphaeridium* sp., *Multicisphaeridium ramusculosum* (Fig. 3H), *Palacanthus ledanoisii* (Fig. 3J), *Schizocystia* sp., *Stellinium comptum*, *Stellinium micropolygonale*, *Tasmanites* sp., *Tunisphaeridium tentaculaferum*,

*Umbellasphaeridium* sp., *Veryhachium downiei* (Fig. 3C), *Veryhachium polyaster* (Fig. 3Q), *Veryhachium lairdii* and *Veryhachium trispinosum* (Fig. 3D).

### 3.2 Amount of organic matter

The total organic carbon content (TOC) ranged from very low values, regarded as poor generation (0.19%), to excellent values for generation (5.53%) (Tab. 1) according to the classification of Peters & Cassa (1994). However, most samples (46.43% of the total) had a TOC between 2 and 4% and were therefore considered to be a very good generation of hydrocarbons.

Table 1: Parameters of organic geochemistry evaluated in the sampled collected on the western edge of the Pimenteiras Formation, the Parnaíba Basin, Brazil.

Sample	TOC (%)	S <sub>1</sub> (mg HC/g rock)	S <sub>2</sub> (mg HC/g rock)	HI (mg HC/g COT)	OI (mg CO <sub>2</sub> /g rock)	Tmax	% Ro
94*	324	0.15	3.52	109	44	420	0.40
95*	275	0.07	0.98	36	94	407	0.42
96*	5.53	0.14	7.74	219	38	425	0.41
97*	2.89	0.1	5.1	176	53	423	0.40
102*	3.52	0.12	2.96	84	135	413	0.43
103*	2.15	0.06	0.65	30	78	405	0.44
104*	2.38	0.07	1.07	45	28	408	0.43
105*	4.06	0.11	6.34	156	43	421	0.44
112*	1.37	0.02	0.34	25	28	404	0.41
116*	1.15	0.02	0.18	16	170	419	-
117*	0.84	0.01	1.41	167	52	427	-
120*	1.04	0	0.55	53	21	428	-
121*	0.89	0.01	0.95	106	20	429	-
122*	1.06	0.01	2.94	278	28	430	-
125*	1.06	0	0.83	79	35	431	-
127*	3.69	0.17	4.87	132	57	420	0.41
130*	3.63	0.13	2.75	76	50	415	0.43
131*	2.71	0.05	1.93	71	28	417	0.45
132*	2.02	0.02	1.93	96	31	424	-
133*	0.8	0.01	0.49	61	33	414	-
134*	1.66	0.02	2.06	124	22	424	-
149	2.96	0.19	4.3	145	47	419	0.46
150	0.36	0.12	0.31	86	141	429	0.45
151	2.17	0.23	2.61	120	61	417	0.41
154	2.95	0.19	3.64	123	10	415	0.41
156	0.19	0.04	0.18	94	105	431	0.50
157	1.47	0.18	3.96	269	65	419	0.42
158	1.07	0.05	0.37	34	117	413	0.41

\* Samples shared with Parra (2012).



Figure 4 illustrates a distribution map of TOC content in the studied outcrops.

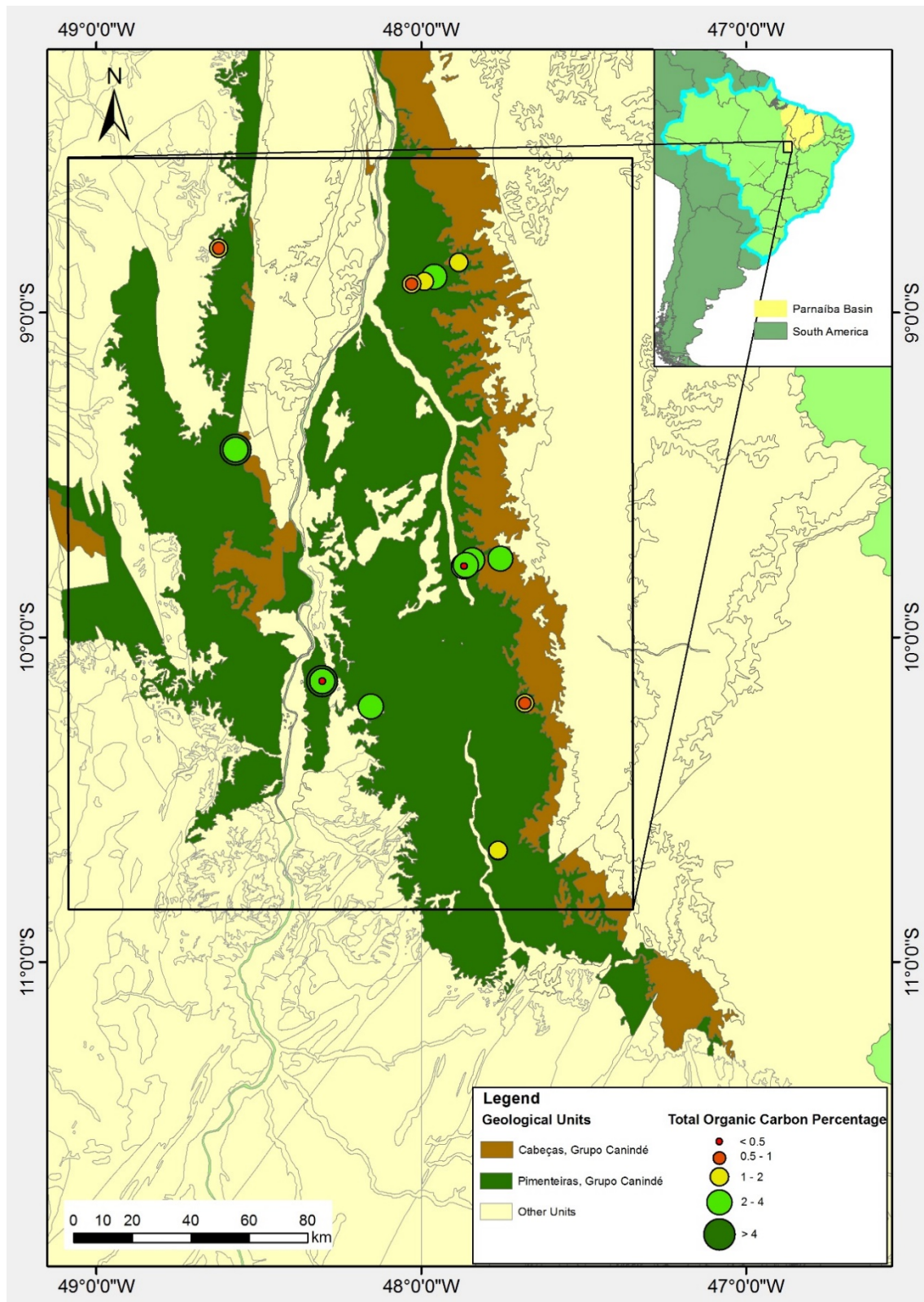


Figure 4: Distribution map of total organic carbon (TOC) contents in the studied outcrops based on the intervals proposed by Peters & Cassa (1994).

It was possible to compare these results of TOC with the work of Rodrigues (1995), who conducted a large geochemical survey in the Pimenteiras Formation. This author has classified the Pimenteiras shales as radioactive A, B and C. Thus, taking into account the TOC, it was possible to classify the shales of this work predominantly as types A and B (TOC between 1.0 and 3.5%) and some samples as type C (TOC between 1.0 and 5.0%).

### **3.3 Generation potential**

The values of  $S_1$  are regarded as poor in all samples (below 0.5 mg HC / g rock) according to Peters & Cassa (1994). With regard to generation potential ( $S_2$ ), most of the samples (57.42%) have low potential (between 0 and 2.5 mg HC / g rock); 32.14% have regular potential, and only 3 samples have good generation potential (between 5 and 10 mg HC / g rock), also according to the classification of Peters & Cassa (1994).

By observing Figure 5, is it possible to note that the samples that have good generation potential coincide with the highest TOC (Fig. 4).

### **3.4 Quality of organic matter**

Low IH values indicate that the samples are mostly type III. However, when interpreting the Van Krevelen diagram type (Fig. 6) that confronts the oxygen index (HI) with the hydrogen Index (HI) (Tissot *et al.* 1974), it becomes possible to indicate that the kerogen of the samples is actually a mix between types II/III and type III.

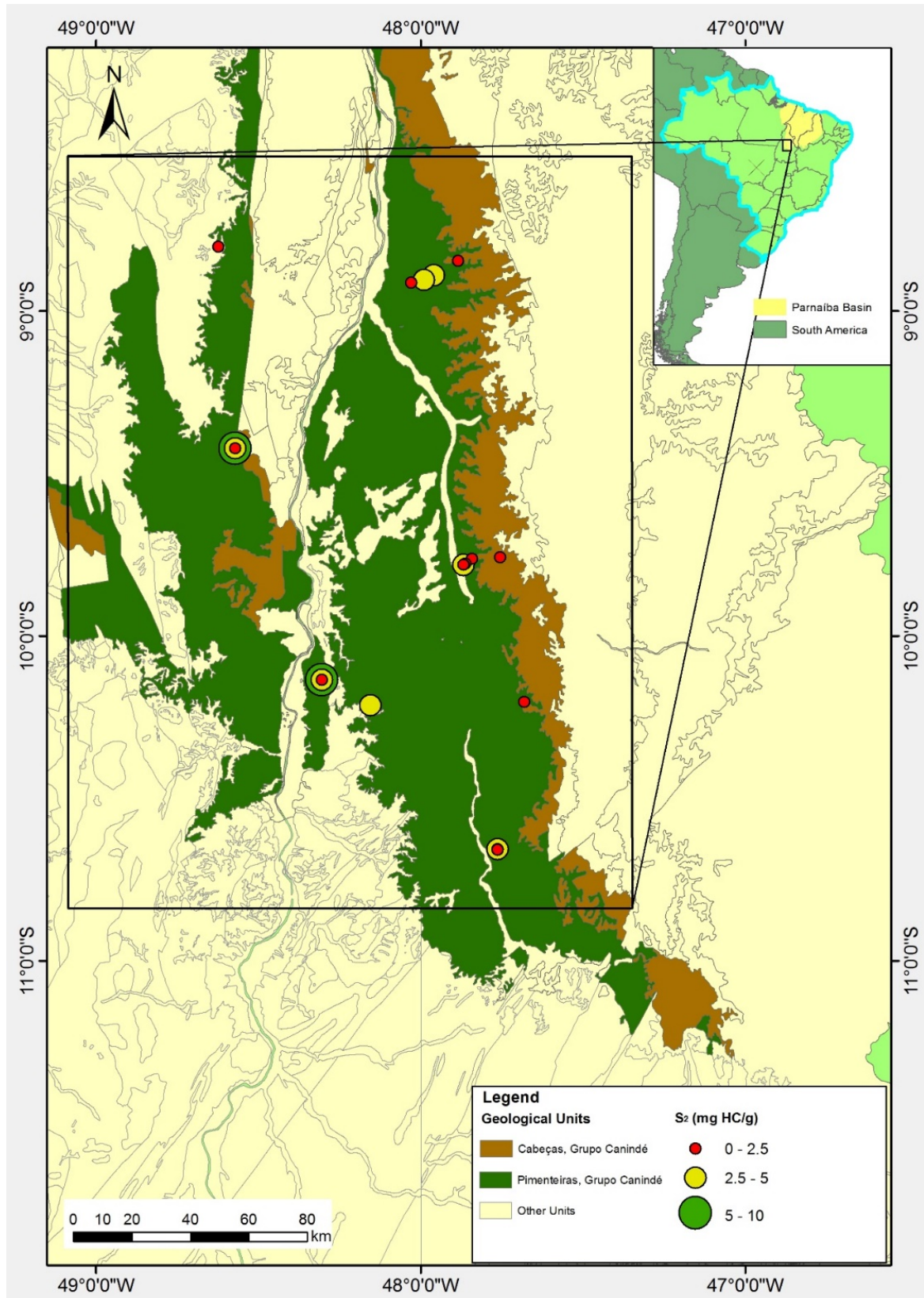


Figure 5: Distribution map of the S<sub>2</sub> peaks in the studied outcrops based on the ranges proposed by Peters & Cassa (1994).

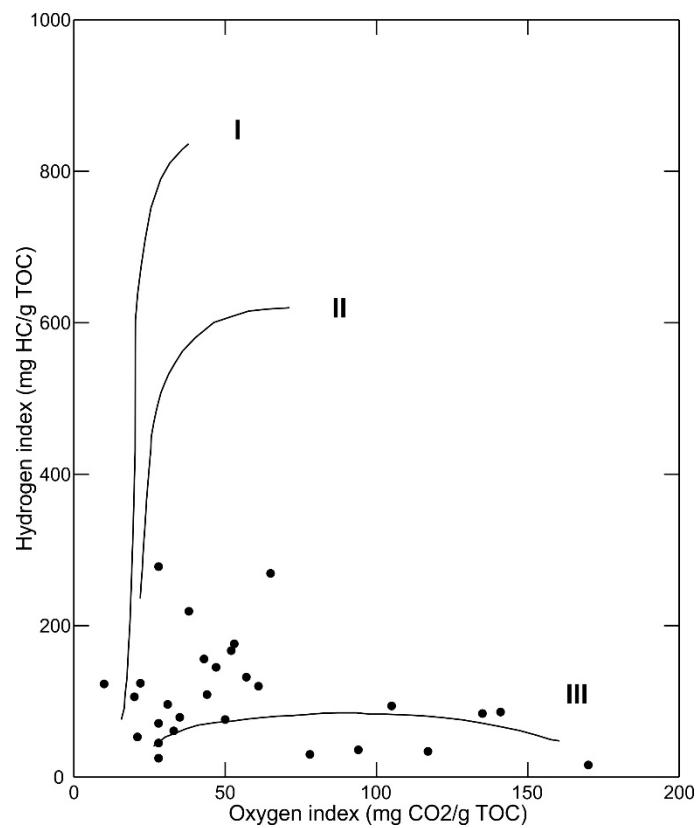


Figure 6: Van Krevelen chart type with the studied samples of the western edge of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil.

### 3.5 Maturation parameters

The maximum temperature of pyrolysis ( $T_{max}$ ) ranges between 407 and 431 °C (Tab. 1), suggesting that all investigated samples are below the hydrocarbon generation window and are therefore in the diagenetic phase.

The immaturity of organic matter studied in the Pimenteiras Formation is corroborated by the vitrinite reflectance (% $R_o$ ), which varies between 0.4 and 0.5. In Table 1, the % $R_o$  values generally represent the average between the particles found in each sample. However, many particles with a reflectance between 0.1 and 0.3% have been found and are not counted in the average values. These low ranking particles do not have a well-defined format and possibly originate from the bacterial degradation of organic matter due to the physicochemical

conditions of sedimentary environments; therefore, they cannot be used to determine the ranks of maturation.

Moreover, it is noteworthy that other particles found (%Ro from 0.4 to 0.5) should be referred to as particles "like" vitrinite according to Suarez-Ruiz *et al.* (2012). This is because particles of vitrinite are found in the Upper Devonian, with the appearance of the first higher plants, and because the Pimenteiras Formation date (from the Middle Devonian to Superior) is more appropriate in this case.

### **3.6 Paleoenvironmental interpretation**

Based on the characterization of the Pimenteiras Formation for biomarkers, Parra (2012) stated that the source of organic matter had a preferential contribution from higher plants through the presence of n-paraffins of high molecular weight (n-C21 - n-C32), a CPI value (n-alkanes reason Odd / Even) above 1, and the predominance of sterane C29 compared with the steranes C27 and C28.

The Van Krevelen type diagram (Fig. 6), as discussed in section 3.4, suggests that the kerogen is type II/III and type III. Therefore, the organic matter originated not only from higher plant debris but also most likely originated from palynomorphs. The visual microscopy kerogen analysis confirms this inference because the presence of a large number of acritarchs, phycococci and miospores mixed with amorphous organic matter (AOM) and plant tissues is observed.

Similarly, Souza (2007) classified organic material in the eastern edge of the Pimenteiras Formation based on a predominantly Type II palynological (moderately preserved - oxidized) composition. Additionally, based on the palynological content, Trindade (2010) suggested that the Pimenteiras Formation was deposited in a marine paleoenvironment proximal to distal with deltaic influence, which explains the mixture between the terrestrial and marine components and, consequently, the mixture in the composition of the kerogen.

#### **4. CONCLUSIONS**

This study provides important contributions concerning the general characterization and palynological knowledge of outcropping tracks of pelites on the western edge of the Pimenteiras Formation.

Overall, the organic matter is preserved and is very rich in palynomorphs. Moreover, it highlights the fluorescence emission for much of the translucent components of organic matter such as palynomorphs, cuticles/tissues of the epidermis of land plants and AOM.

The palynological data allowed for the determination that the biochronostratigraphic interval corresponds to the Late Eifelian - Early Famennian in the samples studied.

The TOC values in the majority of samples studied indicate that pelites have very good potential for hydrocarbon generation and that the kerogen can be classified as a mixture types II/III and III. However, all samples are still in the Diagenesis stage and are therefore immature to generation.

#### ***ACKNOWLEDGEMENTS***

The authors thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the scholarship granted to the first author. Thanks to BG Brazil for their support and research funding, the UERJ for carrying out geochemical analyses, and LEPETRO / IGEO / UFBA for their technical and scientific support. Moreover, the authors thank the University of Barcelona for their support during the Ph.D. sandwich, Professor Albert Permanyer, and INCAR (Olvido, Spain) for their access and support in carrying out the analysis of vitrinite reflectance.



## References

- Antonelli, J. & Ottone, G., 2006. Palinología de coronas del Devónico y Carbonífero Superior del pozo YPF.SE.EC.X-1, El Caburé, provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Revista del Museo de Ciencias Naturales*, **8**: 111-117.
- ASTM. D7708 – 11. 2011. *Standard Test Method for Microscopical Determination of the Reflectance of Vitrinite Dispersed in Sedimentary Rocks*. Annual Book of ASTM Standards, v. 5 and 6, Philadelphia, Pa.
- Brito, I.M. 1965. Novos microfósseis Devonianos do Maranhão. Universidade da Bahia, *Escola de Geologia*, **2**:1-4.
- Brito, I.M. 1967. Silurian and Devonian Acritarcha from Maranhão Basin, Brazil. *Micropaleontology*, **13**(4):473-482.
- Brito, I.M. 1968. Novo subgrupo de Acritarcha do Devoniano do Maranhão. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, **39** (1):163-166.
- Brito, I.M. 1969. Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão. IV. Os Tasmanaceae. *Bol. Geol. Inst. Geoc.*, **3**:15-20.
- Brito, I.M. 1971. Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão V - Acritarcha Herkomorphitae e Prismatormorphitae. *Anais da Academia brasileira de Ciências* **43**:201-208.
- Brito, I.M. 1976. Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão. VI O gênero *Veliferites*
- Brito, 1967 como sinônimo de *Duvernaysphaera* Staplin, (1961), (Acritarcha Pteromorphitae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **48**(4): 757-759.
- Brito, I.M. & Santos, A.S. 1965. *Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão*, Parte 1- Os Netromorphitae (Leiofusidae). D.N.P.M. Div. de Geol. e Min. (Notas preliminares e estudos, n.129), 29p.
- Brito, I.M., Quadros, L.P. 1984. Novas ocorrências de Acritarchae no Devoniano da Bacia do Parnaíba. *Boletim IG-USP*, **15**:15-19.
- Brito, I.M.; Quadros, L.P. 1985. *Pseudolunulidia*, um fóssil-índice do Devoniano Superior (acritarcha Netromorphitae). In: D.A Campos; C.S. Ferreira; I.M. Brito; C.F. Viana (eds.) *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos*. Série geologia, Seção de Paleontologia e estratigrafia, Brasília, **27**(2) 285-287.
- Burjack, M. I. A. & Oliveira, S. de F. 1989. Contribuição ao conhecimento morfológico e sistemático do gênero *Maranhites* Brito. *Bol. IG-USP, Publ.Esp.*, **7**:45-67.
- Carozzi, A.V. 1975. *Análise ambiental e evolução tectônica sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES (PETROBRÁS. Série Ciência Técnica-Petróleo, n.7).
- Cunha, F.M.B. 1986. *Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico*. MS Dissertation, Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 107p.
- Daemon, R.F. 1976 - Correlação bioestratigráfica (palinoestratigráfica) entre os sedimentos do Siluriano, Devoniano e Carbonífero Inferior das Bacias do Amazonas, Parnaíba e Paraná.

- In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Ouro Preto, São Paulo. *Resumos*, v.34 p.189- 94.
- Della Fávera, J.C. 1990. *Tempestitos da bacia do Parnaíba: um ensaio holístico*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 243p.
- Fensome, R.A, Williams, G.L, Barss, M.S., Freeman, J.M. Hull, J.N. 1990. Acritarchs and fossil Prasinophytes: an index to genera, species and infraspecific taxa. *AASP. Contributions series*, **25**: 1-771.
- Filipiak, P. 2009. Lower Famennian phytoplankton from the Holy Cross Mountains, Central Poland. *Review of Paleobotany and Palynology*, **157**: 326–338.
- Góes, A.M.O., Souza, J.M.P., Teixeira, L.B. 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **4**(1):55-64.
- Grahn, Y. 1992. Revision of Silurian and Devonian strata of Brazil. *Palynology*, **16**:35-61.
- Grahn, Y., Bergamaschi, S., Pereira, E. 2002. Middle and Upper Devonian chitinozoan biostratigraphy of the Paraná Basin in Brazil and Paraguay. *Palynology*, **26**: 135-165.
- Grahn, Y.; Loboziak, S. & Melo, J.H.G. 2003. Integrated correlation of Late Silurian (Pridoli s.l.) - Devonian chitinozoans and miospores in the Solimões Basin, northern Brazil. *Acta Geologica Polonica*, **53**:283–300.
- Grahn, Y.; Melo, J.H.G. & Loboziak, S. 2006. Integrated Middle and Late Devonian miospore and chitinozoan biozonation of the Parnaíba Basin, Brazil: an update. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **9**:283-294.
- Le Hérissé, A. 2000. Characteristics of the Acritarch recovery in the Early Silurian of Saudi Arabia. *GeoArabia*, **special volume**: 57-81.
- Le Hérissé, A.; Gourvenec, R. & Wicander, R. 1997. Biogeography of Late Silurian and Devonian acritarchs and prasinophytes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **98**:105-124.
- Limachi, R.; Goitia, V.H.; Sarmiento, D.; Arispe, O.; Montecinos, R.; Diaz Martínez, E.; Dalenz Farjat, A.; Liachenco, N.; Pérez Leyton, M., Aguilera, E. 1996. Estratigrafía, Geoquímica, Correlaciones, Ambientes Sedimentarios y Bioestratigrafía del Silúrico-Devónico de Bolivia. In: 12º Congreso Geológico de Bolivia, *Memorias*, Tarija, p.183-197.
- Loboziak, S., Strel, M., Caputo, M.V., Melo, J.H.G. 1992. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospore stratigraphy in the central Parnaíba Basin (Brazil). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **115**:215-226.
- Loboziak, S., Strel, M., Caputo, M.V., Melo, J.H.G. 1993. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospores from selected boreholes in Amazonas and Parnaíba basins (Brazil): additional data, synthesis, and correlation. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, **125**:277-289.
- Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Quadros, L.P.; Daemon, R.F.; Barrilari, I.M.R. 1994a. Biocronoestratigrafia dos palinomorfos do Devoniano Médio-Carbonífero Inferior das Bacias do Solimões e Parnaíba: Estado da Arte. In: 2º Sintex seminário de interpretação exploratória. Rio de Janeiro, *Atas*, Petrobrás, 51-56p.



- Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Quadros, L.P.; Daemon, R.F.; Barrilari, I.M.R., Strel, M., 1994b. *Devonian -Dinantian miospore biostratigraphy of the Solimões and Parnaíba Basins (with considerations on the Devonian of the Paraná Basin)*. Rio de Janeiro, Petrobras/Cenpes., 2 vols.
- Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Quadros, L.P. & Strel, M. 1997. Palynological evaluation of the Famennian Protosalvinia (Foerstia) Zone in the Amazon Basin, northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **96**:31-45.
- Loboziak, S., Caputo, M.V., Melo, J.H.G. 2000. Middle Devonian –Tournaisian miospore biostratigraphy in the southwestern outcrop belt of the Parnaíba Basin, north-central Brazil. *Révue de Micropaléontologie*, **43**:301-318.
- Muller, P.M. 2007. *Bioestratigrafia do Devoniano da Bacia do Paraná - Brasil, com ênfase na Sub-bacia de Alto Garças*. PhD. Thesis, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 154p.
- Menezes, T. R., Mendonça-Filho, J.G., Araújo, C. V., Souza, I. V. A. F. de, Mendonça, J. de O. 2008. Fácies orgânica: conceitos, métodos e estudos de casos na indústria do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**(2 - suplemento): 80-96.
- Müller, H. 1962. *Report on palynological results of samples examined from well in Maranhão*. Petrobrás, Rel. n° 500, RPBA (inédito).
- Mullins, G.L.; Richard J.A.; David J. S. 2004. Microplankton associations, biofacies and palaeoenvironment of the type lower Ludlow Series, Silurian. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **130**:163–194.
- Noetinger, S & di Pasquo, M. 2007. Preliminary studies of devonian microfloras of a borehole from the tarija basin, northwestern argentina. *In: 4th European meeting on the palaeontology and stratigraphy of Latin America cuadernos del Museo Geominero*, 8. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Oliveira, S.F. 1997. *Palinologia da Seqüência Devoniana da Bacia do Paraná no Brasil, Paraguai e Uruguai: implicações biocronoestratigráficas, paleoambientais e paleogeográficas*. PhD. Thesis, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 188 p.
- Ottone, E.G. 1996. Devonian palynomorphs from the Los Monos Formation, Tarija Basin, Argentina. *Palynology*, **20**:101-151.
- Ottone, E.G. & Rossello, E.A. 1996. Palinomorfos devónicos de la Formación Tequeje, Angosto del Beni, Bolivia. *Ameghiniana*, **33**(4):443-452.
- Parra, C. J. O. 2012. *Caracterização geoquímica através de biomarcadores de amostras de afloramentos da formação Pimenteiras (Devoniano) da borda oeste da bacia do Parnaíba*. MS Dissertation. Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Macaé, 178p.
- Peters, K.E. & Cassa, M.R., 1994, Applied source rock geochemistry *In: Magoon, L.B., and Dow, W.G. (eds.) The petroleum system—From source to trap*: Tulsa, Okla. American Association of Petroleum Geologists Memoir 60, p. 93-117.
- Playford, G. 1977. Lower to Middle Devonian Acritarchs of the Moose River Basin, Ontario. *Geological Survey of Canada, bulletin* **279**: 1-87.

- Quadros, L. P. 1982. *Distribuição bioestratigráfica dos Chitinozoa e Acritarchae na Bacia do Parnaíba*. Centro de Pesquisas e desenvolvimento Leolpodo A Miguez de Melo, Seção de Exploração de petróleo 12, 76p.
- Quadros, L.P.1999. Silurian-Devonian acritarch assemblages from Paraná Basin: an update and correlation with Northern Brazilian basins. *In: Ordovician-Devonian palynostratigraphy in western Gondwana: update, problems and perspectives, Resúmenes expandidos*, Rio de Janeiro, UERJ, p.105-145.
- Rodrigues, R. A. 1995. *Geoquímica orgânica na bacia do Parnaíba*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 225p.
- Rubinstein, C.V.; Le Hérisse, A. & Steemans, P. 2008. Lochkovian (Early Devonian) acritarchs and prasinophytes from the Solimões Basin, northwestern Brazil. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, **249**(2): 167–184.
- Souza, I. V. A. F. de. 2007. *Faciologia Orgânica de Seções Devonianas da Bacia do Parnaíba (Formação Pimenteira): Implicações para Geração de Petróleo*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 160p.
- Souza, M. S. P., Mauller, P. M., Cardoso, T.R., Rodrigues, R., Pereira, E. 2013. Caracterização Geoquímica e Bioestratigráfica das Superfícies de Inundação Marinha da Seção Meso-Neodevoniana, na Região de Dom Aquino (MT), Noroeste da Bacia do Paraná, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, **36**(1), 26-36.
- Stemans, P.; Rubinstein, C.V. & Melo, J.H.G. 2008. Siluro-Devonian miospore biostratigraphy of the Urubu River area, western Amazon Basin, northern Brazil. *Geobios*, **41**:263–282.
- Streel, M.; Caputo, M.V.; Loboziak, S., Melo, J.H.G. 2000. Late Frasnian-Famennian climates based on palynomorph quantitative analyses and the question of the Late Devonian glaciations. *Earth Science Reviews*, **52**:121-173.
- Streel, M.; Caputo, M.V.; Loboziak, S.; Melo, J.H.G., Thorez, J. 2001. Palynology and sedimentology of laminites and tillites from the latest Famennian of the Parnaíba Basin, Brazil. *Geologica Belgica*, **3**:87-96.
- Suárez-Ruiz, I, Flores, D., Mendonça Filho, J.G., Hackley, P.C. 2012. Review and update of the applications of organic petrology: Part 2, geological and multidisciplinary applications. *International Journal of Coal Geology*, **98**: 73-94.
- Tissot, B. P., Durand, B., Espitalié, J., Combaz, A. 1974. A. Influence of nature and diagenesis of organic matter in formation of petroleum. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **8**: 499-506.
- Trindade, V. S.F. 2010. *Estudo do microfítoplâncton da Formação Pimenteiras (Devoniano Médio), Bacia do Parnaíba*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 73p.
- Tyson, R.V. 1995. *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*, Londres, Chap. & Hall, 615 p.
- Vavrdová, M. & Isaacson, P. E. 1999. Late Famennian Phytogeographic Provincialism: Evidence for a Limited Separation of Gondwana and Laurentia. *In: R. Feist, J.A. Talent, A.*

Daurer (eds.) *North Gondwana: Mid-Paleozoic Terranes, Stratigraphy and Biota*. Viena, Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 54, p.453-463.

Vaz, P.T.; Rezende, N.G.A.M.; Wanderley Filho, J.R. & Travassos, W.A.S. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**(2):253-263.

Wicander, R. & Wright, R.P. 1983. Organic-walled microphytoplankton abundance and stratigraphic distribution from the Middle Devonian Columbus and Delaware Limestones of the Hamilton Quarry, Marion County, Ohio. *The Ohio Journal of Science*, **83**: 2–13.

## Appendix

Full list of taxa identified in the samples of the studied Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Brazil.

### Acritarchs and Phycomates

- Ammonidium garrasinoi* Ottone (1996)  
*Ammonidium loriferum* (Deunff) 1965  
*Duvernaysphaera angelae* Deunff, (1964)  
*Duvernaysphaera tenuicingulata* Staplin (1961)  
*Evittia remota* (Deunff) Lister (1970)  
*Exochoderma triangulata* Staplin (1961)  
*Gorgonisphaeridium evexispinosum* Wicander (1974)  
*Gorgonisphaeridium granatum* Playford (1977)  
*Gorgonisphaeridium winslowiae* Staplin *et al.* (1965)  
*Gorgonisphaeridium* sp. cf. *Micrhystridium sericum* Deunff (1961)  
*Hapsidopalla exornata* (Deunff) Playford (1977)  
*Hapsidopalla sannemannii* Deunff (1957)  
*Hemiruptia legaultii* Ottone (1996)  
*Leiofusa banderillae* Cramer (1964)  
*Leiofusa turnauae* Filipiak (2009)  
*Leiosphaeridia* Eisenack (1958) emend. Downie & Sarjeant (1963) emend. Turner (1984)  
*Lophosphaeridium irregularis* Filipiak (2009)  
*Lophosphaeridium segregum* Playford (1981)  
*Lophosphaeridium* Timofeev (1959) ex Downie (1963) emend. Lister (1970)  
*Lunulidia micropunctata* Pöthe *the Baldis* (1979)  
*Maranhites brasiliensis* (Brito) emend. Burjack & Oliveira (1989)  
*Maranhites lobulatus* Burjack & Oliveira (1989)  
*Maranhites magnus* Burjack & Oliveira (1989)  
*Maranhites mosesii* (Sommer) Brito (1967) emend. González (2009)  
*Maranhites stockmansii* (Martin) emend. Martin (1984)  
*Maranhites toigoi* Burjack & Oliveira (1989)  
*Maranhites* Brito (1965)  
*Micrhystridium* cf. *vigintispinum* Staplin (1961)  
*Multiplicisphaeridium loriferum* (Deunff) Lister (1970)  
*Multiplicisphaeridium ramusculosum* (Deflandre) Lister (1970)  
*Navifusa bacilla* (Deunff) Playford 1977  
*Orygmahapsis fistulosa* (Colbath, 1983) Colbath (1987)  
*Palacanthus ledanoisii* (Deunff) emend. Playford (1977)  
*Polyedryxium carnatum* Playford (1977)  
*Polyedryxium skalensis* Turnau & Racki (1999)  
*Pterospermella pernambucensis* (Brito) Eisenack (1973)  
*Schizocystia saharica* Jardiné *et al.* (1974)  
*Schizocystia* sp. Cookson & Eisenack (1962)  
*Stellinium comptum* Wicander & Loeblich (1977)  
*Stellinium micropolygonale* (Stockmans & Willièrre 1960) Playford 1977  
*Tasmanites* sp. Newton (1875)  
*Tunisphaeridium tentaculaferum* (Martin) Cramer 1967

*Umbellasphaeridium deflandrei* (Moreau-Benoit) Jardiné *et al.* (1972)  
*Umbellasphaeridium saharicum* Jardiné *et al.* (1972)  
*Umbellasphaeridium* sp. Jardiné *et al.* (1972)  
*Veryhachium colemanii* Playford in Playford & Dring (1981)  
*Veryhachium downiei* Stockmans & Willière (1962)  
*Veryhachium lairdii* Deflandre (1946)  
*Veryhachium pannuceum* Wicander & Loeblich (1977)  
*Veryhachium polyaster* Staplin (1961)  
*Veryhachium trispinosum* (Eisenack) Stockmans & Willière (1962)

#### **Chitionoazoans**

*Angochitina avelinoi* Grahn (2003)  
*Angochitina mourai* Lange (1952)  
*Fungochitina pilosa* Collinson & Scott (1958)

# CAPÍTULO 3 – ARTIGO 2: ARCABOUÇO BIOESTRATIGRÁFICO DE PELITOS DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO), BACIA DO PARNAÍBA, TOCANTINS, BRASIL

---

## CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE

Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/NEA), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Avenida Adhemar de Barros, s/n, Federação, Salvador, Bahia, consul\_navarro@hotmail.com

## TEREZA REGINA MACHADO CARDOSO

Departamento de Estratigrafia e Paleontologia (DEPA), Faculdade de Geologia (FGEL), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), terezaregina@gmail.com

## RAFAEL REGUEIRA SANTOS

Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/NEA), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Avenida Adhemar de Barros, s/n, Federação, Salvador, Bahia, rafael.regueira.santos@hotmail.com

## ALTAIR DE JESUS MACHADO

Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Avenida Adhemar de Barros, s/n, Federação, Salvador, Bahia, altair@ufba.br

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi descrever um arcabouço bioestratigráfico dos pelitos da Formação Pimenteiras em um afloramento na BR153 (Belém/Brasília), situado no Estado do Tocantins, borda oeste da Bacia do Parnaíba. Neste foram coletadas 11 amostras num perfil vertical e destas foram montadas lâminas palinológicas. Cerca de 71 espécies de acritarcos e ficomatas e 41 espécies de miósporos foram identificadas e classificadas. A distribuição dos miósporos foi discutida, sobretudo, a luz dos biozoneamentos elaborados na Europa Ocidental e no Brasil. Diante disso, foi possível identificar nas amostras estudadas assembleias de miósporos que caracterizam o intervalo Neoeifeliano a possivelmente a transição entre o Neofrasniano e o Fameniano. O grupo dos acritarcos e ficomatas também foram discutidos e utilizados para corroborar o intervalo cronoeestratigráfico sugerido. As ocorrências de miósporos nos pelitos da Formação Pimenteiras na borda leste da Bacia do Parnaíba foram compatíveis com as biozonas já definidas em trabalhos anteriores. O registro do paleomicrofitoplanton (associação de acritarcos e ficomatas) nesse intervalo de tempo definido mostraram concordância com as associações clássicas registradas.

**Palavras-chave:** Arcabouço bioestratigráfico, Miósporos, Acritarcos e ficomatas, Devoniano, Formação Pimenteiras.

**ABSTRACT: FRAMEWORK BIOSTRATIGRAPHY OF PELITES OF PIMENTEIRAS FORMATION (DEVONIAN), PARNAÍBA BASIN, TOCANTINS, BRAZIL.** The aim of this study was to describe a biostratigraphy framework of pelites on an outcrop of Pimenteiras Formation in the BR153 (Belém / Brasília), located in the State of Tocantins, the western edge of the Parnaíba Basin. Were collected 11 samples in a vertical profile and of these were made palynologic slides. About 71 species of acritarchs and phycomate prasinophyte and 41 species of miósporos were identified and classified. The distribution of miósporos was discussed, especially the light of zonation developed in Western Europe and Brazil. Thus, it was possible to identify in the samples studied miósporos

assemblies that characterize the range Late Eifelian until possibly the transition between Neofrasniano and the Famennian. The group of acritarchs and phycomate prasinophyte were also discussed and used to corroborate the suggested chronostratigraphic range. Occurrences of miósporos in pelites of Pimenteiras Formation on the eastern edge of Parnaíba Basin were consistent with the biozones already defined in previous works. The registration of microphytoplankton fossil (association of acritarchs and phycomate) in this defined time interval showed compliance with the recorded classical associations.

**Key words:** Biostratigraphy framework, Miospores, Acritarchs and Phycomate, Devonian, Pimenteiras Formation.

## INTRODUÇÃO

Genericamente os palinomorfos são microfósseis compostos exclusivamente por matéria orgânica não mineralizada. Em uma investigação palinológica além de pólenes, esporos e matéria orgânica de natureza diversa, são também reconhecidos acritarcos, quitinozoários, cistos de dinoflagelados, palinoforaminíferos, escolecodontes, entre outros (Antunes & Melo, 2001).

Do ponto de vista do registo fóssil parece que os acritarcos e as algas prasinófitas formaram a maior parte do plâncton marinho do Paleozoico (Mullins *et al.*, 2004). Dada a abundância destes grupos é possível utilizar o biozoneamento feito com miósporos calibrados com algumas zonas-associações de acritarcos e ficomatas para se estabelecer ranges estratigráficos no Paleozoico. De acordo com Le Hérisse *et al.* (2000), o potencial bioestratigráfico dos acritarcos e prasinófitas em rochas do Devoniano tem sido amplamente reconhecido. Os autores destacam algumas espécies do Devoniano e seus potenciais na bioestratigrafia.

A Bacia do Parnaíba é considerada caracteristicamente paleozoica e seu pacote sedimentar é dividido em cinco sequências: Siluriana, Devoniana, Carbonífero-Triássica, Jurássica e Cretácica. A sequência Devoniana corresponde ao Grupo Canindé, que é constituído pelas formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças e Longá. Esta sequência engloba um trato de mar baixo (Formação Itaim) (Rodrigues, 1995), um trato de sistemas transgressivos (parte inferior da Formação Pimenteiras) e um trato de mar alto (parte superior da Formação Pimenteiras) (Della Fávera, 1990).

De acordo com Daemon (1974), o primeiro estudo palinoestratigráfico realizado na Bacia do Parnaíba é creditado a Müller (1962). Após este trabalho, diversos outros autores investigaram a Palinologia desta bacia, destacando-se os de Brito & Santos (1965), Brito (1965, 1966, 1967, 1968, 1971, 1976), Carozzi *et al.* (1975), Daemon (1976), Quadros (1982); Brito & Quadros (1984 e 1985); Grahn (1992) e Loboziak *et al.* (1992).

Grahn (1992) estabeleceu uma atualização destes conhecimentos baseada em quitinozoários, posteriormente modificada por Melo *et al.* (1992 *apud* Góes & Feijó, 1994). É possível citar ainda os trabalhos de Loboziak *et al.* (2000), Grahn *et al.* (2001), Melo & Loboziak (2003), Grahn (2005) e Grahn & Melo (2005).

Loboziak *et al.* (2000) fizeram um estudo bioestratigráfico de miósporos do Devoniano Médio ao Tournasiano da borda oeste da Bacia do Parnaíba. No trabalho citado os autores estabeleceram nos afloramentos estudados na borda oeste da Formação Pimenteiras o intervalo de idade Givetiano- Frasniano.

A área oeste da Bacia do Parnaíba ainda se encontra em franco estágio de desenvolvimento demográfico, o que representa a abertura de muitas estradas, facilitando o aparecimento de muitos afloramentos, sobretudo no Estado do Tocantins. Assim, levando em consideração que esta pode ou não ser uma continuidade da área leste, é de grande importância sua investigação e detalhamento, principalmente no tange à biocronoestratigrafia.

### **Objetivo**

O presente trabalho tem o objetivo descrever um arcabouço bioestratigráfico integrado entre mióporos e o paleofitoplâncton marinho identificados na Formação Pimenteiras, borda oeste da Bacia do Parnaíba.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### Localização

As amostras estudadas foram coletadas em pelitos, de um afloramento na BR153 no Estado do Tocantins (Figura 1).

### Geologia

A Bacia do Parnaíba é uma das maiores bacias sedimentares brasileiras, com mais de 600.000Km<sup>2</sup>, abrangendo os estados do Piauí e Maranhão quase em sua totalidade, e em parte os estados de Tocantins, Pará, Ceará e Bahia (Vaz *et al.*, 2007). Parnaíba faz parte do grupo de bacias intracratônicas brasileiras e desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o estágio de estabilização da Plataforma Sul-Americana.

Pimenteiras consiste em seções espessas de folhelhos cinza escuro e intercalações de granulação médio a fina de arenitos geralmente exibindo estratificação cruzada hummocky. Corpos de arenito individuais têm formas lenticulares mais comumente amalgamados para formar mais espessos e mais complexos tabulares de estratos. Os arenitos são mais desenvolvidos no Devoniano Médio, parte mais antiga da formação, mas tendem a se diluir para fora e até mesmo desaparecer nos pontos mais elevados, que se tornam mais ricos em folhelhos escuros finamente laminado (Loboziak *et al.* 2000). Isso provavelmente reflete a configuração marinha mais profunda que, de acordo com Rodrigues *et al.* (1995), tornou-se comum na bacia durante o Frasniano.



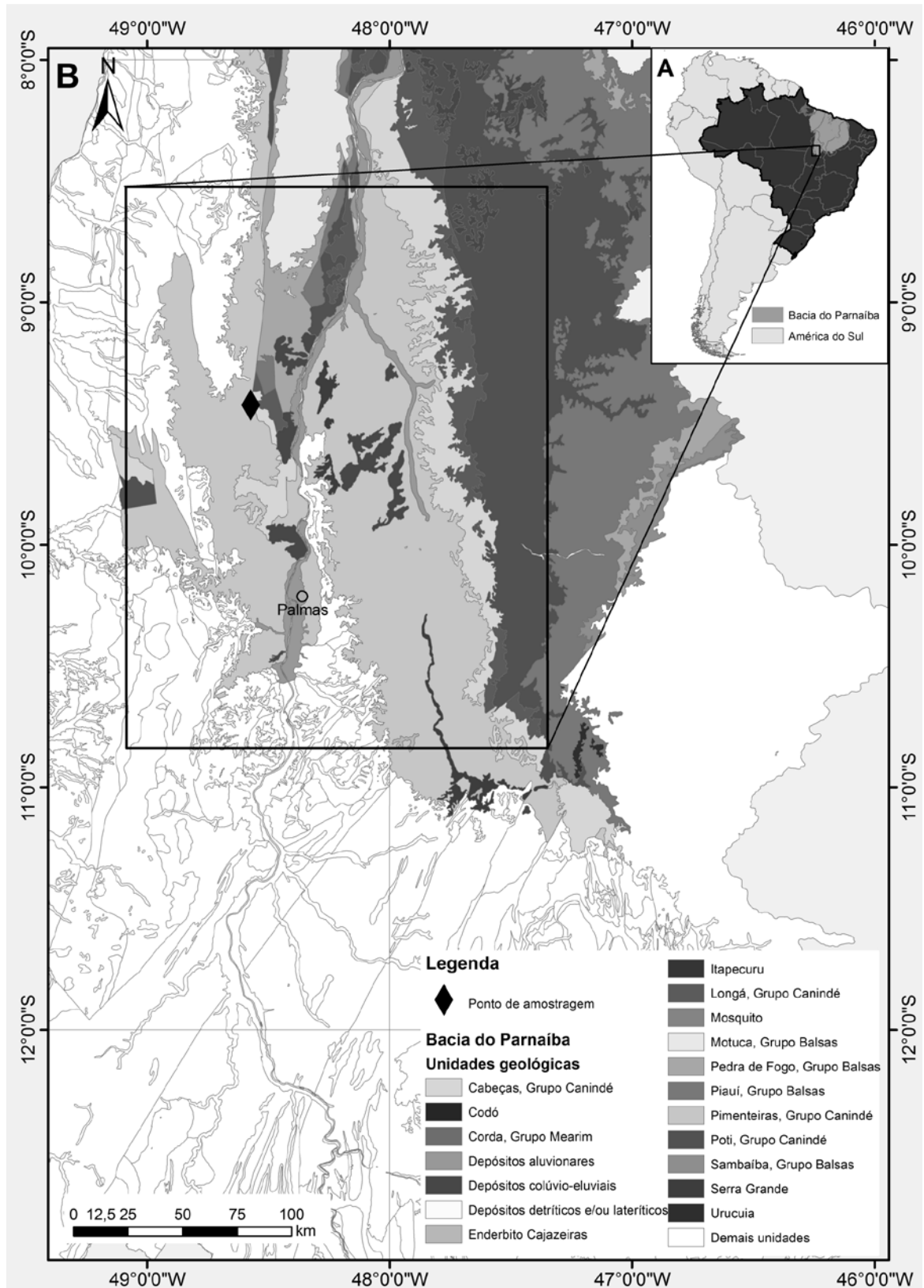


Figura 1: Mapa de localização das amostras coletadas da Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba, TO, Brasil. A- Mapa de localização da Bacia do Parnaíba e da área de estudo no continente Sul-Americano. B- Mapa geológico do estado do Tocantins com destaque para as Formações da Bacia do Parnaíba e para a localização do afloramento estudado.

Figure 1: Location map of the samples collected of Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, TO, Brazil. A- Location Map of the Parnaíba Basin and the study area in the South American continent. B- Geological map of the state of Tocantins highlighting the formations of the Parnaíba Basin and location of the studied outcrop.

Santos & Carvalho (2009) destacam que na Bacia do Parnaíba o ciclo transgressivo/regressivo de idades eifeliana e eogivetiana é o principal portador de ocorrências fossilíferas. Este ciclo compreende a Formação Itaim, a parte basal e média da Formação Pimenteiras e a parte basal da Formação Cabeças. No topo das formações Pimenteiras e Cabeças ocorre nova transgressão no Neofrasniano-Eofameniano. Nesta idade, a superfície de inundação máxima na Formação Pimenteiras apresenta alto teor de carbono orgânico, indicado na perfilagem de raios- gama, pelos conspícuos picos radioativos e por um vasto levantamento geoquímico feito por Rodrigues (1995). Além disso, a Formação Pimenteiras foi depositada principalmente em ambiente marinho raso do final do Eifeliano para, possivelmente, o início do Fameniano (Loboziak *et al.*, 1994a, b), sob a eventual influência das ondas de tempestade (tempestitos, após Della Favera, 1990).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Coleta**

Foram coletadas 11 amostras em um afloramento na BR 153 (Belém/Brasília) pertencente à Formação Pimenteiras situado no estado do Tocantins, borda oeste da Bacia do Parnaíba (Figura 1). A escolha deste ponto resultou de um reconhecimento prévio e caracterização de cerca de 10 afloramentos da Formação Pimenteiras, baseado no grau de preservação e fácil acesso. Dessa maneira as amostras coletadas estão espaçadas de metro a metro num perfil vertical e com alguma variação lateral (Figura 2) na busca de amostras com maior conteúdo orgânico aparente.

### **Preparação e Análise Palinológica**

As lâminas foram montadas seguindo a metodologia adaptada de Tyson (1995), utilizando-se a técnica de maceração por acidificação com ácido clorídrico (HCl) à 32% e ácido fluorídrico (HF) à 40% com o intuito de eliminar a fração mineral das amostras.

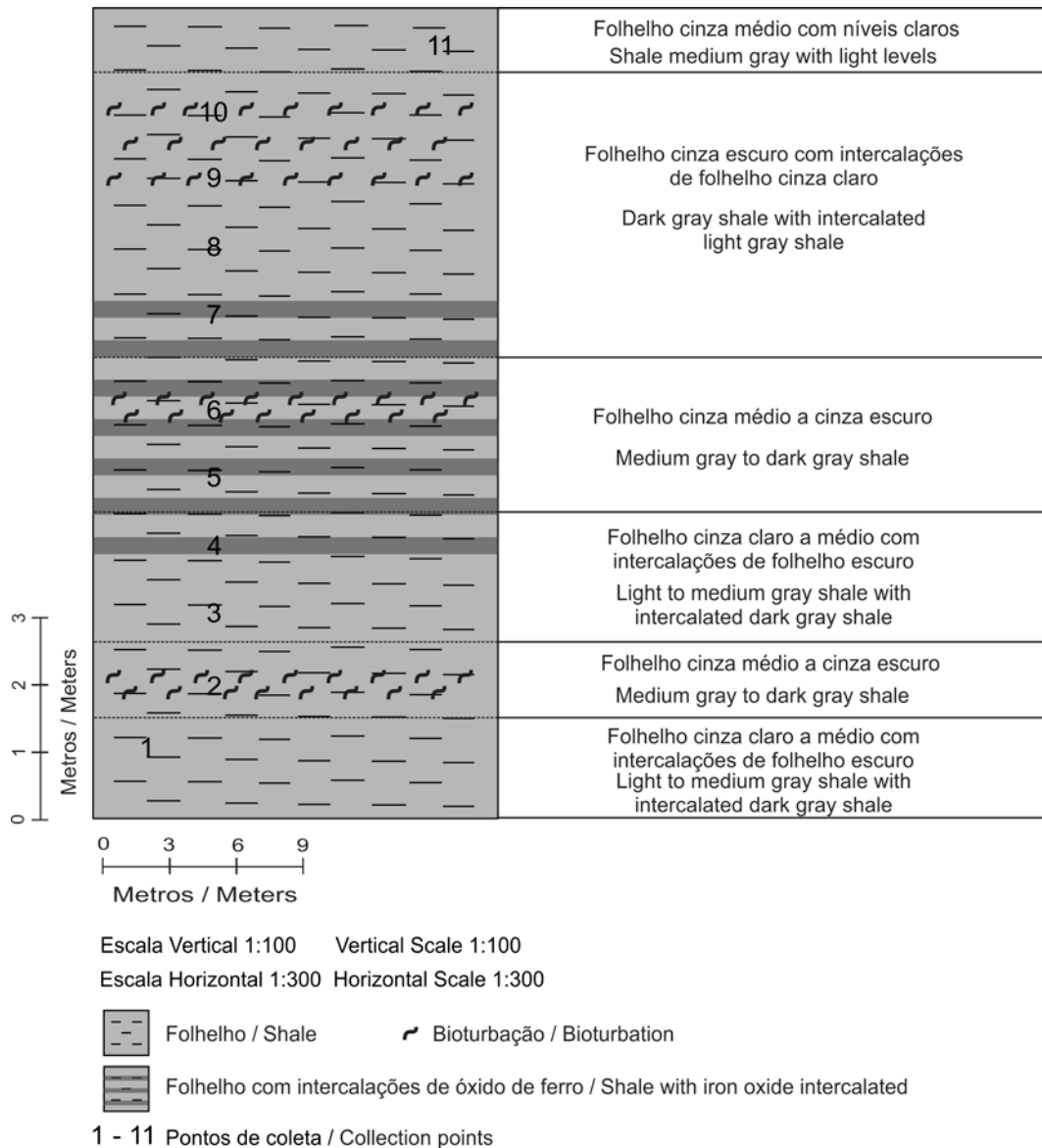


Figura 2: Perfil esquemático do afloramento estudado da Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba, TO, Brasil, com a localização e descrição dos pontos amostrados.

Figure 2: Schematic profile of outcrop studied of Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, TO, Brazil, with the location and description of sampling stations.

As lâminas foram analisadas em microscópio petrográfico da *Carl Zeiss* com câmera acoplada sob luz branca e com o modo fluorescência. Centenas de fotos foram feitas e analisadas qualitativamente, observando-se cada espécime de palinomorfo e utilizando-se a literatura de referência para identificação e classificação das espécies. Entre as referências utilizadas é possível citar: McGregor & Camfield (1976); Playford (1977); Wicander & Write (1983); Richardson & McGregor, (1986); McGregor & Playford (1992); Grahn (1992); Playford &

Mcgregor (1993); Richardson *et al.* (1993); Ottone (1996); Ottone & Rosselo (1996); Le Hérissé *et al.*, (1997); Loboziak *et al* (2000); Rubinstein *et al.* (2008); Grahn *et al.* (2006); Steemans *et al.* (2008) etc.

### **Classificação Palinológica**

No presente trabalho os gêneros e espécies de acritarcos são listados por ordem alfabética e a classificação destes supragenericamente apenas ao nível do Grupo, obedecendo o Código Internacional de Nomenclatura Botânica, de acordo com a proposta taxonômica original apresentada por Evitt (1963). A classificação supragenérica das algas prasinófitas utilizada neste capítulo, foi baseada no sistema de classificação descrito por Guy-Ohlson (1996).

A nomenclatura para ambos os grupos está de acordo com o Índice de Acritarcos e Prasinófitas de Fensome *et. al.* (1990), assim como, com os sistemas de base de dados PHYTOPAL (Mullins, 2007) e PALYNODATA (Palynodata Inc., 2006).

Os miósporos identificados foram comparados com as cartas de biozoneamentos nacionais e internacionais, possibilitando a definição das idades relativas.

A descrição morfológica baseia-se, sempre que possível, nas descrições originais, assim como, nos trabalhos de Playford (1977); Turner (1984); Albani (1989); Le Hérissé (1989); Servais *et al.* (1996); Leiming *et al.* (1998); Vecoli (1999); Al-Ruwaili (2000); Mullins (2001); Tongiorgi *et al.* (2003), González *et al.* (2005) e Pereira *et al.* (2008).

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Ocorrência Palinológica**

De maneira geral, a matéria orgânica e os palinomorfos apresentaram bom estado de preservação. Entretanto, os miósporos apresentaram uma coloração muito variável entre amarelo claro translúcido a castanho muito escuro, o que em alguns casos dificultou a identificação dos mesmos.

Há uma maior abundância e diversidade de miospóros em detrimento ao fitoplâncton das amostras de 1 a 7 o que se inverte a partir da amostra 8. O aumento da diversidade e abundância de acritarcos e ficomas coincide com o desaparecimento das intercalações de óxido de ferro (Figura 2) que marcam frequência nas amostras de 4 a 7. Estas também apresentaram registros de bioturbação, indicando, portanto, um aumento relativo do nível do mar e a provável superfície de inundação máxima da Formação Pimenteiras.

Foram identificadas aproximadamente 41 espécies de aproximadamente 22 gêneros de miósporos (Figura 3) e aproximadamente 72 espécies de acritarcos, incluindo as ficomas, distribuídos em 34 gêneros (Figura 4). A lista completa das espécies identificadas consta em Apêndice e as fotos dos palinomorfos mais representativos nas figuras 5, 6 e 7.

### **Distribuição Bioestratigráfica**

A distribuição bioestratigráfica das associações de acritarcos e ficomas estão ilustradas na figura 3 e de miósporos na figura 4. Através da distribuição global dos grupos e, sobretudo, do biozoneamento de miósporos feito na Europa Ocidental (Richardson & McGregor, 1986; Streef *et al.*, 1987) e no Brasil (Melo & Loboziak, 2003) foi possível demarcar no afloramento estudado o intervalo corresponde ao Neoeifeliano a possivelmente passagem do Neofrasniano-Eofameniano.

Com exceção da possível ocorrência de alguns exemplares do gênero *Imperfectotriletes* spp. (Figura 5Z) presente em duas amostras (1 e 3) os demais miósporos são apresentados em associações dentro do intervalo correspondente ao Devoniano. O gênero *Imperfectotriletes* foi definido em biozanas no Siluriano Inferior por Steemans (2000) e outros autores, como Rubinstein & Vaccari (2004), também marcaram a presença das espécies deste gênero dentro de zonas do Siluriano. De maneira que o registro deste pode ser sugestivo de retrabalhamento no mínimo do Siluriano.

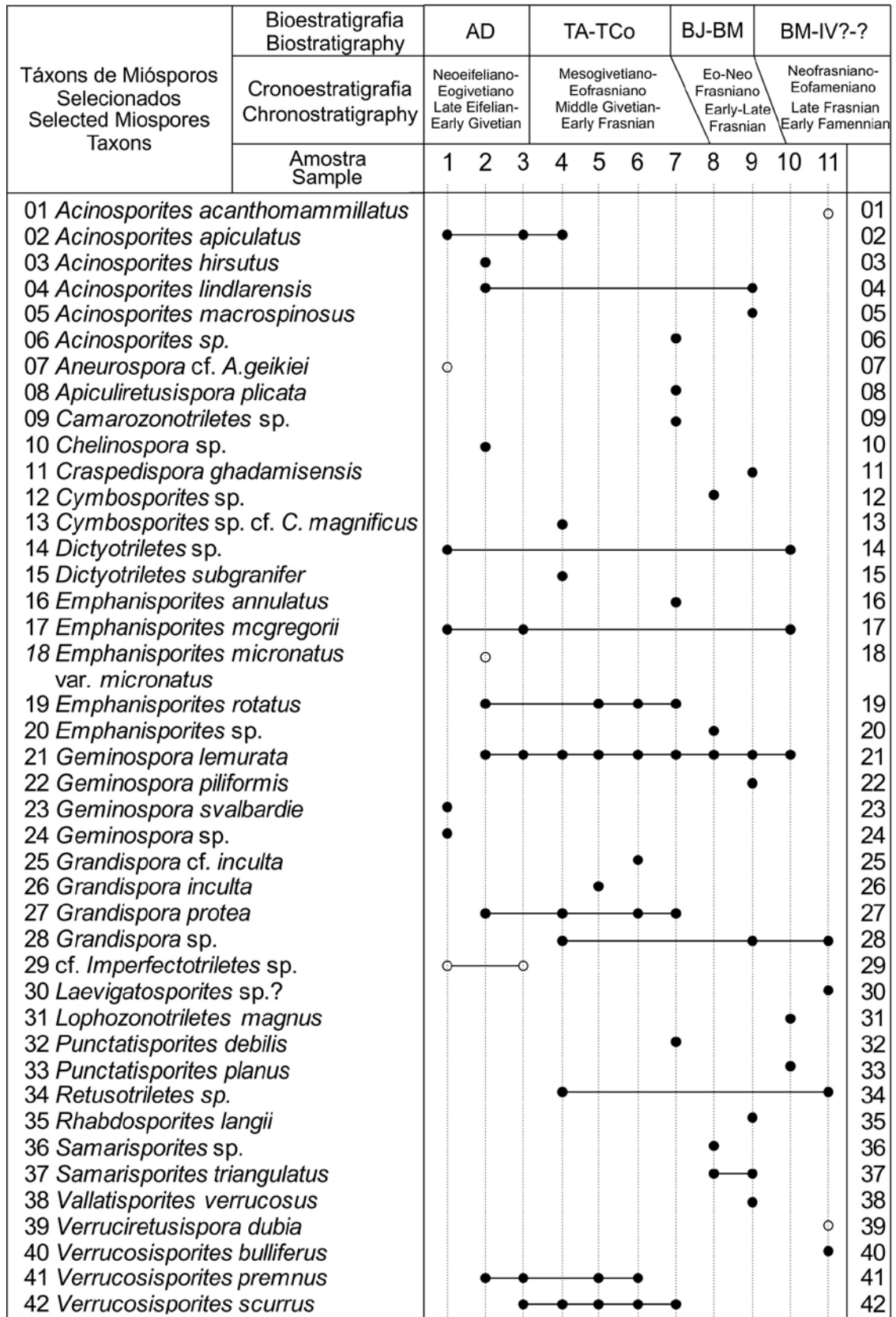


Figura 3: Gráfico de distribuição de miósporos. Os miósporos autóctones estão representados por pontos circulares sólidos e os retrabalhados por pontos vazados. Uma correlação com as biozonas de Streele *et al* (1997) é marcada na tabela.

Figure 3: Miopore distribution chart. Indigenous miósporos are represented by solid circular points and reworked by hollow points. A correlation to the biozones of Streele *et al* (1997) is marked in the upper portion of graph.

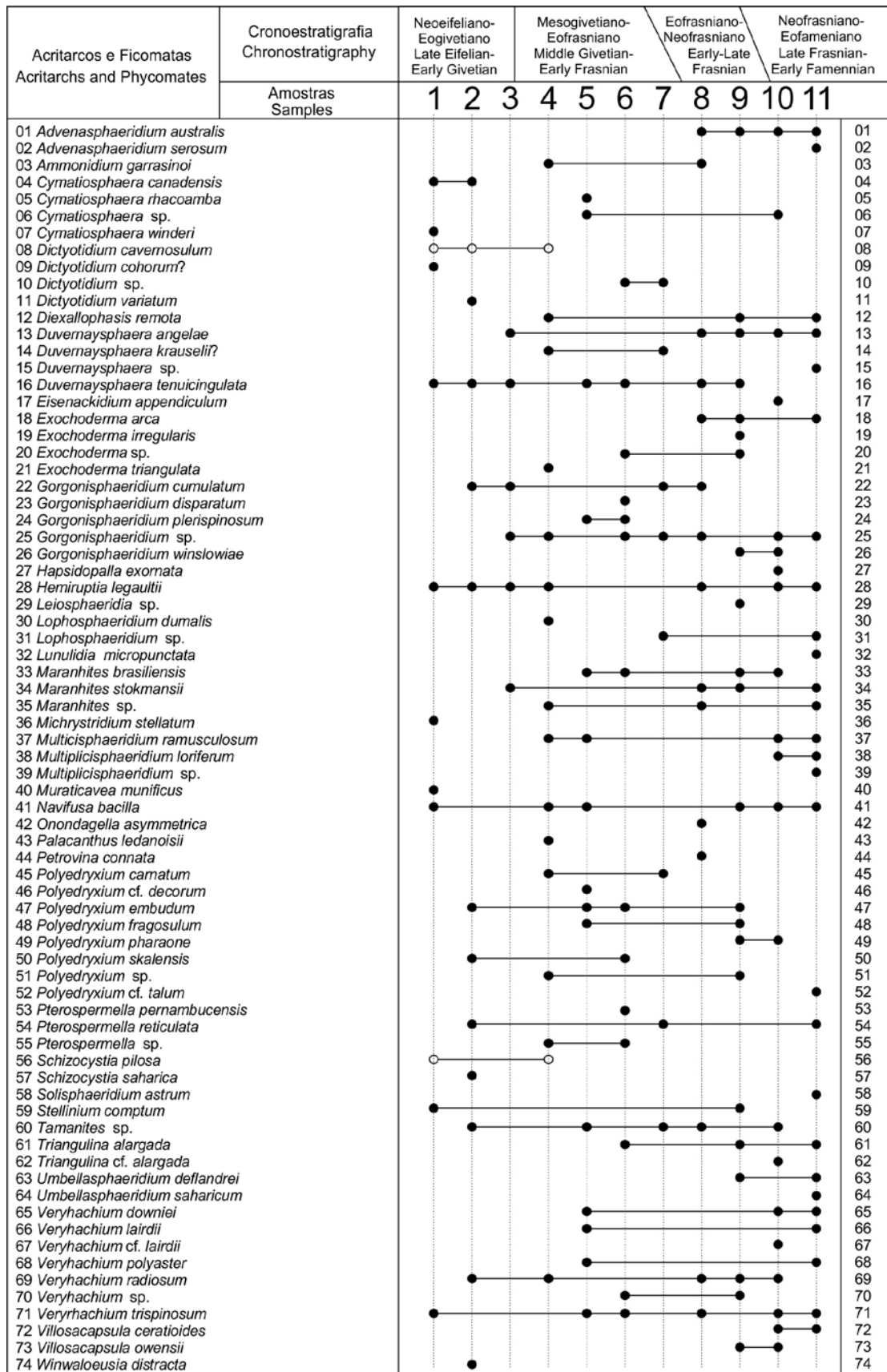


Figure 4: Gráfico de distribuição de acritarcos e ficomas. As espécies autóctones estão representadas por pontos circulares sólidos e os retrabalhados por pontos vazados.

Figure 4: Acritarchs and ficornates distribution chart. The native species are represented by solid circular points and reworked by hollow points.

Esse possível retrabalhamento também é marcado pela importante ocorrência da espécie de miósporo *Aneurospora* cf *A. geikiei* na amostra 1 e *Emphanisporites micrornatus* na amostra 2 (Figura 5K). *A. cf A. geikiei* foi encontrada pela primeira vez por Wellman & Richardson (1996), identificada na biozona *Apiculatiretispora* sp. E, que marca o início do Lockoviano na Escócia. Rubinstein *et al.* (2005) também registraram a presença de *A. geikiei* no Lockoviano da Bacia de Solimões. *Emphanisporites micrornatus* foi registrado na zona *Emphanisporites micrornatus* –*Streelispota newportensis* de Richardson & McGregor (1986) do Devoniano Inferior, intervalo equivalente ao Lockoviano-Emsiano e na zona equivalente MN (Streel *et al.*, 1987). Aménabar (2006) também registrou *E. micrornatus* no Emsiano da Argentina. Além disso, foram registrados alguns espécimes de *Schizocystia pilosa* na mostra 1 e 4 (Figura 7H e I). Le Hérisse (2009) afirma que o gênero *Schizocystia* é característico do Devoniano Inferior. Este gênero é registrado em palinozonas do Devoniano Inferior na Bolívia (Suárez-Soruco & Lobo-Boneta, 1983). Vavrdová *et al.* (1996) menciona a abundância de *Schizocystia pilosa* no Devoniano Inferior da Formação Tequeje na Bacia de Madre de Dios, nordeste da Bolívia. McGregor (1984, pl.4, fig 16) também nota a frequente ocorrência desta, como “acritarco não identificado” no Devoniano Inferior da Formação Santa Rosa, Cordillera Oriental, no sudeste da Bolívia, e Rubinstein (2005) registra a presença no Lockoviano da Bacia do Solimões.

Ainda no que tange a presença de espécies mais antigas que Neoeifeliano, também foi registrado a presença de *Dictyotidium cavernosulum* (amostra 1, 2 e 4, vide figura 4 e 6E). Esta espécie tem sua primeira ocorrência registrada por Playford (1977) no Emsiano.



---

 Figura 5

Prancha de fotos de miósporos identificados no afloramento estudado da Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba. A barra de escalas representa 10µm para as fotos de A a X e 20 µm para Y e Z.

Figure 6: Plates of miospores identified in outcrop studied of Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin. The scale bar is 10µm for the photos from A to X and 20µm for Y and Z.

A- *Acinosporites hirsutus*; B- *Acinosporites acanthomammillatus*; C- *Acinosporites apiculatus*; D- *Acinosporites lindlarensis*; E- *Acinosporites macrospinosus*; F- *Apiculiretusispora plicata*; G- *Craspedispora ghadamisensis*; H- *Dictyotriletes* sp.; I- *Emphanisporites annulatus*; J- *Emphanisporites mcgregorii*; K- *Emphanisporites micror-natus* var. *micror-natus*; L- *Emphanisporites rotatus*; M e O - *Geminospora lemurata*; N- *Punctatisporites planus*; P- *Geminospora piliformis*; Q- *Lophozonotriletes magnus*; R- *Verruciretusispora dúbia*; S- *Verrucosisporites bulliferus*; T- *Samarisporites triangulatus*; U- *Vallatisporites verrucosus*; V e W- *Verrucosisporites scurrus*; X- *Verrucosisporites premnus*; Y- *Grandispora protea*; Z- cf. *Imperfectotriletes* sp.

---

## Figuras 6 e 7

Pranchas de fotos de acritarcos e ficomatas identificados no afloramento estudado da Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba.

Figure 7 and 8: Plates of acritarchs and phycornates identified in outcrop studied of Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin.

Figura 6: A- *Advenasphaeridium australis* (10µm); B- *Ammonidium garrasinoi* (10µm); C- *Cymatiosphaera rhacoamba* (10µm); D- *Dictyotidium cohortum?* (10µm); E- *Dictyotidium cavernosulum* (10µm); F- *Diexallophasis remota* (20µm); G- *Duvernaysphaera angelae* (10µm); H- *Duvernaysphaera tenuicingulata*(10µm); I- *Eisenackidium appendiculum*(10µm); J- *Exochoderma irregularis* (10µm); K- *Exochoderma triangulata*(20µm); L- *Hemiruptia legaultii* (10µm); M- *Lunulidia micropunctata* (20µm); N- *Maranhites brasiliensis* (20µm); O- *Maranhites stokmansii* (20µm); P e U- *Navifusa bacilla* (20µm); Q- *Multiplicisphaeridium loriferum* (20µm); R- *Multicisphaeridium ramusculosum* (10µm); S- *Muraticavea munificus* (10µm); T- *Polyedryxium embudum* (10µm); V- *Palacanthus ledanoisii* (10µm); W- *Polyedryxium carnatum* (10µm).

Figura 7: A-*Polyedryxium skalensis*; B e C- *Pterospermella pernambucensis*; D e E- *Pterospermella reticulata* (C e E- Modo Fluorescência/ Fluorescence Mode); F- *Umbellasphaeridium saharicum*; G- *Schizocystia saharica*; H e I- *Schizocystia pilosa*; J- *Veryhachium polyaster*; K- *Veryhachium downiei*; L- *Umbellasphaeridium deflandrei*; M- *Villosacapsula owensii*; N- *Veryrhachium trispinosum* (A-I e K-N = 10µm e J= 20 µm).

Figura 5

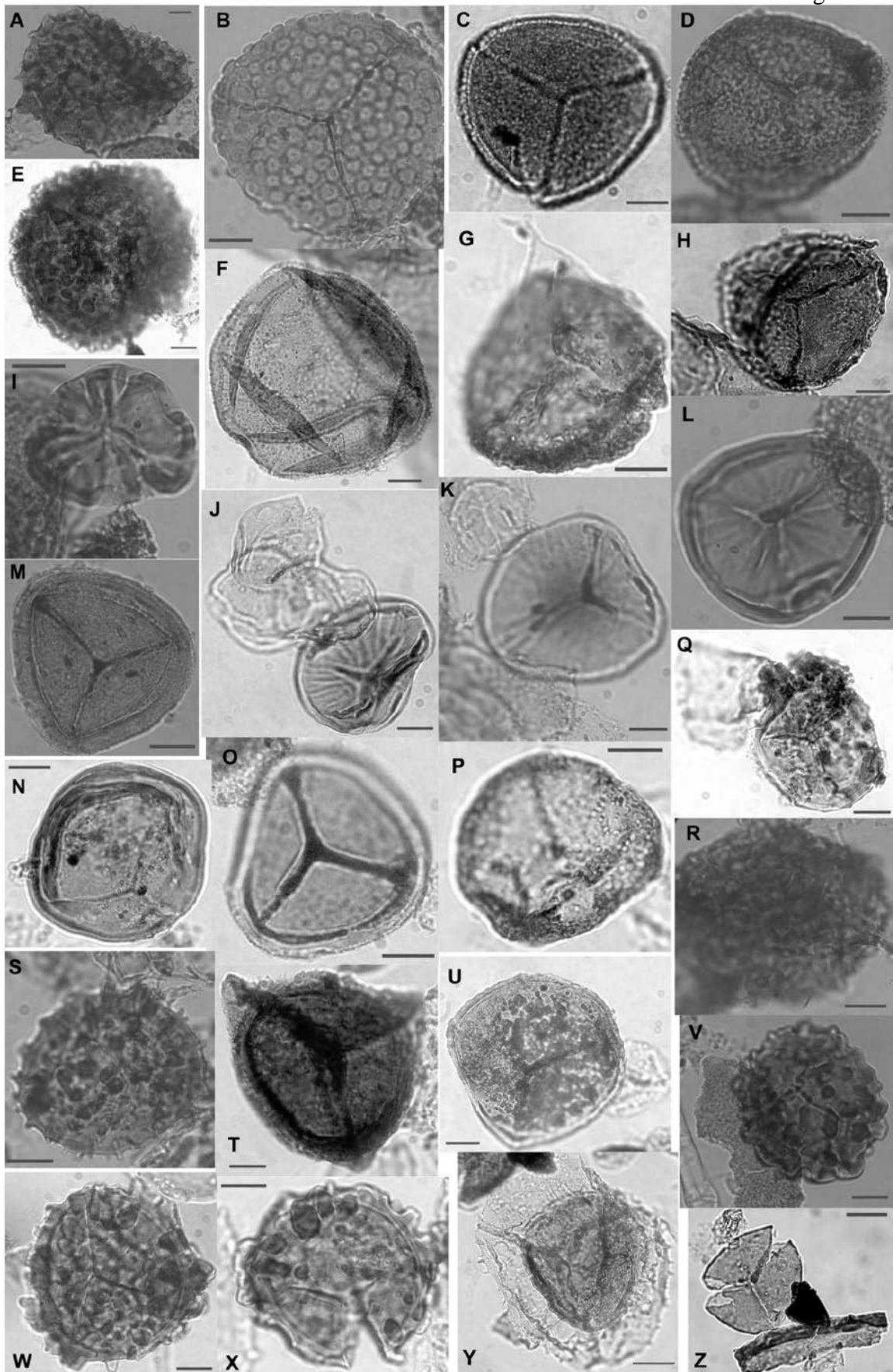


Figura 6

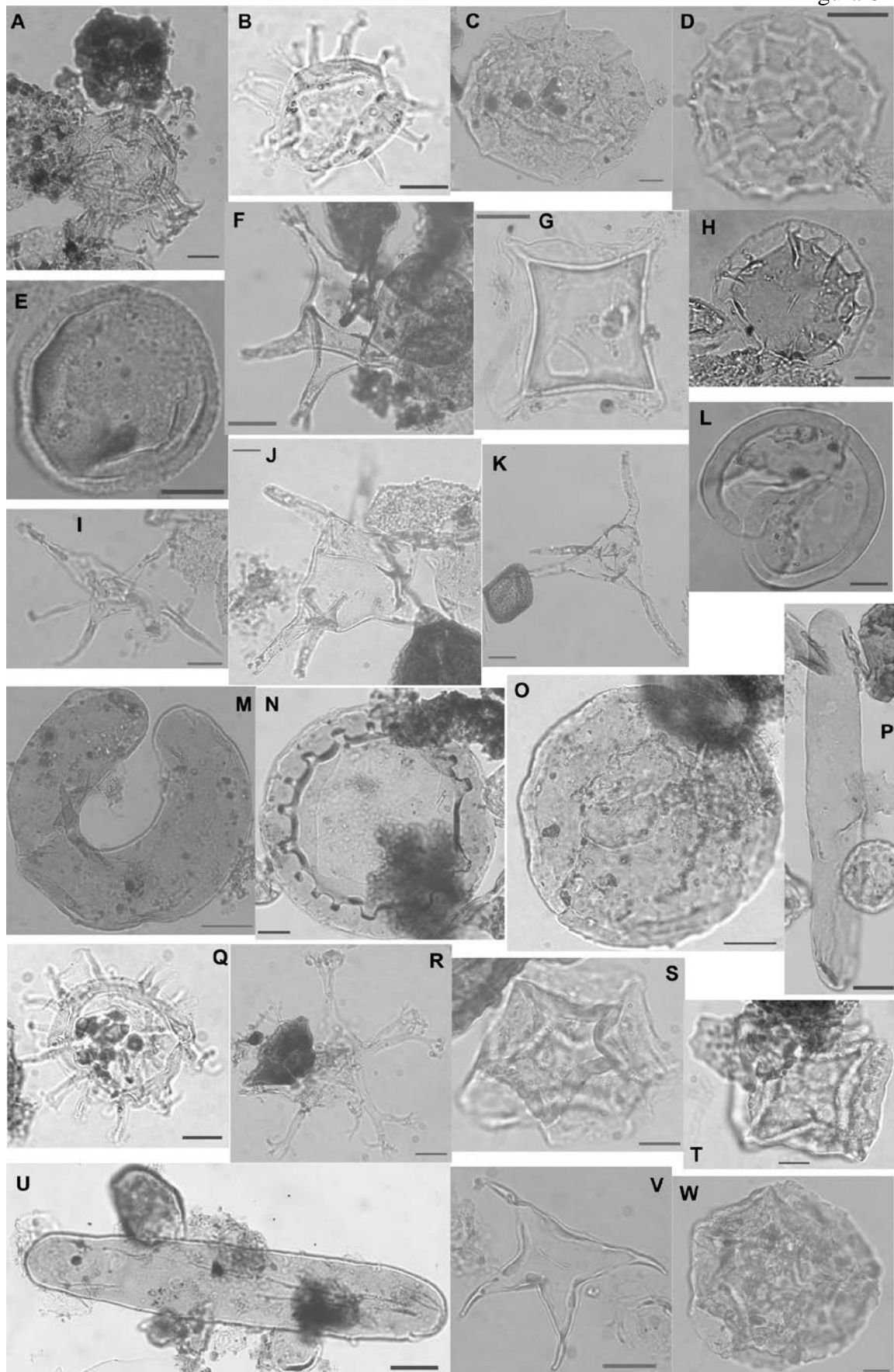
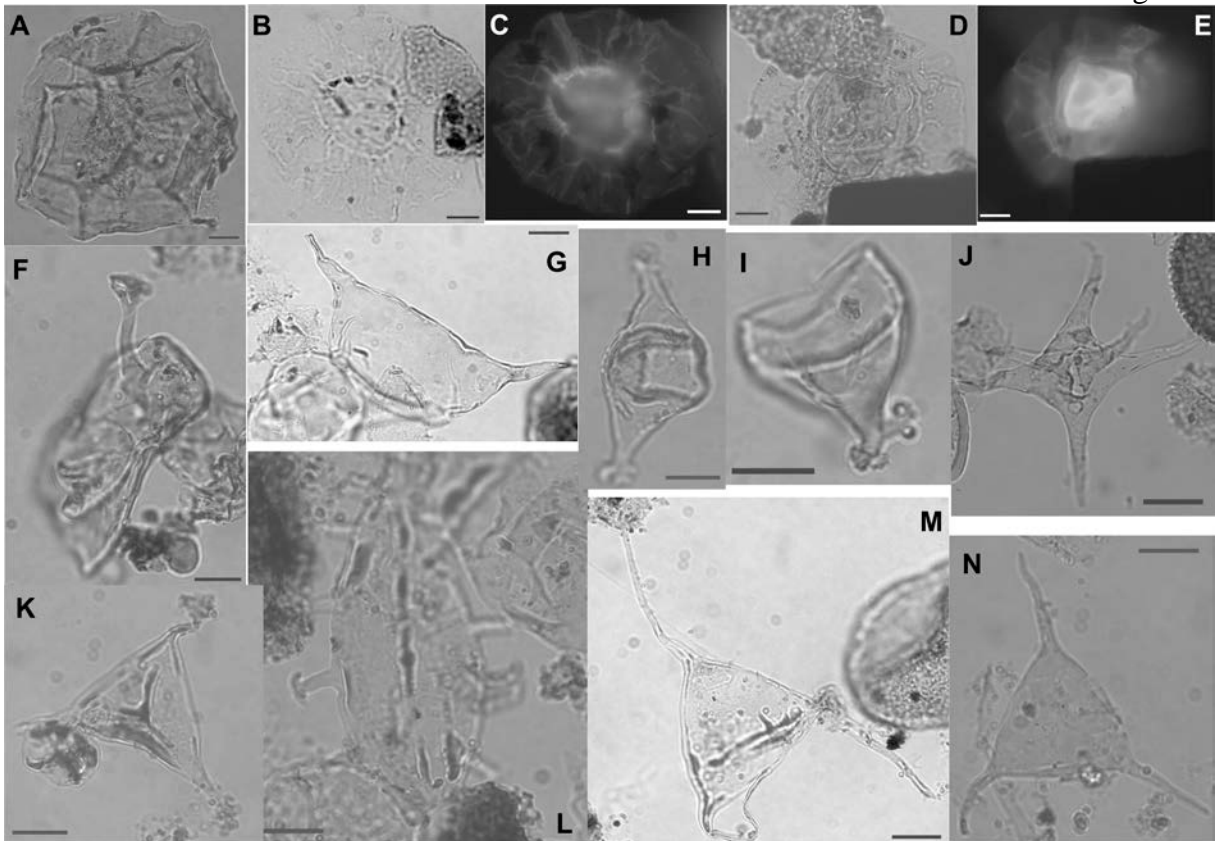


Figura 7



É sabido, entretanto, que o range bioestratigráfico dos acritarcos e ficomatas podem variar conforme o paleomambiente deposicional e o contexto geológico de cada bacia. Mas é preciso também levar em consideração os ciclos transgressivos/regressivos que marcam a Formação Pimenteiras. O primeiro intervalo regressivo de idade eogivetiana é correspondente à parte média da Formação Pimenteiras (Santos & Carvalho, 2009) e esta diminuição do nível do mar pode ter tido influência sobre o retrabalhamento da matéria orgânica mais antiga.

Dessa maneira, esta assembleia, característica do Lockoviano-Emsiano, pode ser retrabalhada possivelmente de estratos mais antigos da bacia e, neste caso, sendo considerados alóctones.

Determinar a presença de palinomorfos retrabalhados em associações palinológicas de qualquer idade constitui sempre um desafio (Amenábar, 2006). O processo de classificação taxonômica dos palinomorfos retrabalhados é complexo, ainda que a porcentagem de retrabalhamento seja alta (di Pasquo & Azcuy, 1997). Por conseguinte, com frequência, são ignoradas as formas recicladas, embora a erosão e a redeposição de partículas inorgânicas e

orgânicas em sedimentos mais jovens é uma ocorrência muito comum (por exemplo, Richardson & Rasul, 1978).

A seguir é apresentado um arcabouço bioestratigráfico correspondente ao intervalo Neoeifeliano-Eofameninano das espécies registradas no afloramento estudado.

### **Intervalo: Neoeifeliano - Eogivetiano**

Na porção mais basal do afloramento foi identificada uma associação de palinomorfos que caracterizam a transição do fim do Eifeliano para o início do Givetiano.

*Acinosporites apiculatus*, por exemplo, registrado nas amostras 1, 3 e 4 (vide Figuras 3 e 5C), foi identificado a primeira vez no biozoneamento feito por Rigiél (1975) (apud Streeel *et al.*, 1987) na Biozona AP (*Acinosporites apiculatus* – *Calyptosporites proteus*), que está baseada na primeira ocorrência de *A. apiculatus*, no intervalo correspondente ao Neoemsiano-Neogivetiano na região de Eifel. No biozoneamento elaborado no Continente *Old Red Sandstone* (ORS) por Richardson & McGregor (1986) esta zona corresponde a toda zona *Grandispora doglowntownense* – *Ancyrospora eurypterota*, correspondente ao intervalo Neoemsiano-Eoeifeliano e a zona *Calyptosporites vellatus* – *Rhabdosporites langii* do Eoeifeliano. Em ambas há o registro de *Acinosporites apiculatus* e, sobretudo, nessa última há uma diversificação do gênero *Acinosporites*.

Também de acordo com o biozoneamento feito Richardson & McGregor (1986) é comum o aparecimento de todas as espécies características da zona *vellatus-langii* na zona subsequente (*Densosporites devonicus* - *Grandispora naumovii*), que corresponde ao intervalo Mesoeifeliano-Eogivetiano. Na zona *devonicus-naumovii* ocorre também a primeira aparição dos miósporos com estrutura verrucosa (exemplo, *Verrucosporites premnus* e *V. scurrus*).

Além disso, o registro de *Geminospora lemurata* (Figura 5M e O) associado a *Verrucosporites premnus* (Figura 5X), ocorrendo a partir da amostra 2, e *V. scurrus* (Figura 5V e W), a partir da amostra 3, sugere uma forte correlação com a base da Biozona

*Geminospora lemurata* – *Cimbosporites magnificus* (Meso-givetiano) e o topo de *devonicus-naumovii* de Richardson & McGregor (1986). O que também correlaciona a transição entre as zonas AP (*Acinosporites apiculatus* – *Calyptosporites proteus*), baseada na primeira ocorrência de *Acinosporites apiculatus* e AD (*Acinosporites acanthomammillatus* – *Densosporites devonicus*) até o intervalo Lem de Strel *et al.* (1987).

Além disso, a ocorrência conjunta dos esporos *Acinosporites apiculatus*, *A. lindlarensis* (Figura 5D) e *Grandispora protea* (Figura 5Y) também foram registradas na biozona GS (*Grandispora* – *Samarisporites*) de Mello & Loboziak (2003), de idade Neoemsiano-Eoiefeliano e nas zonas correspondentes de Strel *et al.* (1987), equivalendo ao topo da zona FD (Eo-Neoemsiano) e toda a zona AP (*Acinosporites apiculatus*- *Grandispora protea*). *Grandispora protea* também foi registrada no Neoemsiano- Eoiefeliano por Grahn *et al.* (2010) na bacia do Paraná.

Na Formação Pimenteiras, no entanto, *A. apiculatus*, *A. lindlarensis* e *G. protea* foram identificadas por Loboziak *et al.* (2000) em estratos que correspondem desde a base do Givetiano (zona AD-Lem) até o Neofrasniano, com *A. apiculatus* sendo registrado até a zona BJ e os demais até a zona BM.

Melo & Loboziak (2003) afirmaram que não estão registradas nas Bacias do Parnaíba e Paraná, assembleias equivalentes à zona GS. Porém outros trabalhos (Grahn *et al.*, 2000, 2001; Loboziak & Melo, 2000) registraram que estratos potencialmente equivalentes podem existir dentro das Formações Itaim e Ponta Grossa. O presente trabalho se restringiu a Formação Pimenteiras e por isso considera apenas a presença da zona AD (Strel *et al.*, 1987) equivalente a transição entre as zonas *devonicus-naumovii* e *lemurata* – *magnificus*.

Em concordância *Acinosporites lindlarensis* e *Emphanisporites rotatus* (Figura 5L) foram identificadas por Mauller (2007) na Formação Ponta Grossa. A primeira espécie é reportada no intervalo correspondente a biozona AD, pré-Lem e biozona BJ, no intervalo Eifeliano-

Frasniano e a espécie *E. rotatus* no intervalo correspondente a biozona AD, pré-Lem até a biozona IV de Streele *et al.* (1987). *Emphanisporites rotatus* foi identificado inclusive na Formação Jaicós, Devoniano Inferior da Bacia do Parnaíba. Entretanto, nesta foi identificada na biozona Su que corresponde ao intervalo Neopraguiano- Eoemsiano (Grahn *et al.*, 2005). No presente trabalho *E. rotatus* é registrado desde o Neoeifeliano ao Frasniano.

Na Formação Pimenteiras *Geminospora lemurata* aparece desde o Eogivetiano até o Neofrasniano e no Neofameniano, na Formação Cabeças (Loboziak *et al.*, 2000). No presente trabalho esta espécie foi identificada em praticamente todas as amostras com exceção apenas da amostra 1 (Figura 3).

*Emphanisporites mcgregorii* (Figura 5J), identificado no atual trabalho desde o Neoeifeliano ao Neofrasniano (Figura 3), foi registrado por Grahn *et al.* (2010) na Bacia do Paraná, desde a zona PoW, intervalo Su (Neopraguiano- Eoemsiano) até o intervalo Lem da zona AD (Eogivetiano) (Streele *et al.*, 1987).

Assim, a representação da possível transição e/ou uma zona de mistura entre essas zonas caracteriza o intervalo mínimo do Neoeifeliano até o Eogivetiano.

Na amostra 2 foi verificada também a espécie *Acinosporites hirsutus* (Figura 5A), que é característica do Devoniano médio, embora tenha sido encontrada até o início do Frasniano por McGregor & Camfield (1982).

*Geminospora svalbardie*, registrada na amostra 1 (Figura 3), foi definida na zona A3 de Mauller (2007), no intervalo correspondente ao início do Eifeliano (Eoifeliano).

Esta associação de mióporos é também marcada por uma ligeira diversidade de *Geminospora* sp., *Dictyotriletes* sp. (Figura 5H) e um espécime de *Chelinospora* sp.

A distribuição dos acritarcos e ficomatas considerados autóctones corroboram o intervalo sugerido, sendo possível citar: *Cymatiosphaera canadensis*, *C. winderi*, *Duvernaysphaera angelae* (Figura 6G), *D. tenuicingulata* (Figura 6H), *Gorgonisphaeridium cumulatum*,

*Muraticavea munificus* (Figura 6S), *Dictyotidium cohortum* (Figura 6D), *D. variatum*, *Schizocystia saharica* (Figura 7G), *Stellinium comptum* e *Veryhachium radiosum*.

Wicander & Wright (1983) registraram também *Cymatiosphaera canadensis* no intervalo do Siegeniano (antigo andar do Devoniano inferior) até o Givetiano em Ohio e de acordo com Fensome *et al.* (1990) esta espécie é típica do Devoniano Inferior. A datação feita por Wicander & Wright (1983) também registra *Muraticavea munificus* do Eo ao Neogivetiano. Fensome *et al.* (1990) afirmam também que *Dictyotidium cohortum* é uma espécie característica do Givetiano e que *Stellinium comptum* é característico do Devoniano Superior. Embora Tournau & Racki (1999) tenham registrado *S. comptum* no Givetiano da Polônia e Wicander (1974) tenha registrado esta espécie no Fameniano na América do Norte.

Já as espécies *Schizocystia pilosa* e *Schizocystia saharica* são comumente encontradas no Devoniano Inferior. Porém *S. saharica* pode ser encontrada também no Devoniano Médio a Superior (Maunder, 2007), por isto esta última foi incluída aqui como espécie autóctone dessa assembleia.

Fensome *et al.* (1990) afirmam que *Duvernaysphaera tenuicingulata* é uma espécie do Devoniano Superior. Embora, esta espécie tenha sido identificada em associação com *Schizocystia saharica* na passagem do Emsiano para o Eifeliano por Antonielli & Otone (2006), na província de Santiago del Estero, Argentina. Assim como neste trabalho, os referidos autores também registraram em associação às espécies citadas a presença de *Acinosporites lindlarensis*, *Emphanisporites rotatus* e o morfogênero *Grandispora*.

A espécie *Gorgonisphaeridium cumulatum* foi registrada no Neopraguiano- Givetiano de Ontário por Playford (1977), no Neolokoviano na Bacia do Solimões (Rubinstein *et al.*, 2008) e no Devoniano Médio da Bacia de Junggar, na China (Zhu *et al.* 2008).



*Cymatiosphaera winderi* têm sua primeira ocorrência registrada por Playford (1977) no intervalo Neopraguiano (Siegeinano) – Givetiano, da Bacia do Rio Moose, Bacia de Ontário, Canadá. *C. canadensis* foi registrada por Wicander & Wright (1983) no Devoniano médio. *Dictyotidium variatum* registrado do Neolokoviano ao Eifeliano por Playford (1977) e do Neolokoviano ao Givetiano por Wicander & Wright (1983). *Veryhachium radiosum* também registrada pela primeira vez no Neopraguiano por Playford (1977) já foi posteriormente reportado do Devoniano Médio até o Fameniano na Bacia do Parnaíba (Quadros, 1982; Brito & Quadros, 1984).

Em adição, *Duvernaysphaera angelae* foi identificada por Oliveira (1997) no intervalo equivalente ao Eifeliano a Frasniano. Na Argentina foi registrada na Formação Los Monos, Bacia de Tarija, também em associação com *Hemiruptia legaultii* (Figura 7L) e *Geminospora lemurata*, no intervalo do Neogivetiano a Eofrasniano (Ottone, 1996).

*Maranhites stockmansii* (Figura 6O) foi observado no intervalo correspondente ao Frasniano na Bacia do Paraná por Oliveira (1997) e por Souza *et. al.* (2013).

*Veryhachium trispinosum* (Figura 7N), *Winwaloesusia distracta* e *Tamanites* sp e alguns outros espécimes do gênero *Gorgonisphaeridium* também foram registrados nesta associação. Entretanto, estas espécies possuem ampla distribuição no Devoniano e, portanto, não são importantes para a definição do arcabouço bioestratigráfico.

#### **Idade: Mesogivetiano-Eofrasniano**

Na porção mais intermediária do afloramento foram identificadas zonas-associações de esporos, acritarcos e ficomatas que indicam o intervalo cronoestratigráfico correspondente a porção média do Givetiano a base do Frasniano.

Assim, a presença de *Geminospora lemurata* associada à *Cymbosporites* sp. cf. *C. magnificus* marcam a presença da zona *Geminospora lemurata* - *Cymbosporites magnificus* de Richardson & McGregor (1986) de idade Meso-givetiana.

Assim como no trabalho aqui apresentado, o registro de *Emphanisporites annulatus* (Figura 5I) e *Dictyotriletes subgranifer* foi feito por Xu & Gao (1991) no Devoniano Médio, no Leste de Yunnan na China, e *Apiculiretusispora plicata* (Figura 5F) foi registrada no intervalo do Devoniano Médio (mais provavelmente no Eogivetiano) da Europa Central, por Vavrdová & Dasková (2011).

A primeira ocorrência de *Samarisporites triangulatus* (Figura 5T) e *Cymbosporites* sp., na mostra 8, pode ser indicativo da presença da zona *Samarisporites triangulatus* (TRg) definida por Melo & Loboziak (2003) que têm intervalo de ocorrência do Eogivetiano – Eofrasniano. A base da zona TRg é marcada pela primeira aparição de *S. triangulatus*. Rodrigues *et al.* (1995) identificaram um hiato na Formação Pimenteiras, para estes autores a parte mais superior da zona TRg parece estar faltando.

A correspondência da zona TRg com o biozoneamento feito por Richardson & McGregor (1986), no continente *Old Red Sandstone*, é com a parte superior da zona *lemurata-magnificus* e inteiramente a zona *optivus-triangulatus*. Entretanto, nas amostras estudadas foram verificadas apenas a presença de algumas espécies características de ambas as zonas, como a presença de *Geminospora lemurata*.

Na região Ardenne-Rhenish, também na Europa Ocidental, a correspondência da zona TRg é com as zonas TA e TCo (Streel *et al.*, 1987). Na sua parte mais alta a zona TCo ultrapassa o limite do Givetiano/ Frasniano. A zona TA também é marcada pela primeira ocorrência de *Samarisporites triangulatus* e a TCo pela primeira ocorrência de *Chelinospora concinna* Allen (1965) e *Cirratriradites jekhowskyi* Tauguordeau- Lantz (1967). Porém, como nenhuma destas duas últimas espécies foram registradas por este trabalho, seria impreciso demais sugerir uma assembléia de miósporos para a faixa de TCo. De modo semelhante Lobokiak *et al.* (2000) ao registrarem apenas um único espécime de *Chelinospora concinna*, nos afloramentos da borda oeste da Formação Pimenteiras, por eles estudados, também

consideraram impreciso o marco dessa faixa zonal nesta porção de Pimenteiras. Entretanto, a assembleia de acritarcos e ficomatas discutidas a seguir permitem inferir a passagem do Givetiano para o Frasniano, intervalo correspondente a zona TCo.

Na amostra 7 a presença de *Punctatisporites debilis* é também mais uma evidência do registro do Devoniano Superior. Entretanto, em outros trabalhos esta espécie foi mais comumente encontrada na transição entre Fameniano e o Carbonífero. *P. debilis* foi registrada, por exemplo, no Fameniano (Struniano) por Playford (1993) e no Mississipiano (Carbonífero) por Loinaze (2008).

A associação de acritarcos e ficomatas encontrada em conjunto com estas espécies de miósporos são aqui discutidas para confirmar o registro de uma assembleia de palinórfos indicativas da passagem do Devoniano Médio para o Superior. As espécies de maior importância bioestratigráfica são: *Polyedryxium embudum* (Figura 6T), *P. carnatum* (Figura 6W), *P. fragosulum*, *Polyedryxium skalensis* (Figura 7A), *Ammonidium garrasinoi* (Figura 7B), *Maranhites brasiliensis* (Figura 6N), *Duvernaysphaera krauseli*, *Diexallophasis remota* (Figura 6F), *Exochoderma triangulata* (Figura 6K), *Cymatiosphaera rhacoamba* (Figura 6C), *Gorgonisphaeridium plerispinosum*, *G. disparatum*, *Triangulina alargada*, *Pterospermella pernambucensis* (Figura 6B e C) e *Pterospermella reticulata* (Figura 6D e E).

*Polyedryxium embudum* foi reportado no intervalo do Neoemiliano ao Neoeifeliano de Ontário (Deunff, 1966, 1971; Playford, 1977); Eifeliano-Givetiano de Ohio (Wicander & Wright, 1983). Na Argentina foi registrado do Eogivetiano ao Neofrasniano por Barreda (1986) e Ottone (1996). *P. carnatum* foi registrado a primeira vez por Playford (1977) no intervalo correspondente ao Neolokoviano-Emsiano, mas foi também registrado no Eogivetiano por Moreau-Benoit (1984). *P. fragosulum* foi identificado pela primeira vez no Emsiano de Ontário também por Playford (1977). Porém, Wicander & Wright (1983) registram *P. fragosulum* do Neopruguiano (Siegeniano) ao Emsiano e Oliveira (1997) a reportou,

inclusive, em níveis equivalentes ao intervalo Neopraguiano-Neofameniano na Bacia do Paraná.

*Polyedryxium skalensis* foi identificado a primeira vez por Turnau & Racki (1999) no Givetiano da Polônia. Enquanto que *Ammonidium garrasinoi* foi registrado na passagem do fim do Givetiano ao início do Frasniano por Ottone (1996) e Ottone & Rossello (1996).

*Maranhites brasiliensis* também foi registrada no limite entre o Givetiano e o Frasniano na Bacia do Paraná por Souza *et al.* (2013). Oliveira (1997) também identificou *M. brasiliensis* no intervalo Frasniano-Neofameniano, na Bacia do Paraná, e na Formação dos Monos, Bacia de Tarija, Argentina, este foi identificado em estratos do Frasniano (Ottone, 1996). A espécie *Duvernaysphaera krauseli* é também característica do Frasniano (Fensome *et al.*, 1990).

*Diexallophasis remota* foi descrita por Playford (1977) e é amplamente distribuída no hemisfério Norte, registrada do Llandovery ao Givetiano (Burden *et al.*, 2002) e também foi encontrada no fim do Givetiano e início do Frasniano em estratos na Argentina (Ottone, 1996).

*Exochoderma triangulata* foi identificada no Frasniano da Formação Tomachi, Bolívia (Vrardová, 1996). *Cymatiosphaera rhacoamba* foi registrada desde o Devoniano superior até o Carbonífero, em Ohio, por Wicander (1974).

*Gorgonisphaeridium plerispinosum* são encontrados dispersos no Devoniano Superior (Frasnian-Fameniano) da América do Norte, África do Norte, Europa, Oriente Médio e China (Hashemi & Playford, 1998; Gonzalez *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2008). Já *G. disparatum* foi registrada pela primeira vez no Emsiano por Playford (1977), entretanto Vrardová & Dasková (2011) registraram a presença desta Devoniano Médio, mais provavelmente no Givetiano, na zona AD, intervalo Lem de Steel *et al.* (1987).

*Triangulina alargada* provavelmente foi registrada ainda no Siluriano (Moreau-Benoit, 1974), no Devoniano Inferior na Bacia do Parnaíba (Brito, 1967, 1969), no intervalo Emsiano

a Eifeliano, no Givetiano de Ontário (Legault, 1973) e no intervalo Neopraguiano a Givetiano na Bacia do Paraná (Oliveira, 1997).

*Pterospermella pernambucensis*, de acordo com Fensome *et al.* (1990), é uma espécie do Devoniano Médio. Embora Ottone (1996) já tenha reportado a presença desta no Neogivetiano- Eofrasniano e Noetinger & di Pasquio (2011) a tenham registrado no intervalo correspondente ao Mesoeifeliano ao Givetiano, ambos na Bacia de Tarija, na Argentina. Também segundo Fensome *et al.* (1990) *Pterospermella reticulata* é uma espécie característica do Lokoviano, entretanto já foi reportada por Wicander (1974) no Gevetiano e no intervalo Givetiano-Frasniano por Mauller (2007).

*Navifusa bacilla* (Figura 6P e U) é uma espécie cosmopolita anteriormente relatada do Emsiano ao Fameniano na América do Norte (Deunff, 1955, 1966, 1967, Legault, 1973; Wicander, 1974; Wicander & Wood, 1981; Wicander & Wright, 1983; Wood, 1986; Huysken *et al.*, 1992), no Emsiano/ Frasniano da Bacia do Paraná (Oliveira, 1997). *N. bacilla* também foi registrada por Brito & Santos (1965) e Brito (1967), no Devoniano médio do Paraguai por Póthe de Baldís (1974), no Neogivetiano- Eofransiano da Argentina (Barreda, 1986; Ottone, 1996), no Givetiano da Líbia (Moreau & Benoit, 1984), do Emsiano ao fim do Devoniano no Norte da África (Jardiné, 1972; Jardiné *et al.*, 1974) e também no Devoniano médio da Bacia de Junggar, na China (Zhu, 2008). Na Bacia do Parnaíba Playford *et al.* (2012) encontraram na Formação Longá (Fameniano/Tounarsiano) acritarcos do Devoniano Médio e Superior, como *N. bacilla*, retrabalhados devido a um evento glacial. No atual trabalho *N. bacila* ocorre desde o Neoeifeliano até o Devoniano Superior (Figura 4).

Além de *N. bacila*, este intervalo também é marcado pela grande diversidade e abundância de acritarcos e ficomasas cosmopolitas, não só do Devoniano como as vezes de boa parte do Paleozóico. Dessa maneira, como estas espécies não apresentam importância para o biozoneamento o posicionamento cronestratigráfico destas não é aqui discutido. Entre as

espécies identificadas de maior range no Devoniano e até no Paleozóico, de forma geral, é possível citar: *Polyedryxium cf decorum*; *Polyedryxium* sp.; *Pterospermella* sp.; *Protosalvinia* sp.; *Tasmanites* sp.; *Veryhachium downiei*; *Veryhachium polyaster* (Figura 8J); *Veryhachium trispinosum*; *Veryhachium lairdii* *Veryhachium* sp. e *Dictyotidium* sp.

#### **Idade: Eofrasniano-Neofrasniano**

A presença de *Verrucosisporites bulliferus* (Figura 6S) e *Geminospora piliformis* (Figura 5P) são importantes evidências das zonas marcadoras do Frasniano. Na Godwana ocidental Loboziak & Streel (1995) registraram *Geminospora piliformis* aparecendo pela primeira vez em estratos considerados de transição entre a zona BJ (Eofrasniano) e a zona *Verrucosisporites bulliferus* – *Lophozonotriletes media* (BM) (Neofrasniano) de Streel *et al.* (1987). A base da zona BM é definida pela entrada da espécie *Lophozonotriletes media* Taugourdeau-Lantz (1967).

Loboziak *et al.* (2000) definiram na borda oeste da Formação Pimenteiras a zona BJ em estratos que contenham *V. bulliferus* e/ou *G. piliformis* e estratos que contenham ambas espécies em conjunção com o táxon *Lophozonotriletes media* permitem uma atribuição indiscutível da sobreposição da zona BM. Assim, *Geminospora piliformis* foi registrada por Loboziak *et al.* (2000), na Formação Pimenteiras, em estratos correspondentes a zona BJ (Eofrasniano), em toda a zona BM e possivelmente na transição BM-IV (Neofrasniano) de Streel *et al.* (1987).

No presente estudo não foi identificada a presença de *L. media*, mas espécie *V. bulliferus* foi identificada no ponto 11 (vide Figura 3). Assim, a partir desses dados é possível sugerir a presença da zona BJ no afloramento estudado, mas é impreciso sugerir o registro da entrada da zona BM. Muito embora sejam registradas espécies, sobretudo de acritarcos e ficomasas, mais frequentemente reportadas no Neofrasniano.

*G. piliformis* também foi reportada na biozona *Verrucosisporites bulliferus* – *Geminospora piliformis* (BPI) de Melo & Loboziak (2003) com ocorrência no Eofrasniano. Na Europa Ocidental *Geminospora piliformis* foi registrada ainda na zona VIa e VIb (Streel *et al.*, 1987) com idade correspondente ao Fameniano. Na Formação Ponta Grossa *G. piliformis* foi registrada em estratos datados do Neogivetiano ao Neofrasniano (Maunder, 2007).

Foi registrado também a persistência de algumas espécies de miósporos marcados em zonas do Devoniano Médio, como *Craspedispora ghadamisensis* (Figura 5G) registrada na zona *Grandispora permulta* (Per) (Melo & Loboziak, 2003) no intervalo correspondente ao Eifeliano-Eogivetiano. *C. ghadamisensis* foi também reportada do Neo-eifeliano ao Neogivetiano da Bacia do Paraná por Maunder (2007) e na Formação Pimenteiras por Loboziak *et al.* (2000) no intervalo do Eogivetiano ao Neofrasniano. Além de identificadas nestas amostras a persistência de espécies que são características da zona *devonicus-namovii* (Mesoeifeliano – Eogivetiano) como *Rhabdosporites langii* e *Acinosporites macrospinosus* (Figura 5E).

A presença de *Acinosporites macrospinosus* é também associada com *Rhabdosporites langii* e *Geminospora lemurata* na zona *Geminospora lemurata* – *Chelinospora ex. gr. ligurata* (LLi) Melo & Loboziak (2003) correspondente ao intervalo Eogivetiano.

A despeito do grande número de espécies cospomopolitas identificadas em conjunto com essa associação de miósporos do Frasniano, algumas espécies de acritarcos e ficomasas registram bem o intervalo sugerido (Eofrasniano-Neofrasniano) e por isso também compõem o zoneamento cronoestratigráfico. Por exemplo, é possível citar a presença de diferentes espécies do gênero *Maranhites* e *Umbellasphaeridium saharicum* (Figura 7F), comuns em assembleias do Devoniano Superior, não somente do Brasil, como da Bolívia e Argentina (exemplo: Ottone, 1996; Limachi *et al.*, 1996; Quadros, 1999; Noetinger & Pasquio, 2007). Assim, destaca-se que nessa associação foram encontrados um grande número de espécimes

de *Maranhites* spp., dentre as espécies *Maranhites stokmansii*, *Maranhites brasiliensis* e outras não identificadas.

*Exochoderma arca*, registrada nos pontos 8 e 9 (vide Figura 4) foi anteriormente registrada no Eifeliano-Givetiano de Kentucky, Ohio e Nova Iorque (Wicander & Wood, 1981; Wicander & Wright, 1983; Wood, 1986; Huysken *et al.*, 1992) e no Neogivetiano-Eofrasniano da Argentina (Barreda, 1986; Ottone, 1996). Já *Exochoderma irregularis* (Figura 6F), registrada apenas na amostra 9, foi encontrada desde o fim do Siluriano até o Devoniano Médio na Bolívia (Kimyai, 1983). Na Argentina esta foi registrada do Devoniano Médio ao Frasniano (Barreda, 1986; Ottone, 1996). Brito (1965) registrou *E. irregularis* no Devoniano Médio da Bacia do Parnaíba e Vavrdová *et al.* (1996) registra esta espécie no Devoniano Superior da Bolívia.

*Advenasphaeridium australis* (nomen nudum) (Figura 6A), que tem sua primeira ocorrência na amostra 8 e persiste até a 11, foi identificado a primeira vez por Oliveira (1997) no Frasniano, na Bacia do Paraná.

*Gorgonisphaeridium winslowiae* foi encontrado inclusive no Fameniano e possivelmente no Mississippiano da América do Norte, África do Norte e Europa (Playford & McGregor, 1993; Heal & Clayton, 2008). *Petrovina connata* também foi registrada a primeira vez por Loboziak *et al.* (1997) no Neofameniano.

*Umbellasphaeridium deflandrei* (Figura 7L), identificado nas amostras 9 e 11, foi encontrado na Bolívia na parte superior de Formação Tequeje, com intervalo correspondente ao fim do Givetiano até o início do Frasniano (Ottone & Rosello, 1996).

#### **Idade: Neofrasniano-Fameniano?**

Nos estratos mais superiores do afloramento o registro de *Geminospora lemurata* aparece associado à *Verrucosisporites bulliferus* e a presença de outras espécies do gênero *Geminospora*. Isto parece ter correspondência com a zona *Archaeoperisaccus ovalis* –



*Verrucosisporites bulliferus* de Richardson & McGregor (1986) correspondente ao Frasniano aproximadamente médio. Os mesmos autores afirmam, entretanto, que a espécie

*Verrucosisporites bulliferus* observada no norte de Ontário, estado de Nova Iorque, e na França pode ser idêntica à espécie *Lophozonotriletes grumosus* Naumova (1953) a qual é comum no Meso/ Neofrasniano nos depósitos da plataforma Russa.

O biozoneamento feito por Melo & Loboziak (2003) identifica a primeira aparição de *Verrucosisporites bulliferus* na zona *Verrucosisporites bulliferus* – *Geminospora piliformis* (BPi) no Eofrasniano. A presença de *Verrucosisporites bulliferus* também foi citada no Eofrasniano da Argentina (Ottone, 1996; Noetinger & Pasquo, 2007) e da Bolívia (Pérez Leyton, 1991; Vavrdová *et al.*, 1996). Na Bacia do Paraná *Verrucosisporites bulliferus* foi encontrado no intervalo do Eogivetiano ao Eofrasniano (Maunder, 2007). Na Formação Pimenteiras Loboziak *et al.* (2000) registraram esta espécie nas zonas BJ (Eo-meso-Frasniano) e BM (Neofrasniano) de Streele *et al.* (1987).

*Vallatisporites verrucosus* (Figura 6U), outra importante espécie do Devoniano Superior, é identificada na amostra 9. *V. verrucosus* foi registrada na zona *Retisphora lepidophyta* (RLe), no biozoneamento feito por Melo & Loboziak (2003) com ocorrência no Neofameniano. Estes autores destacam também que as assembleias presentes nessa zona são ricas em palinomorfos retrabalhados de estratos do Meso/Neo-devoniano. A zona RLe é correspondente a zona *Verrucosisporites nitidus* - *Vallatisporites verrucosus*, sub-zona *Retisphora lepidophyta* - *Verrucosisporites nitidus*, com intervalo cronoestratigráfico equivalente ao Fameniano (Struniano) no Continente ORS (Richardson & McGregor, 1986).

Na Bacia do Parnaíba *Vallatisporites verrucosus* foi encontrada por Loboziak *et al.* (2000) na zona LN do Fameniano e na zona BP do Mesotournasiano, na Formação Cabeças, não tendo sido registrada na Formação Pimenteiras. Na Bacia do Solimões *V. verrucosus* também foi definida no final do Devoniano Superior (Grahn *et al.*, 2003).

*Lophozonotriletes magnus* (Figura 5Q), identificada na amostra 10, foi registrada pela primeira vez por Kedo (1974) e posteriormente por Playfor & McGregor (1993), em ambos os casos no intervalo do Neodevoniano ao Carbonífero. Também identificado na amostra 10, *Punctatisporites planus* (Figura 5N) foi registrado pela primeira vez no Devoniano médio na América do Sul (Hacquebard, 1957), contudo, já foi registrado até o Carbonífero do Peru (Azcuy & di Pasquo, 2005).

Na amostra 11 foi identificada a espécie *Verruciretusispora dubia* (Figura 6R), que foi também registrada no Eo-meso-Emsiano da Biozona *Emphanisporites annulatus* – *Camarozonotriletes sextantii* (Richardson & McGregor, 1986) equivalente a Biozona de associação FD (*Emphanisporites faveolatus* - *Verruciretusispora dubia*) de Streeel *et al.* (1987). Além disso, foi encontrada a espécie *Acinosporites acanthomammillatus* (Figura 5B), que foi registrada na zona *velatus-langii* no intervalo correspondente ao Eoefeliano (Richardson & McGregor, 1986) e na zona AD (*acanthomammillatus* – *devonicus*) no intervalo de transição entre o Eifeliano e o Givetiano. Na Formação Pimenteiras esta espécie também foi identificada no Givetiano por Loboziak *et al.* (2000). Assim, a presença de *Verruciretusispora dubia* e *Acinosporites acanthomammillatus* nas poções mais superiores do afloramento novamente caracteriza o retrabalhamento de estratos mais antigos da bacia.

O retrabalhamento e as misturas de assembleias com idades distintas, que ocorre em alguns estratos, podem ter sido ocasionados pelo ciclo transgressivo-regressivo na porção basal e média e pela transgressão máxima no topo da Formação Pimenteiras, como citado. Outra possibilidade pode estar de acordo com a evolução tectono-sedimentar, uma vez que existem dois eixos deposicionais dos quais tiveram forte influência no ciclo tectono-deposicional do Grupo Serra Grande (Siluriano) e Grupo Canindé (Devoniano). Estes eixos deposicionais encontram-se orientados para NE-SW e NE-SE e coincidem com as direções dos lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês (Cunha, 1986). A deposição de sedimentos que constituem

o Grupo Canindé foi resultante da continuação dos processos de subsidência tectônica e forte influência de efeitos flexurais. Aliados a uma tendência de elevação global do nível do mar, estes processos culminaram em um extenso mar epicontinental, intensificando a sedimentação marinha durante o Devoniano. O encerramento desta sequência é marcado por uma expressiva discordância regional, correlacionada a Orogenia Eo-Herciniana (Góes *et al.*, 1990).

Dados palinológicos apresentados por Loboziak *et al.* (2000) e contribuições anteriores (Loboziak *et al.*, 1992, 1993) sugerem que as fases iniciais de sedimentação da Formação Pimenteiras ocorreram ao longo da fronteira ocidental da Bacia do Parnaíba, praticamente ao mesmo tempo, como nas partes mais centrais da bacia, indicando assim um evento muito rápido de inundação marinha.

No contexto do afloramento estudado deve-se levar ainda em consideração a ocorrência de uma pequena falha de acomodação das camadas que segundo o modelo Carozzi *et al.* (1975) de deltas coalescentes, poderia explicar o deslocamento das camadas expostas de diferentes idades em contato. O que pode ser verificado na figura 8, pela observação das fotos do afloramento.

As espécies de acritarcos e ficomatas registradas nas porções mais superiores do afloramento são também representativas do Neodevoniano. Entre as espécies de maior destaque para este intervalo é possível citar: *Umbellasphaeridium saharicum*, *Lunulidia micropunctata* (Figura 6M) e *Maranhites brasiliensis*, *Advenasphaeridium australis*, *A. serosum*, *Multiplicisphaeridium loriferum* (Figura 6B), *Polyedryxium cf. talum*, *Hapsidopalla exornata*, *Cymatiosphaera rhacoamba*, *Gosgonisphaeridium winslowiae*, *Solisphaeridium astrum*, *Eisenackidium appendiculum* (Figura 6I).

Vavrdová *et al.* (1996) também registraram *Umbellasphaeridium saharicum* e *Exochoderma* spp na palinozona *ovalis-bulliferus* de Richardson & McGregor (1986).

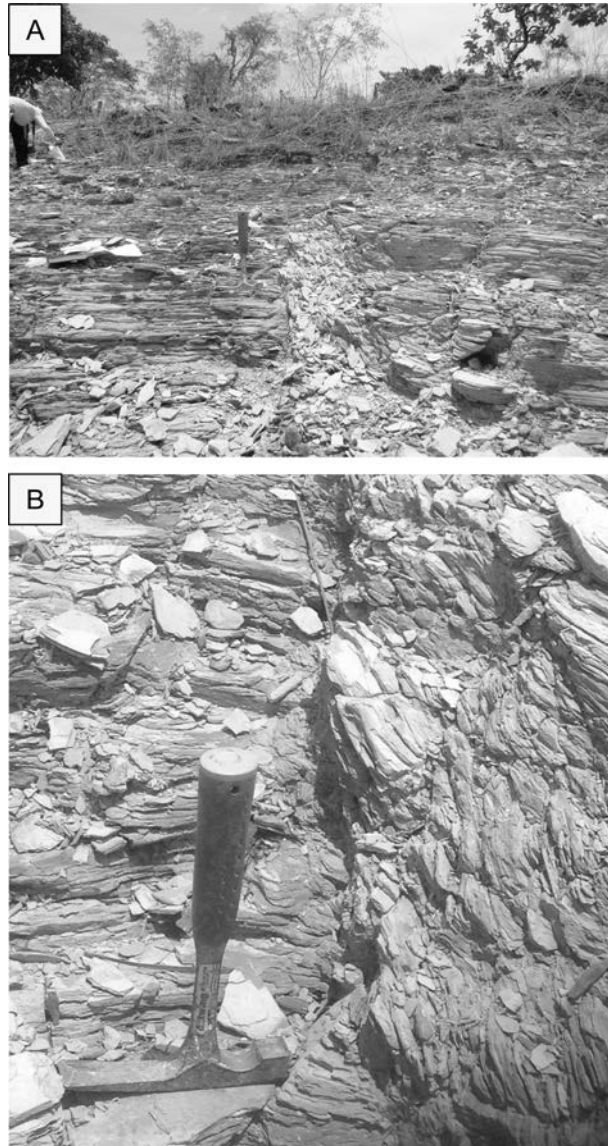


Figura 8: Fotos da falha no afloramento da BR 153 da Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba-TO, Brasil. A – Contexto geral da falha. B- Destaque da falha nas proximidades do ponto de coleta da amostra 11.

Figure 8: Photos of Geological fault of outcrop of the BR 153 of Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, TO, Brazil. A - General context of the failure. B- Highlight of the failure near the sample 11.

As espécies *Lunulidia micropunctata* e *Maranhites brasiliensis* foram registradas no Frasniano da Formação Ponta Grossa, na Bacia do Paraná (Quadros, 1999). Também como já comentado a presença de diferentes espécies do gênero *Maranhites* é comum em assembleias do Devoniano Superior em várias bacias da América do Sul.

*Umbellasphaeridium saharicum* foi encontrado na Bacia do Paraná nos níveis equivalentes ao Frasniano a Neofameniano (Oliveira *et al.*, 1997) e no intervalo Neogivetiano- Neofrasniano

por Mauller (2007) na porção superior do Membro São Domingos da Formação Ponta Grossa em associação com uma proliferação de *Maranhites* spp.

*Advenasphaeridium australis* também foi registrado neste ponto em associação com *A. serosum* e ambos foram identificados no Frasniano por Oliveira (1997).

*Multiplicisphaeridium loriferum* de acordo com Fensome *et al.* (1990) é característico do Frasniano. O mesmo autor reporta *Polyedryxium talum* como espécie do Devoniano Médio a Superior.

*Hapsidopalla exornata* foi provavelmente registrada a primeira vez por Deuff (1967) no Frasniano no sul de Ontario. Também como já discutido *Cymatiosphaera rhacoamba* e *Gosgonisphaeridium winslowiae* são espécies comuns a partir do Devoniano Superior.

*Solisphaeridium astrum* também tem maior ocorrência no Devoniano Superior (Fensome *et al.*, 1990).

Já espécie *Eisenackidium appendiculum* embora tenha sido originalmente descrita no Givetiano (Wicander & Wood, 1981) foi também encontrada por Playford & McGregor (1993) do Neodevoniano ao Carbonífero no Canadá.

As demais espécies consideradas cosmopolitas encontradas associadas não foram utilizadas para inferências cronoestratigráficas. Entre as quais é possível citar: *Dictyotriletes* sp.; *Grandispora* sp.; *Laevigatosporites* sp.; *Retusotriletes* sp.; *Multicisphaeridium ramusculosum* (Figura 7R); *Tasmanites* sp.; *Veryhachium* sp. e *Villosacapsula ceratioides*.

Vale destacar novamente que há uma possível indicação do Neofameniano (intervalo corresponde a zona LN) no afloramento estudado, marcado, sobretudo, pela presença de *Vallatisporites verrucosus*, como discutido anteriormente. Porém, como foram poucos espécimes registrados, indica-se como provável o registro do Fameniano neste afloramento, baseado na associação de miósporos com o fitoplâncton marinho aqui identificados, sem, entretanto, marcar as biozonas clássicas correspondentes (Figura 3 e 4).

Além disso, outros autores (Loboziak *et al.*, 2000; Grahn *et al.*, 2006) não registraram assembléias de palimorfos que pudessem assegurar o registro deste intervalo na Formação Pimenteiras. Entretanto, essa falta de registro, reportada nos trabalhos citados, pode ser explicado através da presença de um *Gap* estratigráfico, reportado Bacia do Parnaíba, que é ainda maior que na adjacente Bacia do Amazonas (Grahn *et al.*, 2006). Esses hiatos regionais provavelmente resultaram de uma queda acentuada do nível do mar no final Fameniano e o início da glaciação do Neodevoniano, uma vez que as manifestações sedimentares destes são mais evidentes na Bacia do Parnaíba do que na Bacia do Amazonas (Caputo, 1984; Loboziak *et al.*, 2000; Streef *et al.*; 2000, 2001).

Desse modo é possível que, sobretudo os miósporos e quitinozoários, investigados por Loboziak *et al.* (2000) e Grahn *et al.* (2006), contemporâneos ao Neofamenino, não tenham sido preservados nas porções da Formação Pimenteiras estudadas por estes autores. Contudo, a investigação apresentada neste trabalho abre perspectivas para que estudos mais detalhados a este respeito sejam realizados com vista a melhor descrição de todo o intervalo do Devoniano Superior na Formação Pimenteiras.

## CONCLUSÕES

O presente estudo traz contribuições relevantes para o conhecimento da sequencia estratigráfica aflorante na borda oeste da Formação Pimenteiras, Estado do Tocantins, através da discussão do arcabouço bioestratigráfico proposto para os pelitos expostos nesta região.

Este estudo demonstra ainda uma excelente integração entre o biozoneamento de miósporos, sobretudo os elaborados na Europa Ocidental, com zonas-associações de outros palinomorfos (acritarcos e ficomatas) também referidos em biozoneamentos no Brasil no mundo.

Desta forma, o zoneamento integrado apresentado neste trabalho servirá também de referência para os estratos da Formação Pimenteiras que não contenham associações bem preservadas de miósporos, permitindo o zoneamento baseado nas assembleias de paleofitoplancton marinho.

Logo, a integração entre os resultados palinológicos permitiu determinar para o afloramento estudado da Formação Pimenteiras o intervalo cronoestratigráfico que corresponde ao Neoeifeliano-Neofrasniano (correspondente as zonas AD pré-Lem e Lem, Ta, TCo, BJ e BM-IV?). A partir dos dados levantados é incerto inferir o registro de biozonas de miósporos do Fameniano nestes estratos da Formação Pimenteiras. Embora, tenham sido aqui registrados alguns espécimes, não só de miósporos, como de acritarcos e ficomatas, característicos do Fameniano.

Foi possível ainda constatar, através da distribuição dos grupos de palinomorfos e da observação do sedimento depositado, que o afloramento estudado representa com clareza o ciclo transgressivo/regressivo da porção basal e média da Formação Pimenteiras e a subsequente transgressão que ocorre no topo desta verificada pelo registro da abundância do paleomicrofitoplâncton marinho e a redução numérica do registro de miósporos.

## REFERÊNCIAS

- Albani, R., 1989. Ordovician (Arenigian) acritarchs from the Solanas Sandstone Formation, Central Sardinia, Italy. *Bolletino della Società Paleontologia Italiana*, **28**: 3-37.
- Al-Ruwaili, M.H. 2000. New Silurian Acritarchs from the Subsurface of Northwestern Saudi Arabia. In S. Al-Hajri and B. Owens (eds.), *Stratigraphic Palynology of the Palaeozoic of Saudi Arabia*. GeoArabia Special Publication 1. Gulf PetroLink, Bahrain, p. 82-91.
- Amenábar, C. 2006. Significado estratigráfico de palinomorfos retrabajados em la Formación Malimán (Viseano) en la Sierra Del Volcán, Provincia de San Juan, Argentina: resultados preliminares. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **9**(1):21-32.
- Antonelli, J. & Ottone, G., 2006. Palinología de coronas delDevónico y Carbonífero Superior del pozo YPF.SE.EC.X-1, ElCiburé, provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Revista del Museo de Ciencias Naturales*, **8**: 111-117.
- Antunes, R.L.; Melo, J.H.G. 2001. Micropaleontologia e estratigrafia de seqüências. In.: H.J.P.S. Ribeiro (org.). *Estratigrafia de seqüências: fundamentos e aplicações*, Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, p.137-218.
- Azcuy, C.L. and di Pasquo, M.M. 2005. Early Carboniferous palynomorphs from the Ambo Formation, Pongo de Mainique, Perú. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **134**: 153-184.
- Barreda, V.D. 1986. Acritarcos Givetiano-Frasnianos de la Cuenca del noroeste, provincia de Salta. Argentina. *Revista Española de Micropaleontología* **18**:229-245.
- Brito, I.M. 1965. Novos microfósseis Devonianos do Maranhão. Universidade da Bahia, *Escola de Geologia*, **2**:1-4.
- Brito, I.M. 1967. Silurian and Devonian Acritarcha from Maranhão Basin, Brazil. *Micropaleontology*, **13**(4):473-482.

- Brito, I.M. 1968. Novo subgrupo de Acritarcha do Devoniano do Maranhão. *Anais da Academia brasileira de Ciências*, **39** (1):163-166.
- Brito, I.M. 1969. Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão. IV. Os Tasmanaceae. *Bol. Geol. Inst. Geoc.*, **3**:15-20.
- Brito, I.M. 1971. Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão V - Acritarcha Herkomorphitae e Prismatormorphitae. *Anais da Academia brasileira de Ciências* **43**:201-208.
- Brito, I.M. 1976. Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão. VI O gênero *Veliferites* Brito, 1967 como sinônimo de *Duvernaysphaera* Staplin, (1961), (Acritarcha Pteromorphitae). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **48**(4): 757-759.
- Brito, I.M. & Santos, A.S.1965. *Contribuição ao conhecimento dos microfósseis silurianos e devonianos da Bacia do Maranhão*, Parte 1- Os Netromorphitae (Leiofusidae). D.N.P.M. Div. de Geol. e Min., 29p. (Notas preliminares e estudos, n.129).
- Brito, I.M.; Quadros, L.P. 1984. Novas ocorrências de Acritarchae no Devoniano da Bacia do Parnaíba. *Boletim IG-USP*, **15**:15-19.
- Brito, I.M.; Quadros, L.P. 1985. *Pseudolunulidia*, um fóssil-índice do Devoniano Superior (acritarcha Netromorphitae). In: D.A Campos; C.S. Ferreira; I.M. Brito; C.F. Viana (eds.) *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos*. Série geologia, Seção de Paleontologia e estratigrafia, Brasília, **27**(2) 285-287.
- Caputo, M.V. 1984. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. University of California, Tese de Doutorado, 586 p.
- Carozzi, A.V. 1975. *Análise ambiental e evolução tectônica sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES (PETROBRÁS. Série Ciência Técnica-Petróleo, n.7).
- Cunha, F.M.B. 1986. Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 107p.
- Daemon, R.F. 1974. Palinomorfos guias do Devoniano Superior e Carbonífero Inferior das Bacias do Amazonas e Parnaíba. *An. Acad. Bras.* **46**(3/4):549-588.
- Daemon, R.F. 1976 - Correlação bioestratigráfica (palinoestratigráfica) entre os sedimentos do Siluriano, Devoniano e Carbonífero Inferior das Bacias do Amazonas, Parnaíba e Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1976. *Resumos*, Ouro Preto, São Paulo, p.189- 94.
- Della Fávera, J.C. 1990. Tempestitos da bacia do Parnaíba: um ensaio holístico. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 243p.
- Deunff, J. 1955: Un microplancton fossile Dévonien à hystrichosphères du Continent Nord-Américain. *Bulletin de microscopie appliquée*, **5**(11-12):138-149.
- Deunff, J. 1961. Quelques précisions concernant les hystrichosphaerides du Devonien du Canada. *C. R. Soc. Geol. France*, **8**:216-218.
- Deunff, J. 1967: Recherches sur les microplanctons du Devonien (acritarches et Dinophyceae). *Bulletin de la Société géologique et minéralogique de Bretagne*, Nouvelle série, 17-25.
- Deunff, J. 1971. Le genre *Polyedryxium* Deunff— Revision et observations. In: *Microfossiles organiques du Paleozoique*, Commission Internationale de Microflore du Paleozoique, p.7-49 (fasc. 3).
- di Pasquio, M.M. & Azcuy, C.L. 1997. Palinomorfos retrabajados en el Carbonífero Tardío de la Cuenca Tarija (Argentina) y su aplicación a la datación de eventos diastróficos. *Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências* (número especial), **2**:28-42.



- Downie, C. 1963. 'Histrichospheres'(acritarchs) and spores of the wenlock Shales (silurian) of wenlock England. *Palaeontology*, **6**(4): 625-652.
- Fensome, R.A, Williams, G.L, Barss, M.S., Freeman, J.M. Hull, J.N. 1990. Acritarchs and fossil Prasinophytes: an index to genera, species and infraspecific taxa. AASP, *Contributions series*, **25**: 1-771.
- Grahn, Y. 1992. Revision of Silurian and Devonian strata of Brazil. *Palynology*, **16**:35-61.
- Grahn, Y. 2005a. Silurian and Lower Devonian chitinozoan taxonomy and biostratigraphy of the Trombetas Group, Amazonas Basin, northern Brazil. *Bulletin of Geosciences*, **80**(4): 245–276.
- Grahn, Y. 2005b. Devonian chitinozoan biozones of Western Gondwana. *Acta Geologica Polonica*, **55**:211-227.
- Grahn, Y.; Loboziak, S. & Melo, J.H.G. 2001. Integrated miosporechitinozoan biozonation of the Parnaíba Basin and its correlation with Petrobras (Müller 1962) Silurian-Lower Carboniferous palynozones. *Ciência-Técnica-Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo*, **20**:81-89.
- Grahn, Y.; Loboziak, S. & Melo, J.H.G. 2003. Integrated correlation of Late Silurian (Pridoli s.l.) - Devonian chitinozoans and miospores in the Solimões Basin, northern Brazil. *Acta Geologica Polonica*, **53**:283–300.
- Grahn Y., Melo J. H. G., Steemans P. 2005. Integrated chitinozoan and miospore zonation of the Serra Grande Group (Silurian – lower Devonian), Parnaíba Basin, northeast Brazil. *Revista Española de Micropaleontología*, **37**:183–204.
- Grahn, Y.; Melo, J.H.G. & Loboziak, S. 2006. Integrated Middle and Late Devonian miospore and chitinozoan biozonation of the Parnaíba Basin, Brazil: an update. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **9**:283-294.
- Grahn, Y; Mendlowicz P.M; Breuer, P; Bosetti, E.P; Bergamaschi, S. & Pereira, E. 2010. The Furnas/Ponta Grossa Contact and the Age of the Lowermost Ponta Grossa Formation in the Apucarana Sub-Basin (Paraná Basin, Brazil): Integrated Palynological Age Determination. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **13**(2):89-102.
- Góes, A.M.O.; Souza; J.M.P. & Teixeira, L.B. 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **4**(1):55-64.
- Goés, A.M.O. e Feijó, J.F. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **8**(1):57-67.
- González, F.; Playford, G. & Moreno, C. 2005. Upper Devonian biostratigraphy of the Iberian Pyrite Belt, southwest Spain. Part one: miospores. *Palaeontographica Abteilung B*, **273**:1-51.
- Guy-Ohlson, D. 1996. Green and blue-green algae. In: J. Jansonius & D.C. McGregor (eds.), *Palynology: Principles and Applications*, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation 1, p. 181-189.
- Hacquebard, P.A. 1957. Plant spores in coal from the Horton Group (Mississippian) of Nova Scotia. *Micropaleontology*, **3**: 301-324.
- Hashemi, H. & Playford, G. 1998. Upper Devonian palynomorphs of the Shishtu Formation, Central Iran Basin, east-central Iran. *Palaeontographica Abteilung B*. **246**:115-212.
- Heal, S. & Clayton, G. 2008. The palynology of the Hannibal Shale (Mississippian) of northeastern Missouri, U.S.A. and correlation with Western Europe. *Palynology*, **32**:27-37.
- Huysken, K.T.; Wicander, R. & Etnensohn, F.R., 1992. Palynology and biostratigraphy of selected Middle and Upper Devonian black-shale sections in Kentucky. *Michigan Academician*, **24**:355–368.
- Jardiné, S. 1972. Microplancton (Acritarches) et limites stratigraphiques du Silurien terminal au Dévonien supérieur. In: VII CONGRÈS INTERNATIONAL DE STRATIGRAPHIE

- ET DE GÉOLOGIE DU CARBONIFÈRE, KREFELD. *Resumos Completos*, 1971, 1, p.313–323.
- Jardiné, S.; Combaz, A.; Magloire, L.; Peniguel, G. & Vachey, G. 1974. Distribution stratigraphique des Acritarches dans le Paléozoïque du Sahara algérien. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **18** (1–2): 99-129.
- Kedo, G. I. 1974. The Devonian-Carboniferous boundary in the Pripyat Basin as revealed by palynological data. *Palynology of Proterophyte and Palaeophyte*, 86-92.
- Kimyai, A. 1983. Palaeozoic microphytoplankton from South America. *Revista Española de Micropaleontología*. **15**:415-426.
- Legault, J.A., 1973. Chitinozoa and acritarcha of the Hamilton Formation (Middle Devonian), southwestern Ontario. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, **221**:1-103.
- Le Hérissé, A. 1989. Acritarches et kystes d'algues Prasinophycées du Silurien de Gotland, Suède. *Paleontographia Italica*, **76**(32): 57-302.
- Le Hérissé, A. 2000. Characteristics of the Acritarch recovery in the Early Silurian of Saudi Arabia. *GeoArabia, special volume*: 57-81.
- Le Hérissé, A.; Gourvenec, R. & Wicander, R. 1997. Biogeography of Late Silurian and Devonian acritarchs and prasinophytes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **98**:105-124.
- Le Hérissé, A.; Mullins, G. L.; Dorning, K. J.; Wicander, R. 2009. Global patterns of organic-walled phytoplankton biodiversity during the late Silurian to earliest Devonian. *Palynology*, **33**:25–75.
- Leiming, Y.; Di Milia, A. & Tongiorgi, M. 1998. New and emended acritarch taxa from the lower Dawan Formation (lower Arenig, Huanghuachang Section, South China). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **102**: 223-248.
- Limachi, R.; Goitia, V.H.; Sarmiento, D.; Arispe, O.; Montecinos, R.; Diaz Martínez, E.; Dalenz Farjat, A.; Liachenco, N.; Pérez Leyton, M. & Aguilera, E. 1996. Estratigrafía, Geoquímica, Correlaciones, Ambientes Sedimentarios y Bioestratigrafía del Silúrico-Devónico de Bolivia. In: 12° CONGRESO GEOLÓGICO DE BOLIVIA, 1996. *Memorias*, Tarija, p.183-197.
- Loboziak, S.; Strel, M.; Caputo, M.V. & Melo, J.H.G. 1992. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospore stratigraphy in the central Parnaíba Basin (Brazil). *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **115**:215-226.
- Loboziak, S.; Strel, M.; Caputo, M.V. & Melo, J.H.G. 1993. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospores from selected boreholes in Amazonas and Parnaíba basins (Brazil): additional data, synthesis, and correlation. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, **125**:277-289.
- Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Quadros, L.P.; Daemon, R.F.; Barrilari, I.M.R. 1994a. Biocronoestratigrafía dos palinomorfos do Devoniano Médio-Carbonífero Inferior das Bacias do Solimões e Parnaíba: Estado da Arte. In: 2° SINTEX SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA, 1994. *Atas*, Rio de Janeiro, Petrobrás, 51-56p.
- Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Quadros, L.P.; Daemon, R.F.; Barrilari, I.M.R., Strel, M., 1994b. *Devonian -Dinantian miospore biostratigraphy of the Solimões and Parnaíba Basins (with considerations on the Devonian of the Paraná Basin)*. Petrobras/Cenpes, Rio de Janeiro, 2 vols.
- Loboziak, S. & Strel, M. 1995. West Gondwanan aspects of the Middle and Upper Devonian miospore zonation in NorthAfrica and Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **86**:147–155.
- Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Quadros, L.P. & Strel, M. 1997. Palynological evaluation of the Famennian Protosalvinia (Foerstia) Zone in the Amazon Basin, northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **96**:31-45.

- Loboziak, S.; Caputo, M.V. & Melo, J.H.G. 2000. Middle Devonian –Tournaisian miospore biostratigraphy in the southwestern outcrop belt of the Parnaíba Basin, north-central Brazil. *Révue de Micropaléontologie*, **43**:301-318.
- Loizane, V.P. 2008. Systematic palynological study of the Cortaderas Formation, (Mississippian) Río Blanco Basin, Argentina. Part One. *Ameghiniana*, 45(1): 33-57.
- Muller, P.M. 2007. Bioestratigrafia do Devoniano da Bacia do Paraná - Brasil, com ênfase na Sub-bacia de Alto Garças. Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, tese de Doutorado, 154p.
- McGregor, D. C. & Camfield, M. 1976. Upper Silurian? to middle Devonian spores of the Moose River Basin, Ontario. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 263, 63p.
- McGregor, D.C. & Camfield, M. 1982. Middle Devonian miospore from the Cape de Bray, Weatherall, and Hecla Bay Formations of northeastern Melville Island, Canadian Arctic. *Bulletin of the Geological Survey of Canada*, **348**: 1-105.
- McGregor, D.C. 1984. Late Silurian and Devonian spores from Bolivia. *Academia Nacional de Ciencias Cordoba*, **69**: 1–57.
- McGregor, D. C. & Playford, G., 1992. Canadian and Australian Devonian spores: zonation and correlation. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, **438**:1-125.
- Melo, J.H.G. & Loboziak, S. 2003. Devonian-Early Carboniferous biostratigraphy of the Amazon basin, northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **124**:131-202.
- Milani, E.J.; Melo, J.H.G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A. & França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. In: E. J. Milani; H.D. Rangel; G.V. Bueno; J.M. Stica; W.R. Winter; J.M. Caixeta & O.C. Pessoa Neto (Eds.). *Bacias Sedimentares Brasileiras - Cartas Estratigráficas*. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, **15**(2): 265-287.
- Moreau-Benoit, A. 1974. *Recherches de palynologie et de planctonologie. Sur le Devonien et quelques formations siluriennes dans le sud-est du Massif Armoricain*; Soc. Geol. Mineral, Bretagne, Mem, 18, 248 p.
- Moreau-Benoit, A. 1984. Acritarches et Chitinozoaires du Devonien moyen et superieur de Libye occidentale. *Reviews of Palaeobotany and Palynology*, **43**:187–216.
- Müller, H. 1962. *Report on palynological results of samples examined from well in Maranhão*. Petrobrás, Rel. nº 500, RPBA (inédito).
- Mullins, G.L. 2001. Acritarchs and prasinophyte algae of the elton Group, Ludlow Series, of the type Ludlow area. *Monograph of the Palaeontographical Society*, **615**: 1– 151.
- Mullins, G.L.; Richard J.A.; David J. S. 2004. Microplankton associations, biofacies and palaeoenvironment of the type lower Ludlow Series, Silurian. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **130**:163–194.
- Mullins, G.L.; Aldridge, R.J.; Dorning, K.J.; Le Hérisse, A.; Jun, Li.; Moczydlowska-Vidal, M.; Molyneux, S. G.; Servais T. & Wicander R. 2007. *The phytoPal Taxonomic Database (taxon list)*. – Database, Online.
- Noetinger, S & di Pasquo, M. 2007. Preliminary studies of devonian microfloras of a borehole from the tarija basin, northwestern argentina. In: 4th EUROPEAN MEETING ON THE PALAEONTOLOGY AND STRATIGRAPHY OF LATIN AMERICA CUADERNOS DEL MUSEO GEOMINERO, 8, 2007. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Noetinger, S. & di Pasquo, M.M. 2011. Devonian palynological assemblages from the San Antonio x-1 Borehole, Tarija Basin, northwestern Argentina. *Geologica Acta*, **9**(2):199-216.
- Oliveira, S.F. 1997. Palinologia da Seqüência Devoniana da Bacia do Paraná no Brasil, Paraguai e Uruguai: implicações biocronoestratigráficas, paleoambientais e paleogeográficas, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 188 p.

- Ottone, E.G. 1996. Devonian palynomorphs from the Los Monos Formation, Tarija Basin, Argentina. *Palynology*, **20**:101-151.
- Ottone, E.G. & Rossello, E.A. 1996. Palinomorfos devónicos de la Formación Tequeje, Angosto del Beni, Bolivia. *Ameghiniana*, **33**(4):443-452.
- Palynodata Inc., White, J.M. 2006. Palynodata Datafile: 2006 version, with Introduction by J.M. White. *Geological Survey of Canada Open File*. 5793,1 CD-ROM.
- Pereira, Z., Matos, J., Fernandes, P. & Oliveira, J.T. 2008. Palynostratigraphy and systematic palynology of the Devonian and Carboniferous successions of the South Portuguese Zone, Portugal. *Memórias Geológicas do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação*, **34**:1-181.
- Perez Leyton, M. 1991. Miospores du Devonien Moyen et Superieur de la Coupe de Bermejo - La Angostura (SudEst de la Bolivie). In: *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **113**(2):373- 389.
- Playford, G. 1977. Lower to Middle Devonian Acritarchs of the Moose River Basin, Ontario. *Geological Survey of Canada, bulletin* 279: 1-87.
- Playford, G. 2003. Acritarchs and prasinophyte phycmata: a short course. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contributions Series*, **41**: 1-39.
- Playford, G. & McGregor, D. C. 1993. Miospores and organic walled microphytoplankton of Devonian-Carboniferous boundary beds (Bakken Formation), southern Saskatchewan: a systematic and stratigraphic appraisal. *Geological Survey of Canada Bulletin*, **445**:1-107.
- Playford, G.; Borghi, L; Lobato, G & Melo, J.H. G. 2012. Palynological dating and correlation of Early Mississippian (Tournaisian) diamictite sections, Parnaíba Basin, northeastern Brazil. *Revista Española de Micropaleontología*, **44** (1-3):1-22.
- Pöthe de Baldis, E.D. 1974. El microplancton del Devónico medio de Paraguay. *Revista Española de Micropaleontología*. **6**:367-379.
- Quadros, L. P. 1982. *Distribuição bioestratigráfica dos Chitinozoa e Acritarchae na Bacia do Parnaíba*. Centro de Pesquisas e desenvolvimento Leolpodo A Miguez de Melo, Seção de Exploração de petróleo 12, 76p.
- Richardson, J.B. & Rasul, S.M. 1978. Palynological evidence for the age and provenance of the Lower Old Red Sandstone from the Apley Barn Borehole, Witney, *Oxfordshire Proceedings of the Geological Association*, **90**(1):27-42.
- Richardson, J.B. & McGregor, D.C. 1986. Silurian and Devonian spore zones of the Old Red Sandstone Continent and adjacent regions. *Bulletin Geological Survey of Canada*, **364**:1-79.
- Richardson, J. B.; Bonamo, P.M.; McGregor, D. C. 1993. The spores of *Leclercqia* and the dispersed morphon *Acninosporites lindlarensis* Rigiel: a case of gradualistic evolution. *B Nat Hist. Mus. London (Geol)*, **49**:121-155.
- Rodrigues, R. A. 1995. Geoquímica orgânica na bacia do Parnaíba. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 225p.
- Rodrigues, R.; Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Alves, D.B. 1995. Geochemical characterization and miospore biostratigraphy of the Frasnian anoxic event in the Parnaíba Basin, Northeast Brazil. *Bull. Centres Rech. Explo. Prod. Elf. Aquitaine*, **19**(2):319-327.
- Rubinstein, C.V. & Vaccari, N. E. 2004. Cryptospore assemblages from the Ordovician/Silurian boundary in the Puna, North-West Argentina. *Paleontology*, **47**(4):1037-1061.
- Rubinstein C.; Melo, J.H.G. & Steemans, P. 2005. Lochkovian (earliest Devonian) miospores from the Solimões Basin, northwestern Brasil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **133**:91-113.

- Rubinstein, C.V.; Le Hérisse, A. & Steemans, P. 2008. Lochkovian (Early Devonian) acritarchs and prasinophytes from the Solimões Basin, northwestern Brazil. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, **249**(2): 167–184.
- Santos, M. E. C. M. & Carvalho M. S. S. 2009. *Paleontologia das Bacias Parnaíba, Grajaú e São Luiz*, 2º ed. Rio de Janeiro, CPRM-Serviço Geológico do Brasil. 212p.
- Servais, T. 1996. Some considerations on acritarch classification. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **93**: 9–22.
- Souza, M. S. P.; Mauller, P. M.; Cardoso, T.R.; Rodrigues, R. & Pereira, E. 2013. Caracterização Geoquímica e Bioestratigráfica das Superfícies de Inundação Marinha da Seção Meso-Neodevoniana, na Região de Dom Aquino (MT), Noroeste da Bacia do Paraná, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, **36**(1):26-36.
- Steemans P. 2000. Miospore evolution from the Ordovician to the Silurian. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **113**:189-196.
- Steemans P.; Higgs K.T. & Wellman, C.H. 2000. Cryptospores and trilete spores from the Llandovery, Nuayyim-2 Borehole, Saudi Arabia. In: S., Al-Hajri & B., Owens (eds). *Stratigraphic palynology of the Palaeozoic of Saudi Arabia. Manama, Bahrain. GeoArabia*, 1, p.92–115 (vdolume especial).
- Steemans, P.; Rubinstein, C.V. & Melo, J.H.G. 2008. Siluro-Devonian miospore biostratigraphy of the Urubu River area, western Amazon Basin, northern Brazil. *Geobios*, **41**:263–282.
- Streel, M.; Higgs, K.; Loboziak, S.; Riegel, W. & Steemans, P. 1987. Spore stratigraphy and correlation with faunas and floras in the type marine Devonian of the Ardenne-Rhenish regions. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **50**: 211-229.
- Streel, M.; Capulto, M.V.; Loboziak, S. & Melo, J.H.G. 2000. Late Frasnian-Famennian climates based on palynomorph quantitative analyses and the question of the Late Devonian glaciations. *Earth Science Reviews*, **52**:121-173.
- Streel, M.; Caputo, M.V.; Loboziak, S.; Melo, J.H.G. & Thorez, J. 2001. Palynology and sedimentology of laminites and tillites from the latest Famennian of the Parnaíba Basin, Brazil. *Geologica Belgica*, **3**:87-96.
- Strother, P.K. 1996. Chapter 5. Acritarches. In: Jansonius, J. & Mc Gregor, D.C. (ed). *Principles and applications American Associations of Stratigraphic Palynologist Foundations. Palynology*, **1**:81-106.
- Suárez-Soruco, R., & Lobo-Boneta, J. 1983. La fase Compresiva Eohercinica en el Sector Oriental de la Cuenca Cordillerana de Bolivia. *Revista Tecnica de Yacimientos Petroliferos Fiscales Bolivianos*, **9**:189–202.
- Tocantins. 2011. Características do Tocantins. Portal de Serviços e informações do estado do Tocantins. Disponível em <portal.to.gov.br/tocantins/2> Acesso em: 16/12/2014.
- Tongiorgi, M.; Yin, L.M. & Di Milia, A. 2003. Lower Yushanian to lower Zhejiangian palynology of the Yangtze Gorges area (Daping and Huanghuanchang sections), Hubei Province, South China. *Palaeontographica Abt. B*, **266**:1-160.
- Turnau, E. & Racki, G. Givetian palynostratigraphy and palynofacies: new data from the Bodzentyn Syncline (Holy Cross Mountains, central Poland). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **106**:237–271.
- Turner, R. E. 1984. Acritarchs from the type area of the Ordovician Caradoc Series, Shropshire, England. *Palaeontographica, Abt. B*, **190**(4-6):87-157.
- Tyson, R.V. 1995. *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. Londres, Chap. & Hall, 615 p.
- Vavrdová, M., Bek, J., Dufka, P. & Isaacson, P.E. 1996. Palynology of the Devonian (Lochkovian to Tournaisian) sequence, Madre de Dios Basin, northern Bolivia. *Vestník Ceskeho geologickeho ustavu*, **71**(4):333-349.

- Vavrdová, M & Dasková J. 2011. Middle Devonian palynomorphs from southern Moravia: an evidence of rapid change from terrestrial deltaic plain to carbonate platform conditions. *Geologica Carpathica*, **62**(2):109-119.
- Vaz, P.T.; Rezende, N.G.A.M.; Wanderley Filho, J.R. & Travassos, W.A.S. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**(2):253-263.
- Vecoli, M. 1999. Cambro-Ordovician palynostratigraphy (acritarchs and prasinophytes) of the Hassi-R'Mel area and northern Rhadames Basin, North Africa. *Palaeontographia Italica*, **86**:1-112.
- Wellman, C.H. & Richardson, J.B. 1996. Sporomorph assemblages from the "Lower Old Red Sandstone" of Lorne, Scotland. In: C.J. Cleal (eds.), *Studies on Early Land Plant Spores from Britain*, Spec. Pap. Palaeontology, 55, p. 41–103.
- Wicander, E.R. 1974: Upper Devonian-Lower Mississippian acritarchs and prasinophycean algae from Ohio, U.S.A. *Palaeontographica*, Abteilung B, **148**(1-3): 9-43.
- Wicander, E.R. & Wood, G.D. 1981. Systematics and Biostratigraphy of the organic-walled microphytoplankton from the Middle Devonian (Givetian) Silica Formation, Ohio, USA. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contribution Series*, **8**:1-137.
- Wicander, R. & Wright, R.P. 1983. Organic-walled microphytoplankton abundance and stratigraphic distribution from the Middle Devonian Columbus and Delaware Limestones of the Hamilton Quarry, Marion County, Ohio. *The Ohio Journal of Science*, **83**: 2–13.
- Wood, G.D. 1986. Some Middle Devonian (Givetian) chitinozoans and acritarchs from New York State: Preliminary results. In: Miller, M.A. (eds.), *A Field Excursion to Trenton Group (Middle and Upper Ordovician) and Hamilton Group (Middle Devonian) Localities in New York, and a Survey of Their Chitinozoans*. American Association of Stratigraphic Palynologists Field Trip Guidebook, p. 101–114.
- Xu, R. & Gao, L. 1991. Middle and Early Upper Devonian miospore zonation in Yunnan and the significance their stratigraphy. *Acta Botanica Sinica*. **33** (4):304-313.
- Zhu, H.; Wicander, R. & Marshall, J. E. A. 2008. Biostratigraphic and paleogeographic significance of a palynological assemblage from the Middle Devonian Ulusubasite Formation, eastern Junggar Basin, Xinjiang, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **152**:141-157.

## APÊNDICE

1. Lista completa dos táxons identificadas no afloramento estudado na Formação Pimenteiras, Bacia do Parnaíba, Brasil.

### Miospores

- Acinosporites* Richardson (1965)  
*Acinosporites acanthomammillatus* Richardson (1965)  
*Acinosporites apiculatus* (Streel) Streel (1964, 1967)  
*Acinosporites hirsutus* (Brideaux and Radforth) McGregor & Camfield (1982)  
*Acinosporites lindlarensis* Riegel (1968)  
*Acinosporites macrospinosus* Richardson (1965).  
*Aneurospora* cf. *A. geikiei* Wellman & Richardson (1996)  
*Apiculiretusispora plicata* (Allen) Streel (1967)  
*Camarozonotriletes* Naumova (1953)  
*Chelinospora* Allen (1965)  
*Craspedispora ghadamisensis* Loboziak & Streel (1989)  
*Cymbosporites* Allen (1965)  
*Cymbosporites* sp. cf. *C. magnificus* (McGregor) McGregor & Camfield (1982)  
*Dictyotriletes* (Naumova) Smith & Butterworth. (1967)  
*Dictyotriletes subgranifer* McGregor (1973)  
*Emphanisporites* sp. McGregor (1961)  
*Emphanisporites annulatus* McGregor (1961)  
*Emphanisporites mcgregorii* Cramer (1966)  
*Emphanisporites micrornatus* var. *micrornatus* Steemans & Gerrienne (1984)

*Emphanisporites rotatus* McGregor (1961)  
*Geminospora* (Balme) Playford (1983)  
*Geminospora lemurata* (Balme) Playford (1983)  
*Geminospora piliformis* Loboziak *et al.* (1988)  
*Geminospora svalbardie* Allen (1965)  
*Grandispora* sp. Hoffmeister *et al.* (1955)  
*Grandispora inculta* Allen (1965)  
*Grandispora protea* (Naumova) Moreau-Benoit (1982)  
 Cf. *Imperfectotriletes* sp. Steemans *et al.* (2000)  
*Laevigatosporites* sp.? Ibrahim (1933) *emend* Shopf *et al.* (1944)  
*Lophozonotriletes magnus* Kedo (1974)  
*Punctatisporites debilis* Hacquebard (1957)  
*Punctatisporites planus* Hacquebard (1957)  
*Retusotriletes* sp.? Naumova *emend* Streele (1964)  
*Rhabdosporites langii* (Eisenack) Richardson (1960)  
*Samarisporites* sp. Richardson (1965)  
*Samarisporite triangulatus* Allen (1965)  
*Vallatisporites verrucosus* Hacquebard (1957)  
*Verruciretusispora dubia* (Eisenack) Richardson & Rasul (1978)  
*Verrucosporites bulliferus* Richardson & McGregor (1986)  
*Verrucosporites premnus* Richardson (1965)  
*Verrucosporites scurrus* (Naumova) McGregor & Camfield (1982)

#### **Acritarchs and algae**

*Advenasphaeridium australis* Burjac & Oliveira (1997) (*nome nudum*)  
*Advenasphaeridium serosum* Burjac & Oliveira (1997) (*nome nudum*)  
*Ammonidium garrasinoi* Ottone (1996)  
*Cymatiosphaera* Wetzel (1933) ex Deflandre (1954)  
*Cymatiosphaera canadensis* Deunff (1954)  
*Cymatiosphaera rhacoamba* Wicander (1974)  
*Cymatiosphaera winderi* Deunff (1967)  
*Dictyotidium* Eisenack (1955) *emend.* Staplin (1961)  
*Dictyotidium cavernosulum*. Playford (1977)  
*Dictyotidium cohortum?* Wicander & Wood (1981)  
*Dictyotidium variatum* Playford (1977)  
*Diexallophasis remota* (Deunff) Playford (1977)  
*Duvernaysphaera angelae* Deunff, (1964)  
*Duvernaysphaera kraeuselii?* Stockmans & Wuillieré (1960)  
*Duvernaysphaera* sp. Staplin (1961) *emend.* Deunff (1964)  
*Duvernaysphaera tenuicingulata* Staplin (1961)  
*Eisenackidium appendiculum* Wicander & Wood (1981)  
*Exochoderma* sp. Wicander (1974)  
*Exochoderma arca* Wicander & Wood (1981)  
*Exochoderma irregularis* Wicander (1964)  
*Exochoderma triangulata* Wicander (1981);  
*Gorgonisphaeridium cumulatum* Playford (1977)  
*Gorgonisphaeridium disparatum* Playford (1977)  
*Gorgonisphaeridium plerispinosum* Wicander (1974)  
*Gorgonisphaeridium* sp. Staplin *et al.* (1965) *emend.* Kiryanov (1978)  
*Gorgonisphaeridium winslowiae* Staplin *et al.* (1965)  
*Gornonisphaeridium* sp. cf. *Micrhystridium sericum* Deunff (1961)  
*Hapsidopalla exornata* (Deunff) Playford (1977)  
*Hemiruptia legaultii* Ottone (1996)  
*Leiosphaeridia* Eisenack (1958) *emend* Downie & Sarjeant (1963) *emend* Turner (1984)  
*Lophosphaeridium* Timofeev (1959) ex Downie (1963) *emend.* Lister (1970)  
*Lophosphaeridium dumalis* Playford (1977)  
*Lunulidia micropunctata* Pöthe the Baldis (1979)  
*Maranhites* Brito (1965)  
*Maranhites brasiliensis* (Brito) *emend.* Burjack & Oliveira (1989)  
*Maranhites stockmansii* (Martin) *emend* Martin (1984)  
*Micrhystridium stellatum* Deflandre (1945)  
*Multiplicisphaeridium* sp. Staplin (1961) *emend.* Staplin *et al.* (1965) *emend.* Eisenack (1969) *emend.* Lister (1970) *emend.*  
 Eiserhardt (1992) *emend.* Sarjeant & Vavrdová (1997)  
*Multiplicisphaeridium loriferum* (Deunff) Lister (1970)  
*Multiplicisphaeridium ramusculosum* (Deflandre) Lister (1970)  
*Muraticavea munificus* Wicander & Wood (1981)  
*Navifusa bacilla* (Deunff) Playford 1977

*Onondagella asymmetrica* (Deunff) Cramer (1966) *emend.* Playford (1977)  
*Palacanthus ledanoisii* (Deunff) *emend.* Playford (1977)  
*Petrovina connata* Loboziak *et al.* (1997)  
*Polyedryxium* sp. Deunff (1954) *emend.* Deunff (1971)  
*Polyedryxium carnatum* Playford (1977)  
*Polyedryxium cf decorum* Deunff (1955)  
*Polyedryxium cf talum* Deunff (1971)  
*Polyedryxium embudum* Cramer (1964)  
*Polyedryxium fragosulum* Playford (1977)  
*Polyedryxium pharaone* Autonym (1990)  
*Polyedryxium skalensis* Turnau & Racki (1999)  
*Pterospermella* Eisenack (1972)  
*Pterospermella pernambucensis* (Brito) Eisenack (1973)  
*Pterospermella reticulata* Loeblich Jr & Wicander (1976)  
*Schizocystia pilosa* Jardiné *et al.* (1962)  
*Schizocystia saharica* Jardiné *et al.* (1974)  
*Solisphaeridium astrum?* Wicander (1974)  
*Stellinium comptum* Wicander & Loeblich (1977)  
*Tamanites* sp. Newton (1875)  
*Triangulina alargada* Cramer (1964)  
*Umbellasphaeridium deflandrei* (Moreau-Benoit) Jardiné *et al.* (1972)  
*Umbellasphaeridium saharicum* Jardiné *et al.* (1972)  
*Veryhachium* sp. Deunff (1954) *emend.* Downie & Sarjeant (1963) *emend.* Turner (1984) *emend.* Sarjeant & Stancliffe (1994)  
*Veryhachium downiei* Stockmans & Willière (1962)  
*Veryhachium lairdii* Deflandre (1946)  
*Veryhachium polyaster* Staplin (1961)  
*Veryhachium radiosum* Playford (1977)  
*Veryhachium trispinosum* (Eisenack) Stockmans & Willière (1962)  
*Villosacapsula ceratioides* (Stockmans & Willière) Loeblich & Tappan (1976)  
*Villosacapsula owensii* Al Ruwaili (2000)  
*Winwaloeusia distracta* (Deunff) Deunff 1977



# **CAPÍTULO 4 – ARTIGO 3: ORGANIC FACIES AND PALYNOLOGY FROM THE MIDDLE TO LATE DEVONIAN OF THE PIMENTEIRAS FORMATION, PARNAIBA BASIN, BRAZIL**

---

## **CONSUELO LIMA NAVARRO DE ANDRADE**

Author for correspondence. Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/NEA). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA). Address: Avenida Adhemar de Barros, s/n, Federação, Salvador, Bahia, Brazil – Postal Code: 40170290 [consul\\_navarro@hotmail.com](mailto:consul_navarro@hotmail.com)

## **TEREZA REGINA MACHADO CARDOSO**

Departamento de Estratigrafia e Paleontologia (DEPA), Faculdade de Geologia, Address: São Francisco Xavier, 524 - Maracanã - Rio de Janeiro, RJ, Brazil – Postal Code: 20550-900 Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)  
[terezaregina@gmail.com](mailto:terezaregina@gmail.com)

## **RAFAEL REGUEIRA SANTOS**

Laboratório de Estudos em Petróleo (LEPETRO/NEA). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA). Address: Avenida Adhemar de Barros, s/n, Federação, Salvador, Bahia, Brazil - Postal Code: 40170290  
[rafael.regueira.santos@hotmail.com](mailto:rafael.regueira.santos@hotmail.com)

## **ALTAIR DE JESUS MACHADO**

Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA). Address: Avenida Adhemar de Barros, s/n, Federação, Salvador, Bahia, Brazil - Postal Code: 40170290  
[altair@ufba.br](mailto:altair@ufba.br)

**ABSTRACT:** The aim of this study is to describe the depositional paleoenvironment and composition of organic matter of possible hydrocarbon source rocks of an outcrop on the western edge of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Brazil. To accomplish this task, 11 samples were collected, considering the paleoecological relations of palynomorphous groups and biostratigraphic information. Overall, the organic matter and the palynomorphs showed a good state of preservation with fluorescence. The most notable acritarchs and phycococci species were discussed in light of international biozones, and the biostratigraphic range corresponds to the Late Eifelian - Latest Frasnian. The TOC varied from 0.40 to 2.91%, with most samples showing greater than 1%, thereby possessing high potential generation. The S1 values were considered null, and the S2 peak ranged from 0.9 to 5.33 mg / g. The kerogen studied was predominantly a mixture of types II and III; however, the Tmax ranged from 415 to 435°C, and the ICDP between 4.0 and 4.5 demonstrated the immaturity of the samples studied. For the definition of palynofacies associations, only 10 out of the 25 total quantified categories of subgroups of kerogen were considered in the counting of 300 particles. Based on these results, a dendrogram was constructed through cluster analysis, which revealed four palynofacies associations. The revealed palynofacies are Palynomorphs (acritarchs, prasinophytes and sporomorphs), Translucent (cuticles, epidermal tissue and translucent phytoclasts with and without structure), Opaque/non-fluorescent (opaque phytoclasts and non-fluorescent AOM) and AOM fluorescent (amorphous organic matter with fluorescence). The palynomorphs are the most abundant palynofacies of all of the studied kerogen. Considering the relative ratio between the identified palynomorphous groups, the sporomorphs group is the predominant group of samples from the Middle Devonian, indicating a higher contribution from continental organic matter. However, in

samples from the Late Devonian, an increase in microplankton groups was observed, with acritarchs and phycomates (prasinophytes) dominating. Thus, the depositional paleoenvironment was characterized as a distal oxic mud-dominated shelf with deltaic influence of the Late Eifelian to Late Givetian, and there is a tendency distal (dysoxic-anoxic 'shelf') from the Frasnian, which indicates the maximum flooding surface.

**Keywords:** Biostratigraphy, Organic Geochemistry, Palynofacies, Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin.

### **Highlights**

In the outcrop, the range from the Late Eifelian to the Latest Frasnian was studied.

The kerogen was classified as a mixture of types II and III.

The organic matter was classified as immature.

The palynomorphs are the dominant group.

### **1. Introduction**

The Parnaíba Basin is considered to be characteristically Paleozoic, with the sedimentary deposits divided into five sequences: Silurian, Devonian, Carboniferous-Triassic, Jurassic and Cretaceous. The Devonian sequence corresponds to the Canindé Group, which consists of the Itaim, Pimenteiras, Cabeças and Longá formations. This sequence includes a low sea tract (Itaim Formation) (Rodrigues, 1995), a tract of transgressive systems (bottom of Formation Pimenteiras) and a deep-sea tract (top of Formation Pimenteiras) (Della Favera, 1990).

The Parnaíba Basin, despite its excellent exposure, is one of the Brazilian Paleozoic basins less known from a geological point of view. The western edge of this basin is undergoing drastic demographic development stage in the form of the opening of many roads, facilitating the access to many outcrops, particularly in the state of Tocantins.

The study of organic matter contained in sediments and sedimentary rocks concerns the interaction between the biosphere and geosphere. An appropriate assessment of the matter requires an understanding of environmental controls that govern the production of organic matter in the biosphere, ecological and sedimentological processes that control deposition and distribution, biogeochemical and microbiological factors that influence preservation, and geochemical and physical processes that determine modifications during the incorporation of

organic matter into the geosphere (Tyson, 1995). These factors result in a complex interrelation between the source, transport and deposition of organic particles (Traverse, 1994).

Integration microscopy techniques and organic geochemistry have been particularly useful in the study of organic matter. In addition to the integrated knowledge from other areas of science, such as sedimentology, stratigraphy, paleontology, etc., biochronostratigraphic information and paleoecological data complement these studies of organic matter.

Palynological studies usually have either a biostratigraphic or paleoambiental approach. Very few papers present an integration of this information. Thus, the aim of this study is to describe the depositional paleoenvironment and composition of organic matter of possible hydrocarbon source rocks from the western edge of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, considering the paleoecology of palynomorphous groups and biochronostratigraphic information.

## **2. Geological setting**

The Parnaíba Basin is one of the largest sedimentary basins, covering an area of more than 600.000 km<sup>2</sup>, including the states of Piauí and Maranhão almost entirely and partially the states of Tocantins, Pará, Ceará and Bahia (Vaz et al., 2007). Parnaíba is part of the group of Brazilian intracratonic basins, developed on a continental basis during the stabilization stage of the South American Platform.

Two depositional axes had strong influences on the tectonic-depositional cycle of the Serra Grande Group (Silurian) and Caninde Group (Devonian). These depositional axes are oriented NE-SW and NE-SE and coincide with the directions of the lineaments of the Transbrasiliano and Picos-Santa Ines (Cunha, 1986). The deposition of sediments that form the Caninde Group resulted from the continuation of thermal subsidence processes and strong influence of flexural effects. Combined with a global tendency of increasing sea level, these processes

resulted in an extensive epicontinental sea, intensifying marine sedimentation during the Devonian. The closure of this sequence is characterized by a significant regional unconformity, correlated to pre-Hercynian orogeny (Góes et al., 1990).

### 2.1 Pimenteiras Formation

The Pimenteiras Formation consists of thick sections of dark gray shales and intercalations of medium-grained to thin sandstones, usually exhibiting hummocky cross-bedding. Individual sandstone bodies have lenticular forms most commonly amalgamated to form thicker and more complex tabular strata. The sandstones are best developed in the Middle Devonian, the oldest part of the formation, but they tend to thin out and even disappear at the highest points, which become richer in finely laminated dark shales (Loboziak et al., 2000). This probably reflects a deep sea configuration, which according Rodrigues et al. (1995), became common in the basin during the Frasnian.

Santos and Carvalho (2009) highlight that in the Parnaíba Basin, the transgression/regression cycle of Eifelian and Early Givetian ages is the main carrier of fossiliferous occurrences. This cycle includes the Itaim Formation, the basal and middle part of the Pimenteiras Formation and the basal part of the Cabeças Formation. On top of the Pimenteiras and Cabeças formations, a new transgression occurring in the Late Frasnian to Early Famennian is found. At this age, the maximum flooding surface in the Pimenteiras formation presents high organic carbon content, indicated via gamma ray profiling by conspicuous radioactive peaks, and by a large geochemical survey performed by Rodrigues (1995). Furthermore, the Pimenteiras Formation was deposited in a particularly shallow marine environment from the end of Eifelian to possibly the beginning of the Famennian (Loboziak et al., 1994a, b) under the possible influence of storm waves (tempestites after Della Favera, 1990).

In their model of coalescing deltas, Carozzi et al. (1975) suggested that the Pimenteiras Formation was mostly a prodeltaic paleoenvironment. Daemon (1976) suggested the

installation of a shallow sea or proximity to the coast for the base of the Pimenteiras formation due to the presence of marine and continental palynomorphs. The observed change in flora suggests climate change or sea level variation.

Palynological data presented by Loboziak et al. (2000) and previous contributions (Loboziak et al., 1992, 1993) suggest that the early stages of sedimentation of the Pimenteiras Formation occurred along the western border of the Parnaíba Basin, at approximately the same time as in the more central parts of the basin, thus indicating a very rapid marine flooding event.

Additionally, based on the palynological content, Trindade (2010) suggested that the Pimenteiras Formation was deposited in a proximal to distal marine paleoenvironment with deltaic influence.

### **3. Material and methods**

#### **3.1 Sampling**

Eleven samples were collected from an outcrop in the BR 153 (Belém / Brasília) belonging to the Pimenteiras formation, located in the state of Tocantins, on the western edge of the Parnaíba Basin (Fig. 1). The choice of this location resulted from previous recognition and characterization of approximately 10 outcrops of the Pimenteiras Formation based on the degree of preservation and accessibility. In this way, the collected samples were spaced meter by meter in a vertical profile with some lateral variation in the search for shales (Fig. 2).

#### **3.2 Palynological preparation**

The slides were mounted following the methodology adapted from Tyson (1995), i.e., acidification using the maceration technique, with hydrochloric acid (HCl; 32%) and hydrofluoric acid (HF; 40%), to eliminate the mineral fraction of the samples.

The remaining organic matter was sieved through a 10 mesh before slide mounting.

### 3.3 Biostratigraphy

Hundreds of photos were taken in white light and fluorescence mode. These were analyzed qualitatively by observing each palynomorph specimen and using the reference literature for species identification and classification. The references used include the following: McGregor and Camfield (1976); Playford (1977); Wicander and Write (1983); Richardson and McGregor, (1986); Grahn (1992); Playford and McGregor (1993); Richardson (1993); Ottone (1996); Ottone and Rosselo (1996); Le Hérissé et al. (1997); Loboziak et al (2000); Rubinstein et al. (2008); Grahn et al. (2006); Steemans et al. (2008).

The identified miospores were compared with the letters of International biozoning, allowing for defining the relative ages of Pimenteiras Formation in the assessed outcrop. The acitarcos and prasinophytes were used to calibrate this interpretation.

### 3.4 Geochemical analyses

The TOC analysis and Rock Eval Pyrolysis were performed at the Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA) of Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). For the determination of TOC, acid extraction was performed on the samples with 50% HCl for the elimination of fraction carbonates, and then, the TOC was determined by a LECO Elemental Analyzer SC-444.

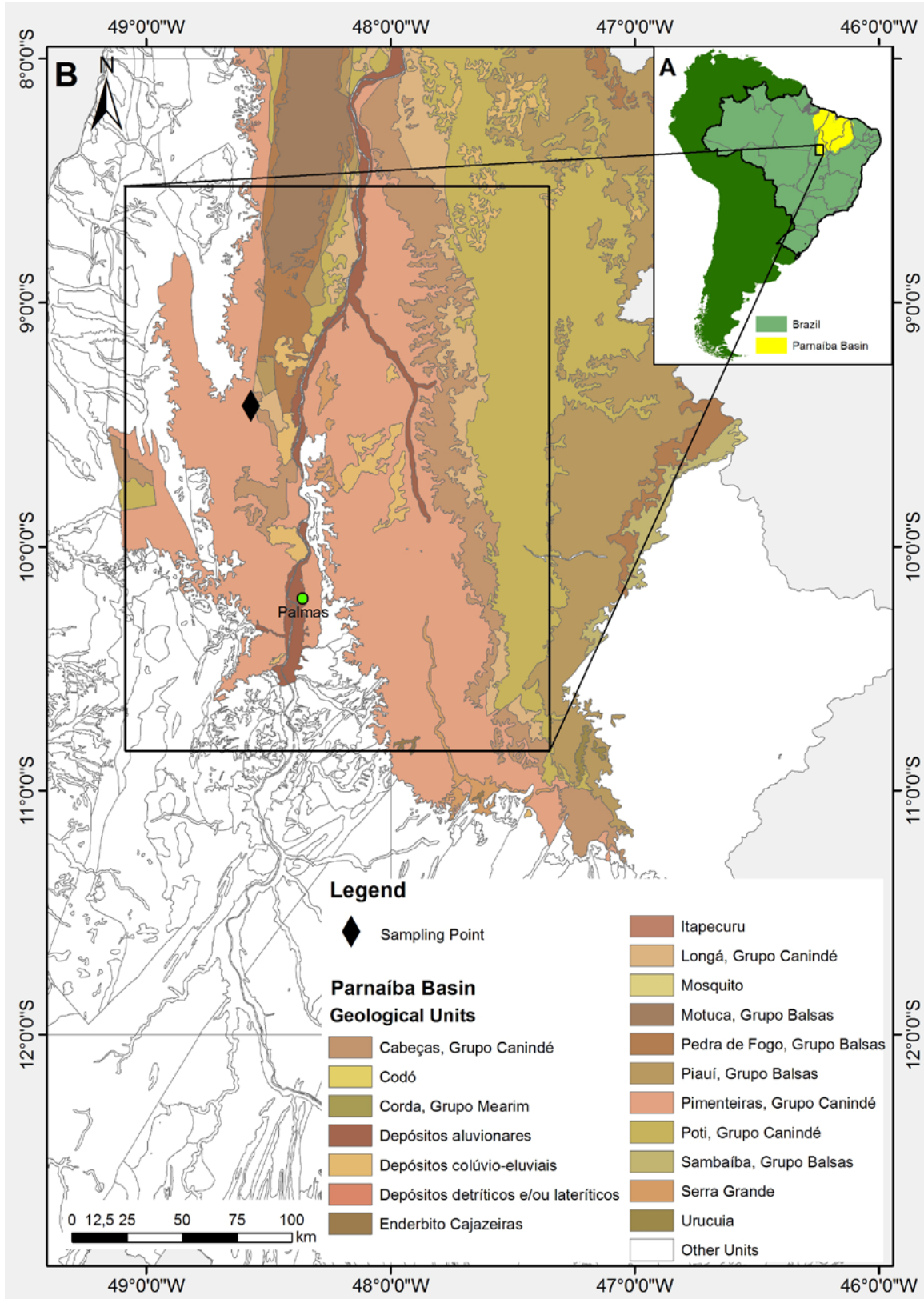


Figure 1: Location map of the samples collected from the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil. A- Location Map of the Parnaíba Basin and the study area in the South American continent. B- Geological map of the state of Tocantins, highlighting the formations of the Parnaíba Basin and the location of the studied outcrop.

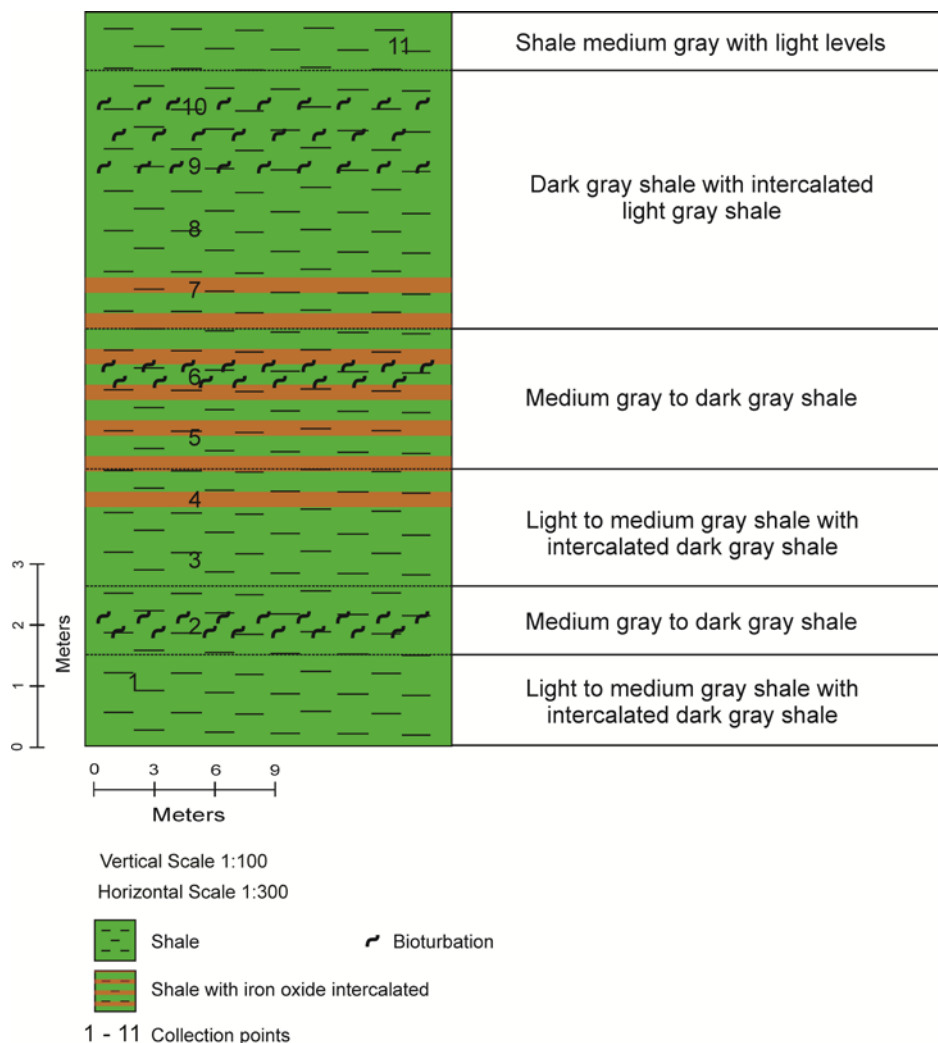


Figure 2: Schematic profile of the studied outcrop of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil, with the location and description of sampling stations.

A Rock Eval Pyrolysis was performed on samples with TOC > 1%. Through this analysis, peaks S1, S2 and S3, the Hydrogen Index (HI), the Oxygen Index (HI) and the maximum temperature of pyrolysis (Tmax) were obtained.

### 3.5 The Spore Color Index (SCI)

The Spore Color Index (SCI) was used in conjunction with Tmax for the interpretation of organic matter maturity. This was determined by microscopy under white light transmitted through standard slides from Robertson Research International Limited (Barnard et al., 1981).

### 3.6 Palynofacies analysis



The palynofacies analysis also followed the methodology adapted from Tyson (1995). The slides were analyzed using a petrographic microscope from Carl Zeiss, with a camera attached. The kerogen was evaluated qualitatively and quantitatively by optical microscopy under transmitted white light and under fluorescence mode. In each sample, the organic matter components were evaluated for a count of 300 particles, and the individual components of organic matter (phytoclads, palynomorphs and amorphous organic matter) and their relative proportions were determined.

Amorphous organic matter (MOA) was considered as fluorescent or non-fluorescent.

The phytoclast group was subdivided into opaque and not opaque. The opaque phytoclads were classified as elongated, equidimensional or corroded, whereas the non-opaque phytoclads were classified according to the degree of preservation, i.e., not degraded and degraded. Each of these subgroups of non-opaque phytoclads was further classified into non-biostructured, biostructured, cuticle or epidermis tissues.

The subset of palynomorphs was divided into sporomorphs, microplankton (acritarchs, prasinophytes, botryococcus and others) and zoomorphs (chitinozoan, scolecodonts and others).

Among these, the most abundant categories were used to prepare a dendrogram using the Statistica 7.0 program. Initially, Correlation Matrix analysis (using the Pearson correlation coefficient -  $r$ ) was performed between the variables selected to check the application of the multivariate technique in this study. After verification, significant correlations were made in the Cluster Analysis to then construct a dendrogram based on Euclidean distance. With this, some palynofacies groups were revealed and are discussed in each chronostratigraphic range established.

## 4. Results and Discussion

### 4.1 Biostratigraphic Classification

Overall, the organic matter and palynomorphs displayed strong preservation. However, the miospores showed a very variable color, from light translucent yellow to very dark brown, which in some cases made it difficult to identify them.

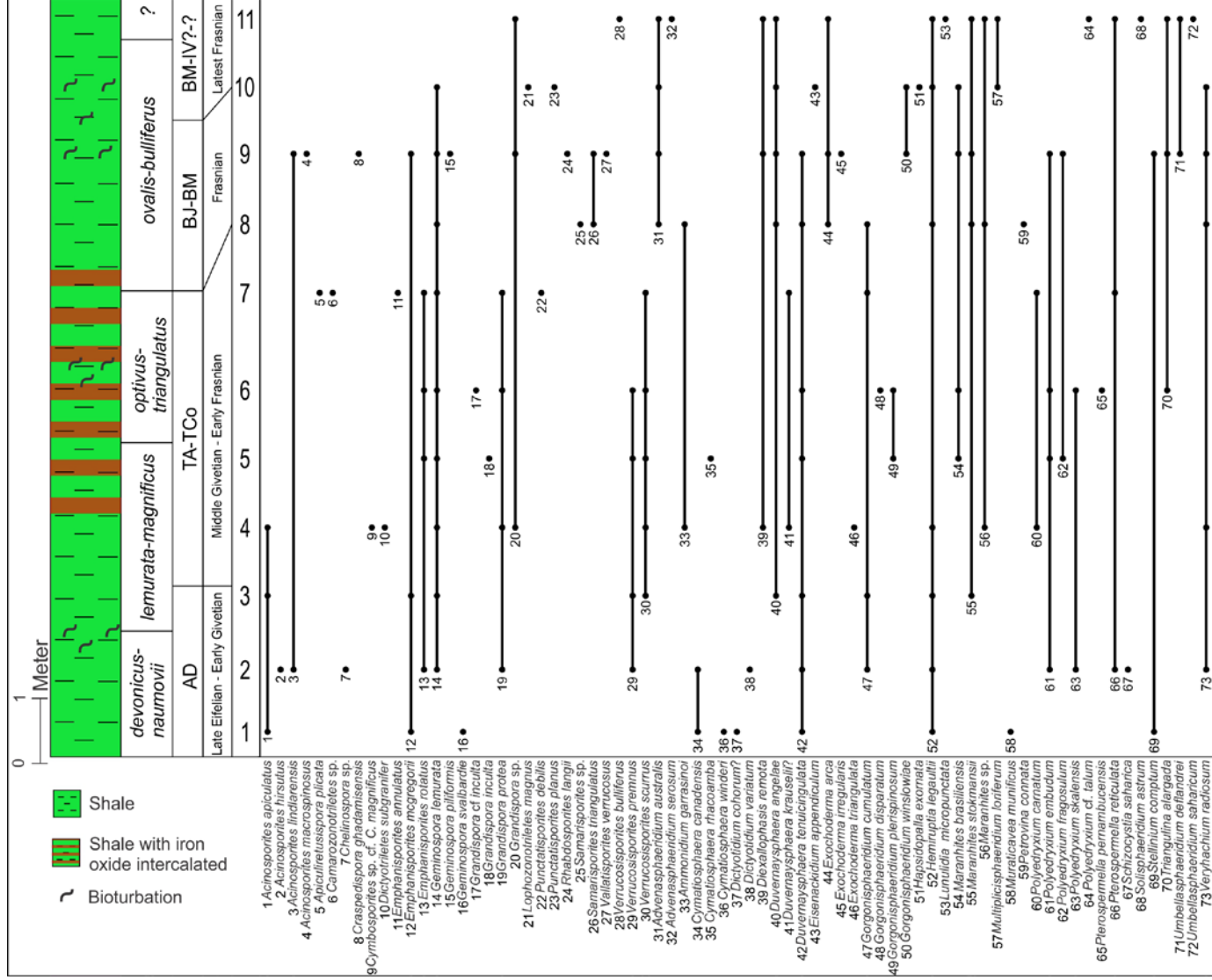
All possible miospores, acritarchs and phycolate species were identified (Appendix).

However, for the purposes of biostratigraphic classification, only the most important species for the zoning are considered in this work (Fig. 3 and Plates 1-3).

Figure 3 illustrates the major palynomorph species identified in each position of the outcrop and the biostratigraphic intervals demarcated according to miospore zoning made by Richardson and McGregor (1986) and Strel et al. (1987), both in Western Europe. Thus, the most notable species most notable of acritarchs and phycolate species were included here in this zoning. The complete list of said species is provided in the Appendix.

This integration between the palynological results allowed for determining the chronostratigraphic interval of Late Eifelian - Latest Frasnian in the studied outcrop, corresponding the following zones: AD pre-Lem, AD- Lem, Ta, Tco, BJ and BM-IV.

Figure 3: Schematic profile of the biostratigraphic distribution of the most representative palynomorphs of each sample studied in the outcrop of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins Brazil. The correlations with biozones determined by Richardson and McGregori (1986) and Strel et al (1997) are listed next to the profile.



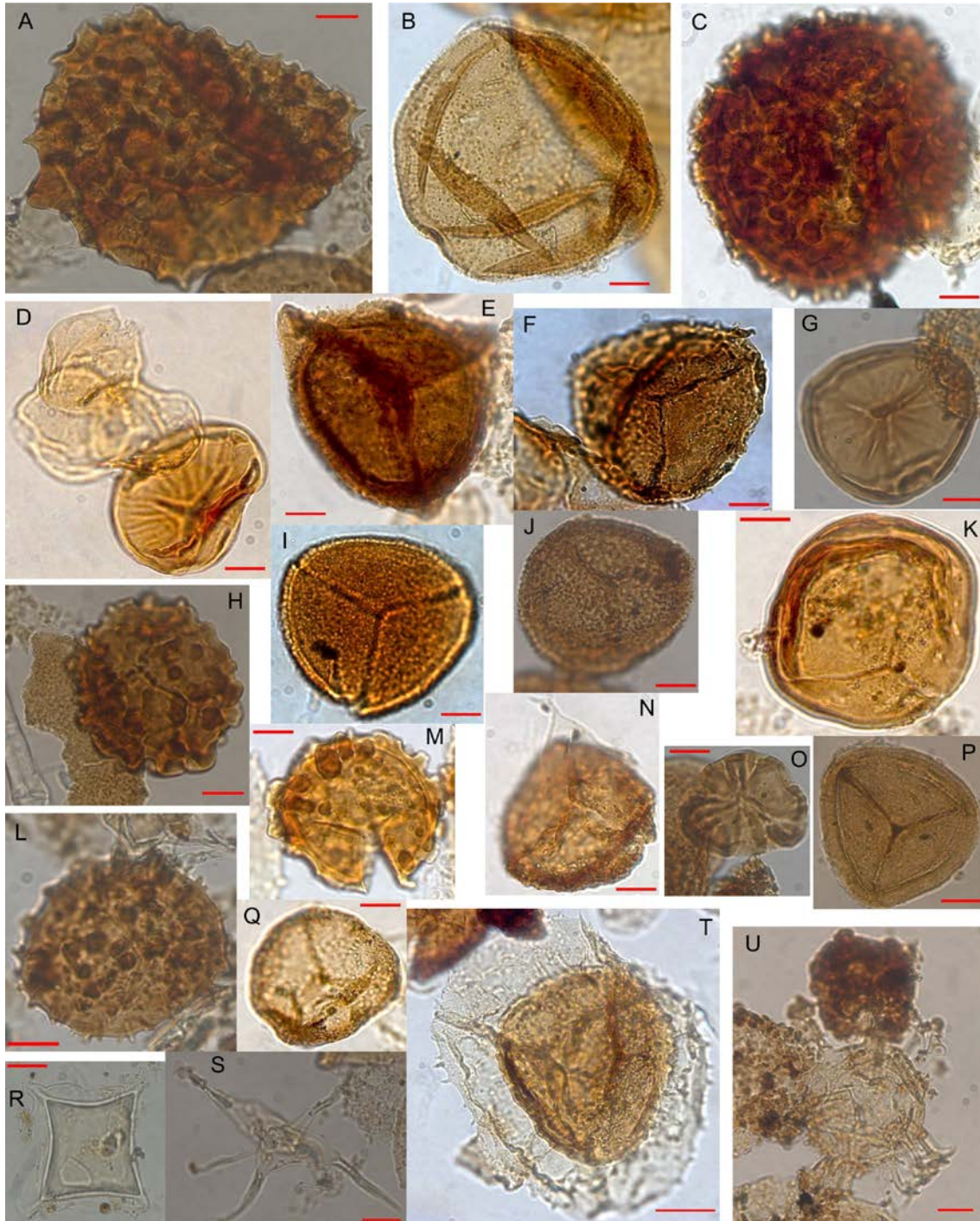


Plate 1: Photographs of miospores and acritarchs identified in the outcrop of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil. The scale bar is 10 $\mu$ m, except for T, for which the scale bar is 20 $\mu$ m. A- *Acinosporites hirsutus*; B- *Apiculiretusispora plicata*; C- *Acinosporites macrospinosus*; D- *Emphanisporites mcgregorii*; E- *Samarisporites triangulatus*; F- *Dictyotriletes* sp; G- *Emphanisporites rotatus*; H- *Verrucosisporites scurrus*; I- *Acinosporites apiculatus*; J- *Acinosporites lindlarensis*; K- *Punctatisporites planus*; L- *Verrucosisporites bulliferus*; M- *Verrucosisporites premnus*; N- *Craspedispora ghadamisensis*; O- *Emphanisporites annulatus*; P- *Geminospora lemurata*; Q- *Geminospora piliformis*; R- *Duvernaysphaera angelae*; S- *Eisenackidium appendiculum*; T- *Grandispora protea*; U- *Advenasphaeridium australis*.



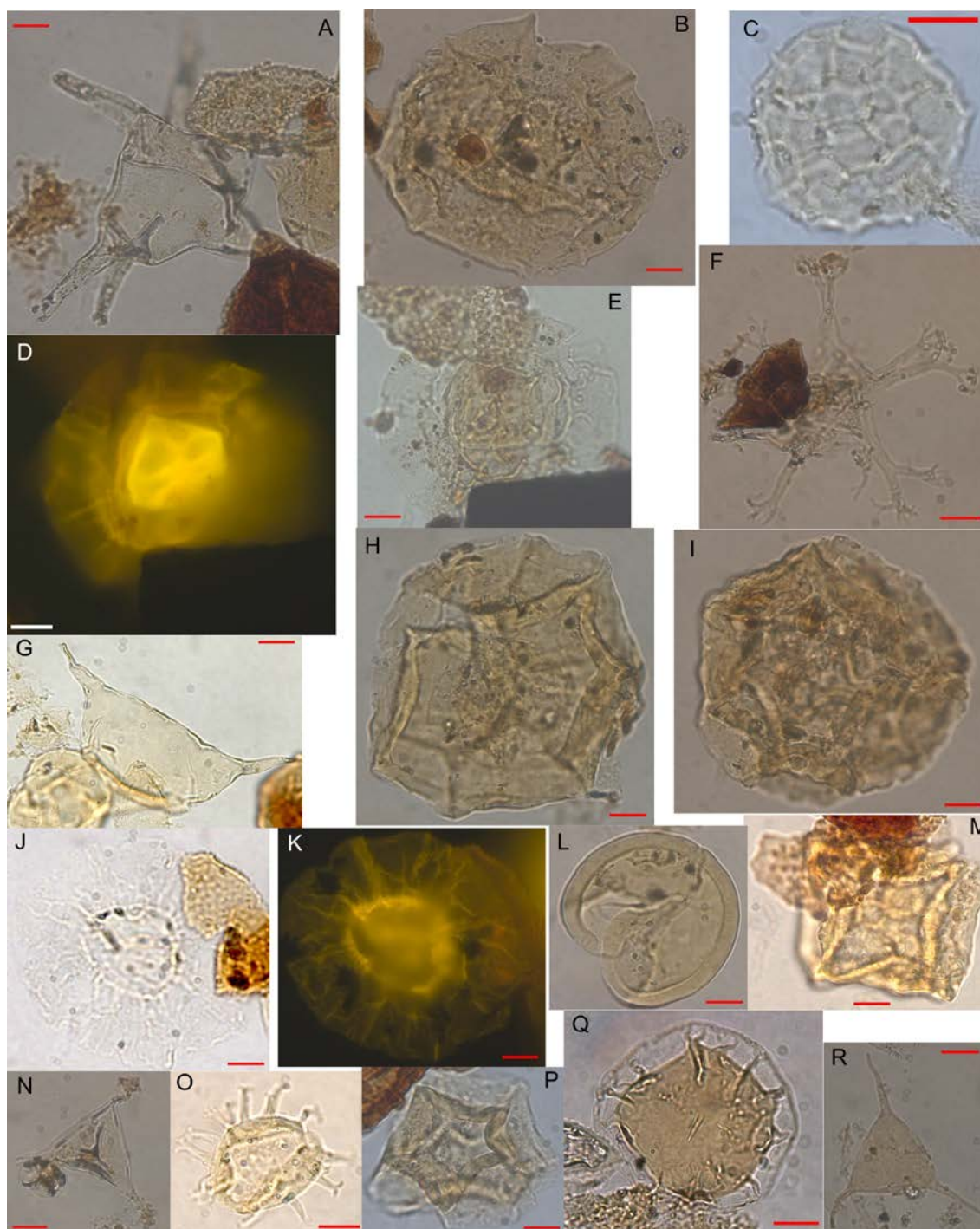


Plate 2: Photographs of acritarchs and phycornates identified in the outcrop of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil. The scale bar is 10 $\mu$ m. A- *Exochoderma irregularis*; B- *Cymatiosphaera rhacoamba*; C- *Dictyotidium cohortum?*; D and E- *Pterospermella reticulata*; F- *Multicisphaeridium ramusculosum*; G- *Schizocystia saharica*; H- *Polyedryxium skalensis*; I- *Polyedryxium carnatum*; J and K- *Pterospermella pernambucensis*; L- *Hemiruptia legaultii*; M- *Polyedryxium embudum*; N- *Veryrhachium downiei*; O- *Ammonidium garrasinoi*; P- *Muraticavea munificus*; Q- *Duvernaysphaera tenuicingulata*; R- *Veryrhachium trispinosum*.

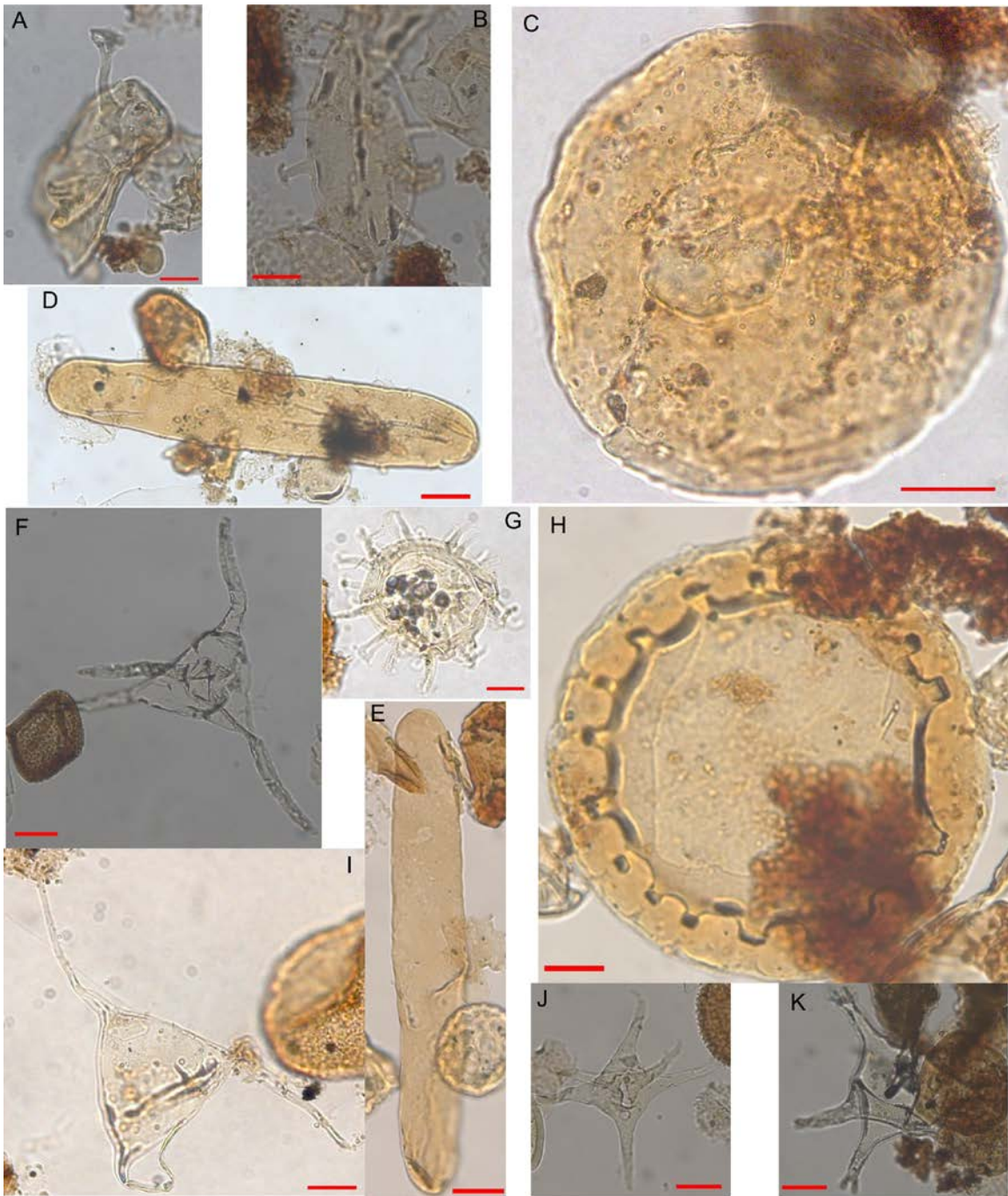


Plate 3: Photographs of acritarchs and phycocysts identified in the outcrop of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil. The scale bar is 10 $\mu$ m for A-B and 20 $\mu$ m for C-K. A- *Umbellasphaeridium saharicum*; B- *Umbellasphaeridium deflandrei*; C- *Maranhites stokmansii*; D e- *Navifusa bacilla*; F- *Exochoderma triangulata*; G- *Multiplicisphaeridium loriferum*; H- *Maranhites brasiliensis*; I- *Villosacapsula owensii*; J- *Veryhachium polyaster*; K- *Diexallophasis remota*.

This result is very similar to those found by Loboziak et al. (2000), also for outcrops on the western edge of the Parnaíba Basin. Based on the miospore biostratigraphy, Loboziak et al. (2000) recorded the same zones found in this study for the Pimenteiras Formation, with the exception of the pre-Lem AD range, which was not identified.

Based on the collected data, the miospore biozones of the Famennian remain unclear in these strata of the Pimenteiras Formation.

#### 4.1.1 Range: Late Eifelian - Early Givetian

At the basal portion of the outcrop, one palynomorphous association was identified that characterizes the transition from the Eifelian to the beginning of the Givetian (Fig. 3). The most representative species in this range are listed as follows: *Acinosporites apiculatus*, *A. lindlarensis* (Pl. 1J), *A. hirsutus* (Pl. 1A), *Emphanisporites rotatus* (Pl. 1G), *E. mcgregorii* (Pl. 1D), *Geminospora lemurata* (Pl. 1P), *Geminospora svalbardie*, *Grandispora protea* (Pl. 1T), *Verrucosporites premnus* (Pl. 1M), *V. scurrus* (Pl. 1H), *Cymatiosphaera canadensis*, *C. winderi*, *Duvernaysphaera angelae* (Pl. 1R), *D. tenuicingulata* (Pl. 2Q), *Gorgonisphaeridium cumulatum*, *Muraticavea munificus* (Pl. 2P), *Dictyotidium cohortum* (Pl. 2C), *D. variatum*, *Schizocystia saharica* (Pl. 2G), *Stellinium comptum* e *Veryhachium radiosum*.

#### 4.1.2 Range: Middle Givetian – Early Frasnian

The zone-association miospores, acritarchs and phycomates indicate that this chronostratigraphic interval is comprised of the following: *Apiculiretusispora plicata* (Pl. 1B), *Emphanisporites annulatus* (Pl. 1O), *Cymbosporites* sp. cf. *C. magnificus*, *Cymbosporites* sp., *Dictyotriletes subgranifer*, *Geminospora lemurata*, *Punctatisporites debilis*, *Samarisporites triangulatus* (Pl. 1E), *Ammonidium garrasinoi* (Pl. 2O), *Cymatiosphaera rhacoamba* (Pl. 2B), *Duvernaysphaera krauselii*, *Diexallophasis remota* (Pl. 3K), *Exochoderma triangulata* (Pl. 3F), *Gorgonisphaeridium plerispinosum*, *G. disparatum*, *Maranhites brasiliensis* (Pl. 3H), *Polyedryxium embudum* (Pl. 2M), *P. carnatum* (Pl. 2I), *P. fragosulum*, *P. skalensis* (Pl. 2H),

*Pterospermella pernambucensis* (Pl. 2J and K), *Pterospermella reticulata* (Pl. 2D-E) e *Triangulina alargada*.

#### 4.1.3 Range: Early Frasnian – Latest Frasnian

This interval consists mainly of the following zone-associations: *Geminospora piliformis*, *Vallatisporites verrucosus*, *Verrucosisporites bulliferus* (Pl. 1L), *Advenasphaeridium australis* (Pl. 1U), *Exochoderma arca*, *E. irregularis* (Pl. 2A), *Maranhites brasiliensis*, *M. stokmansii* (Pl. 3C), *Maranhites* sp., *Gorgonisphaeridium winslowiae*, *Petrovina connata*, *Umbellasphaeridium deflandrei* (Pl. 3B), *U. saharicum* (Pl. 3A).

Along with this typical association of the Upper Devonian, the persistence of some miospore species also marked the Middle Devonian zones. Among such species, *Craspedispora ghadamisensis* was recorded in the *Grandispora permulta* zone (Per) (Melo & Loboziak, 2003) in the interval corresponding to the Eifelian- Early Givetian.

In addition, species characteristic of the devonicus-namovii zone (Middle Eifelian - Early Givetian) include *Rhabdosporites langii* and *Acinosporites macrospinosus* (Richardson and McGregor, 1986). The presence of *A. macrospinosus* (Pl. 1C) is also associated with *Rhabdosporites langii* and *Geminospora lemurata* in the *Geminospora lemurata* - *Chelinospora* ex. gr. *ligurata* (LLI) zone (Melo and Loboziak, 2003) for the Early Givetian.

The presence of these species indicates possible reworking of the lower portions of the basin. However, it is also important to note that some of the species contained in this range are present throughout the Frasnian and are also characteristic of the Famennian. *Vallatisporites verrucosus* was identified by Loboziak et al. (2000) in the Parnaíba Basin in the LN and BP zones (Middle Tournasian), but has not been identified in the Cabeças or Pimenteiras Formations. In the Solimões Basin, *V. verrucosus* was also found at the end of the Upper Devonian (Grahn et al., 2003).



*Petrovina connata* was recorded for the first time by Loboziak et al. (1997) in the Late Famennian. *Gorgonisphaeridium winslowiae* was found in the Famennian and possibly Mississippian North America, North Africa and Europe (Playford and McGregor, 1993; Heal and Clayton, 2008).

Moreover, *Umbellasphaeridium saharicum* was reported in the Paraná Basin, in Brazil, at levels equivalent to the range of Frasniano - Late Famennian (Oliveira et al., 1997). However, it has also been recorded in the range of Late Givetian to Late Frasnian by Mauller (2007), also in the Paraná Basin, in association with a proliferation of Maranhites spp. As in this work, there is a significant number of specimens of the genus *Maranhites*, e.g., *Maranhites stockmansii*, *Maranhites brasiliensis* and other unidentified species.

It is noteworthy, however, that previous works, i.e., Loboziak et al. (2000) and Grahn et al. (2006), did not record assemblies of the palynomorphs that could record this range in the Pimenteiras Formation. However, this lack of registration, as reported above, can be explained by the presence of a stratigraphic gap in the Parnaíba Basin; this gap is larger than that in the adjacent Amazon Basin (Grahn et al., 2006). These regional gaps probably resulted from a sharp drop in sea level at the end Famennian and the onset of glaciation in the Late Devonian (Caputo, 1984; Loboziak et al, 2000; Streeel et al.; 2000, 2001).

In this way, it is possible that the Late Famennian miospores and chitinozoans investigated by Loboziak et al. (2000) and Grahn (2006) were not preserved in the portions of the Pimenteiras Formation studied by these authors. Thus, the research presented in this work offers a new perspective and suggests that more detailed investigations in this regard could be performed with a view to better describe the entire interval of the Upper Devonian in the Pimenteiras Formation.

Thus, due to the lack of a more complete record of biozones of the Famennian, and also due to the paleoenvironmental interpretation discussed below, this study will not consider the effective presence of the Famennian.

#### 4.1.4 Cosmopolitan taxa

In addition to the species mentioned in Fig. 3, numerous taxa of cosmopolitan palynomorphs were identified for the Devonian and Paleozoic in general: *Dictyotriletes* sp. (Pl. 1F); *Grandispora* sp.; *Laevigatosporites* sp.; *Retusotriletes* sp.; *Veryhachium* sp.; *Dictyotidium* sp.; *Leiosphaeridia* sp.; *Lophosphaeridium* sp.; *Michrystidium stellatum*; *Multicisphaeridium ramusculosum* (Pl. 2F); *Multiplicisphaeridium* sp.; *Navifusa bacilla* (Pl. 3D-E); *Onondagella asymmetrica*; *Palacanthus ledanoisii*; *Polyedryxium* cf. *decorum*; *Polyedryxium* sp.; *Pterospermella* sp; *Protosalvinia* sp.; *Tasmanites* sp. ; *Veryhachium downiei*; *Veryhachium polyaster* (Pl. 3J); *Veryhachium lairdii*; *Veryhachium trispinosum* (Pl. 2R); *Veryhachium* sp.; *Villosacapsula ceratioides*; *Villosacapsula owensii* (Pl. 3I) and *Winwaloesusia distracta*.

#### 4.2 Geochemical characterization

Figure 4 illustrates the TOC and other significant parameters of Rock Eval pyrolysis ( $S_2$ ,  $S_2 / S_3$  and  $T_{max}$ ). According to the classification established by Peters and Cassa (1994) for the potential of generation, the values of the  $S_1$  peaks recorded in this study were considered to be very poor ( 0.0-0.2 mg HC/g rocha ), so they are not included in the graphs.

The Total Organic Carbon (TOC) concentrations (Fig. 6B) varied widely among samples. However, most of the samples displayed generation potential classified as good and very good, and only samples 4 and 5 were considered poor, according to the classification of Peters and Cassa (1994).

Figure 4 shows that at the top of the outcrop, there is an increasing trend in the COT, coinciding with the disappearance of intercalations of iron oxide (Figure 4A), which mark the frequency in samples 4-7. Accordingly, it appears that, in general, shales collected in the

upper portion of the outcrop have darker shades and are more finely laminated by shales with lighter shades. In addition, the presence of bioturbation is also evident in samples with higher TOC.

The  $S_2$  results (Fig. 4C), used to assess potential generation, show that only samples 8 to 11 have a potential considered as regular for hydrocarbon generation (from 2.91 to 5.33 mg / g). The other samples are considered as poor (below 2.5 mg / g). Thus, one should consider that although some samples show TOC rated as very good, the  $S_2/S_3$  ratio (Fig. 4D) shows that the kerogen can be classified as type III once it is between 5 and 10 (Cassa and Peters, 1994).

The HI ranges from 40.8 mg HC / g TOC (sample 3) to 225.9 mg HC / g TOC (sample 11), so an increase in this index can be observed in sample 8 (Frasnian). The OI, however, varies from 33 mg CO<sub>2</sub> / g TOC (sample 10) to 93.9 mg CO<sub>2</sub> / g TOC (sample 3).

The Van Krevelen graph (Fig. 5) shows the Oxygen Index (OI) and the Hydrogen Index (HI) (Tissot et al., 1974), and indicates that the kerogen of the samples is actually a mixture of types II and III. With the exception of Sample 3, which actually consists of type III kerogen, as observed by the low HI value and high OI value.

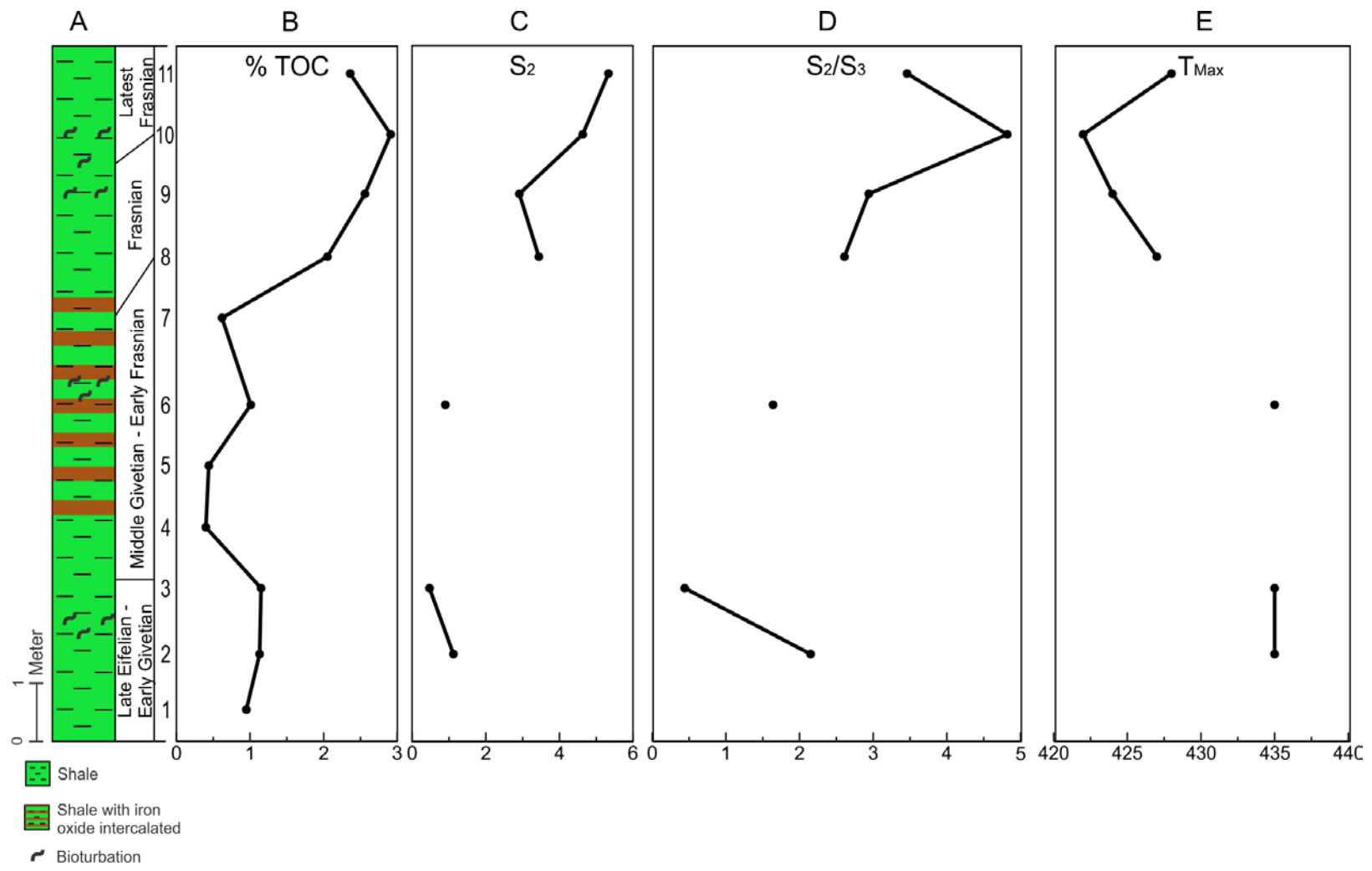


Figure 4: Profile of the geochemical data of the Pimenteiras Formation samples. A- schematic profile of the outcrop studied; B- TOC concentrations; C- S<sub>2</sub> values; D- S<sub>2</sub> / S<sub>3</sub> values; Maximum Temperature of Pyrolysis (T<sub>max</sub>).

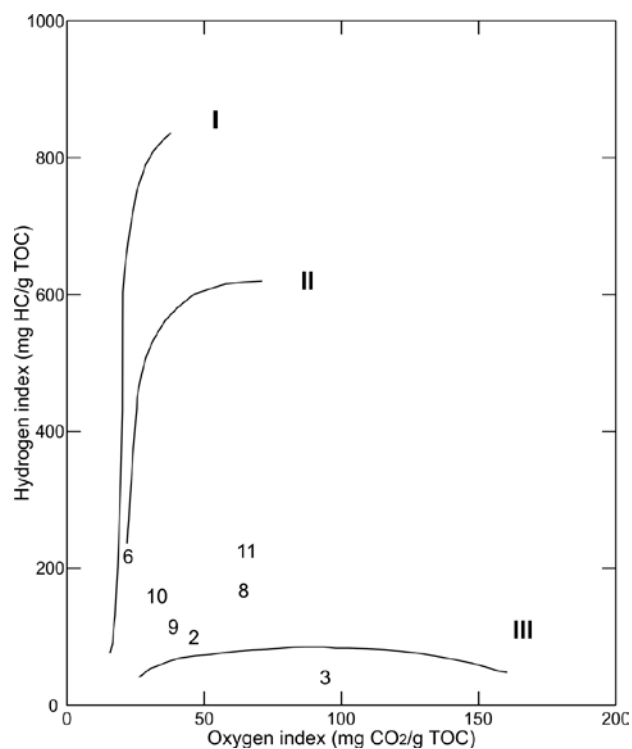


Figure 5: Van Krevelen graph with the studied samples (with over 1% TOC) of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil.

#### 4.3 Maturation parameters

The Maximum Temperature of Pyrolysis (Tmax) ranges between 422 and 435 °C (Fig. 4D), suggesting that all investigated samples are below the hydrocarbon generation window and are therefore in the diagenetic phase.

The Tmax also follows a reverse trend of increased generation potential, which simply means that the samples with greater generation potential are those with lower Tmax values.

The Spores Color Index (ICE) ranged between 4.0 and 4.5, according to the blades of Robertson Research Limited (Barnard *et al.*, 1981). Thus, according to the classification proposed by Barnard *et al.* (1981), when taking into account that the rocks are from the Devonian, one can determine that the ICE values are consistent with the Tmax results, thus revealing the immaturity of all the samples studied.

#### 4.4 Palynofacies associations

In general, the organic matter was well preserved and with fluorescence, which allowed for the analysis and the counting of organic matter components, in addition to the indication of immaturity and no oxidation of the samples.

For the definition of palynofacies associations, only subgroups of kerogen that had the most significant average percentage were considered. Thus, 10 out of the 25 total categories were used to construct a dendrogram through cluster analysis, which revealed four palynofacies associations (Fig. 6).

Table 1 contains the correlation matrix for the variables used to calculate the Pearson correlation coefficient ( $r$ ).

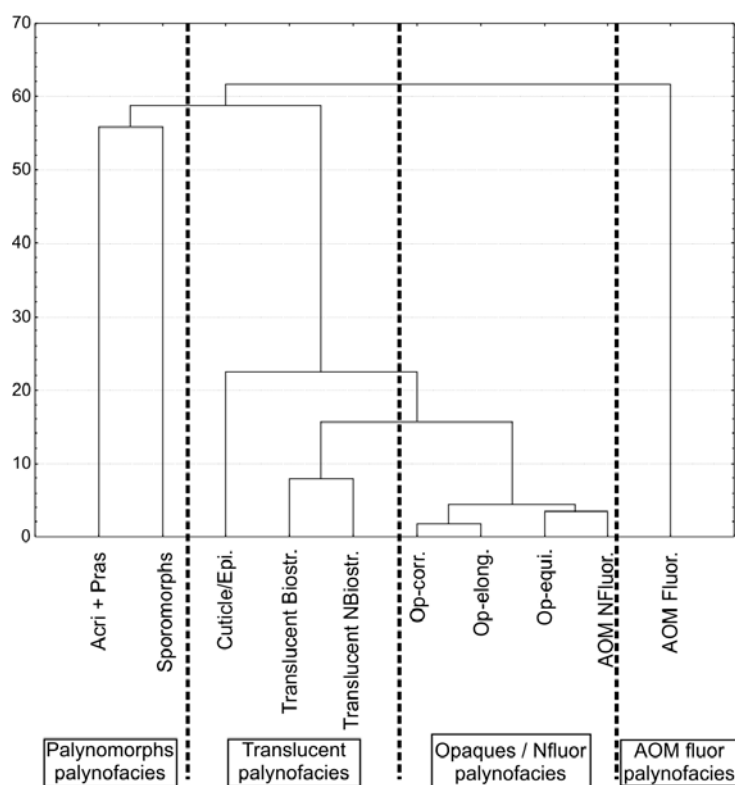


Figure 6: Dendrogram (Euclidean distances) of 10 categories of the kerogen studied of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil. The four palynofacies associations are highlighted.

	AOM Fluor.	AOM NFluor.	Op-elong.	Op-equi.	Op-corr.	Transl. NBiostr.	Cuticle/Epi.	Transl. Biostr.	Sporom..	Acri+Pras
AOM Fluor.	1.00									
AOM NFluor.	<b>0.89</b>	1.00								
Op-elong.	<b>0.68</b>	<b>0.72</b>	1.00							
Op-equi.	<b>0.73</b>	<b>0.77</b>	<b>0.70</b>	1.00						
Op-corr.	-0.05	-0.34	-0.18	-0.16	1.00					
Transl. NBiostr.	<b>-0.93</b>	<b>-0.74</b>	-0.49	<b>-0.61</b>	-0.14	1.00				
Cuticle/Epi.	<b>-0.73</b>	<b>-0.69</b>	<b>-0.54</b>	<b>-0.56</b>	0.02	<b>0.69</b>	1.00			
Transl. Biostr.	<b>-0.84</b>	<b>-0.81</b>	<b>-0.67</b>	<b>-0.69</b>	-0.20	<b>0.75</b>	<b>0.73</b>	1.00		
Sporomorphs	<b>-0.86</b>	<b>-0.81</b>	<b>-0.74</b>	<b>-0.56</b>	0.16	<b>0.67</b>	<b>0.64</b>	<b>0.77</b>	1.00	
Acri+Pras	0.42	0.40	0.42	0.15	0.06	-0.30	<b>-0.75</b>	<b>-0.58</b>	<b>-0.67</b>	1.00

Table 1: Correlation matrix with the variables used for palynofacies association in the outcrop of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Brazil. The most significant correlations are in bold.

The revealed palynofacies are: Palynomorphs (acritarchs, prasinophytes and sporomorphs), Translucent (cuticles, epidermal tissue and translucent phytoclasts with and without structure), Opaque/non-fluorescent (opaque phytoclasts and non-fluorescent AOM) and AOM fluorescent (amorphous organic matter with fluorescence).

The relative abundance of each of the four identified palynofacies is shown in Fig. 7.

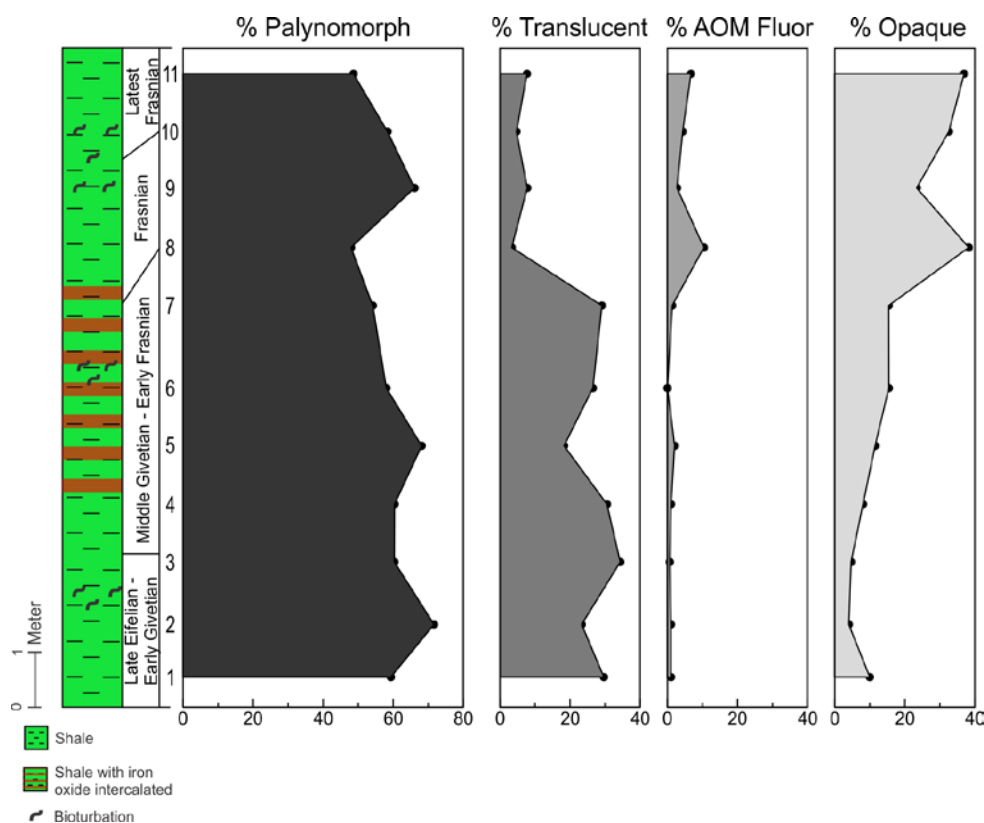


Figure 7: Stratigraphic distribution of palynofacies associations in the Pimenteiras Formation samples.

#### 4.4.1 Palynomorph palynofacies

The palynomorphs are the most abundant palynofacies of all of the kerogen samples studied, accounting for 59.4% of the total palynofacies. Various effects can lead to the occurrence of elevated palynomorph concentrations in sediments rich in silty material of medium to fine grains, due mainly to the existing hydrodynamic equivalence between the sedimentary material and the palynomorph constituents (Müller, 1959; Wall et al., 1977; Tyson, 1993). This group of Palynofacies, however, consists of marine (acritarchs and prasinophytes) and terrestrial (sporomorphs) palynomorphs. Therefore, this grouping does not allow further discussion of the depositional paleoenvironment, but corroborates the discussion of section 3.2, indicating that the studied kerogen is composed of a mixture between types II and III.

#### 4.4.2 Translucent palynofacies

The translucent palynofacies has an average relative abundance of 19.6%.

Higher percentages of non-opaque (or translucent) phytoclasts are usually found near the fluvial sources where such particles dilute any type of opaque phytoclasts, palynomorphs or amorphous organic matter present (Tyson, 1989).

It was also possible to detect that higher palynofacies concentrations occur between samples 1-7, and there is a decrease in palynofacies abundance from sample 8. This indicates a distal trend the Frasnian (Fig. 7).

#### 4.4.3 Opaque / non-flourescent palynofacies

The opaque / non-flourescent group is the least abundant of the associations (average of 2.8% of the total of kerogen). Contrary to what occurs with translucent palynofacies, this group increases in abundance from the Frasnian (Fig. 7).



#### 4.4.4 AOM fluorescent palynofacies

Relatively high fluorescent intensity of AOM indicates strongly reducing environments with strong preservation of lipid-rich materials. The average percentage of this group is 18.2% of the total of kerogen (Fig. 7).

Tyson (1993) mentions that the high percentage of MOA Fluorescent mainly reflects the increased level of preservation in reducing conditions and, to a lesser extent, indicates sedimentation farther from the active source of the terrestrial components.

Most of the organic matter in marine sediments is represented by amorphous organic material, but this type of organic component is easily degraded when exposed to aerobic conditions.

Thus, the increase in the abundance of this palynofacies from the Frasnian indicates a decrease in oxidizing conditions and the dominance of an anoxic or dysoxic paleoenvironment.

#### 4.5 Paleoenvironmental interpretation

As previously discussed in section 4.4, among the three basic constituents of organic matter, the Palynomorphs are dominant in all samples, as can also be observed in Fig. 8.

It was also possible to note that the MOA and palynomorph concentrations tend to increase with the progressive increase in TOC, to the detriment of phytoclasts, which follow the reverse trend (Fig. 8).

In addition, considering the relative ratio between the identified palynomorph groups, miospores (Table 2) are the predominant group in samples from 1 to 7, indicating a higher contribution from continental organic matter. However, in samples 8 to 11, an increase in microplankton was observed, with acritarchs and phycomates (prasinophytes) dominating.

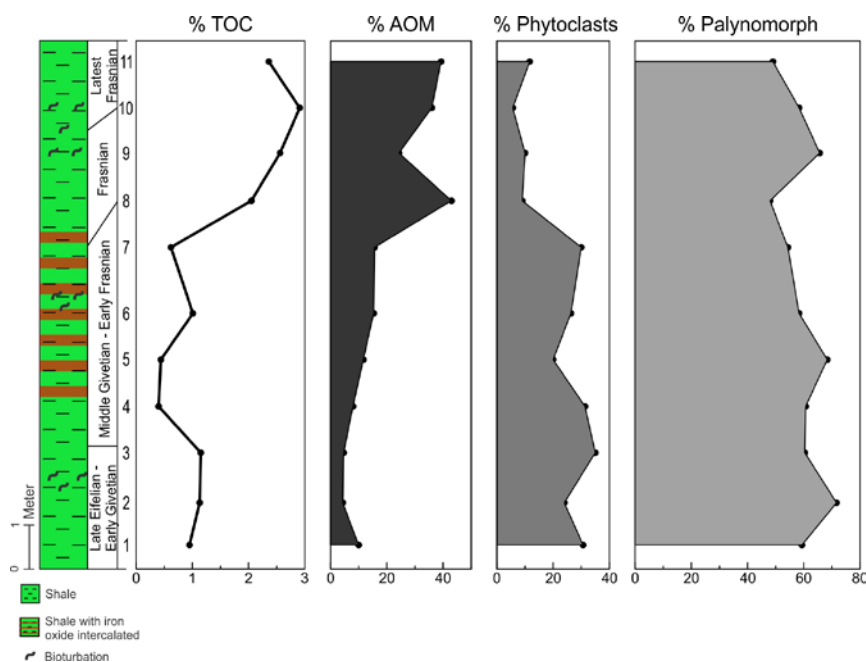


Figure 8: Relative abundance of the three basic constituents of organic matter in relation to TOC concentration in the Pimenteiras Formation samples.

Sample	Miospores	Microplankton				Zoomorphs
		Acritarchs	Prasinophytes	<i>Botryococcus</i>	Others <sup>1</sup>	Chitinozoans
1	56.74	40.45	2.81	0.00	0.00	0.00
2	53.95	43.72	2.33	0.00	0.00	0.00
3	46.96	45.86	7.18	0.00	0.00	0.00
4	41.21	54.40	3.30	1.10	0.00	0.00
5	50.24	46.83	0.98	0.00	1.95	0.00
6	50.29	45.71	2.86	0.00	1.14	0.00
7	68.71	28.83	1.84	0.00	0.61	0.00
8	30.56	61.11	7.64	0.00	0.00	0.69
9	35.03	56.85	7.11	1.02	0.00	0.00
10	21.14	63.43	14.86	0.57	0.00	0.00
11	23.81	63.95	10.88	0.00	0.00	1.36

Table 2: Relative proportion (%) among palynomorphous groups identified on the western edge of the Pimenteiras Formation, the Parnaíba Basin, Brazil. <sup>1</sup>Includes unidentified specimens.

The chitinozoans and botryococcus in general have low relative abundance among palynomorphs. The former is indicative only of marine environments.

In considering the percentage of organic matter constituents of marine and continental origin (Fig. 9), it was noticeable that the continental contribution (miospores and phytoclasts) is

prevalent among samples from 1 to 7, whereas the marine contribution (acritarchs and prasinophytes) becomes dominant among samples 8 to 11 (Fig. 10).

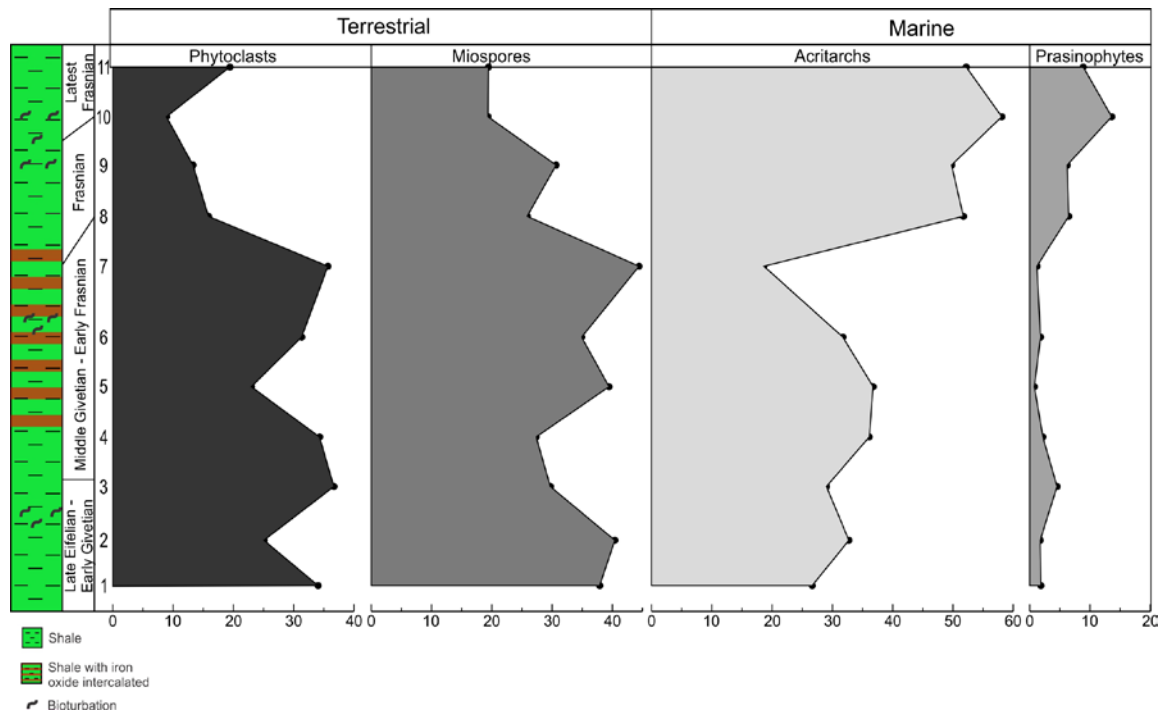


Figure 9: Relative abundance of key marine components (acritarchs and prasinophytes) in relation to terrestrial components (miospores and phytoclasts) in the Pimenteiras Formation samples.

Thus, it is possible to identify the transgression / regression cycle in the outcrop of the basal and middle portions of the Pimenteiras Formation (Late Eifelian - Givetian), marked by greater continental influence, and subsequent transgression that occurs at the top of the Pimenteiras (Late Frasnian).

From the ternary AOM / Phytoclast / Palynomorph diagram (Figure 11A), it was possible to detect the presence of two palynofacies proposed by Tyson (1995). In general, all the samples (samples 1 to 7 and 9) correspond to palynofacies field V, and only the samples 8, 10 and 11 correspond to field VII.

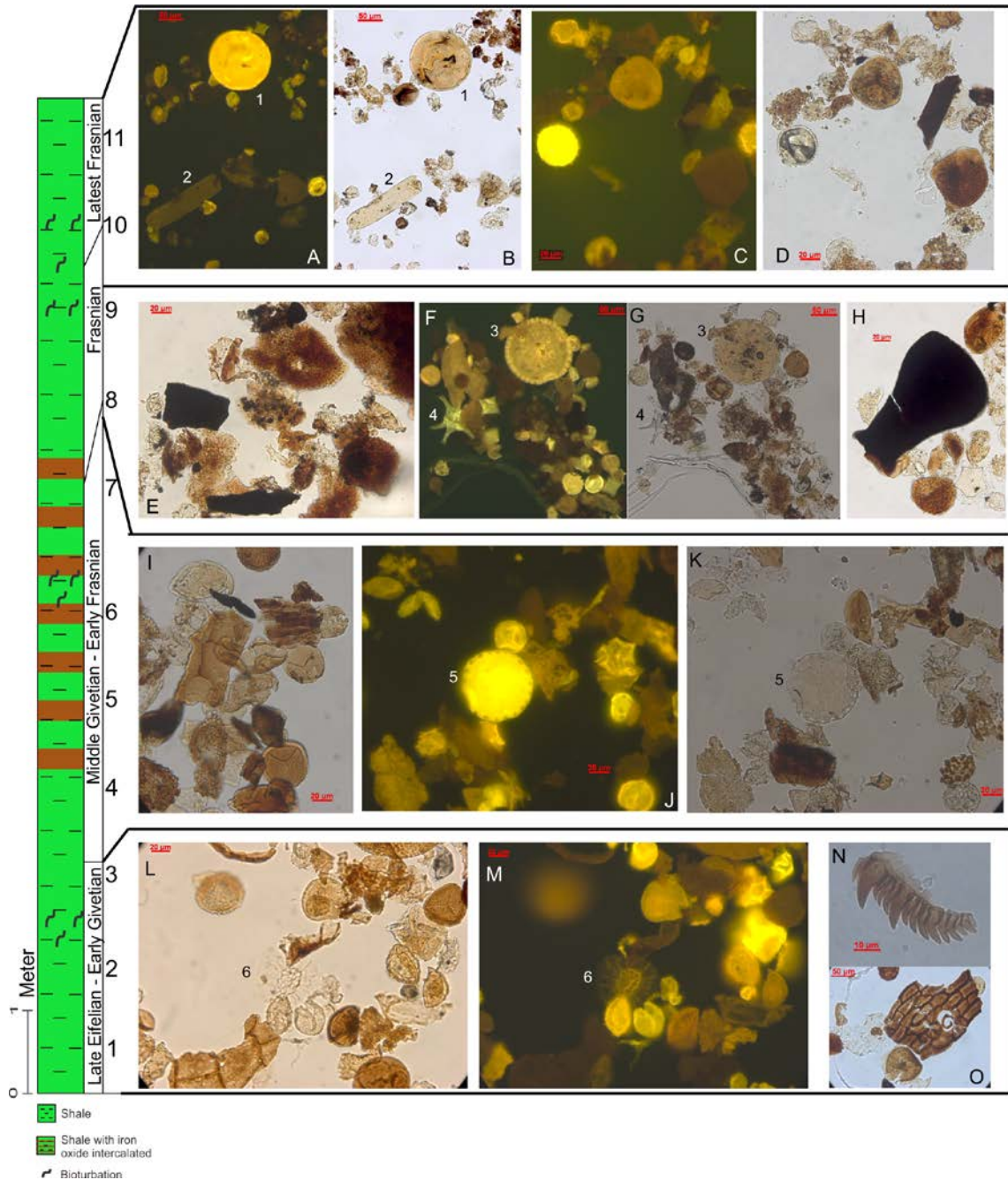


Figure 10: Schematic illustration showing the composition of palynofacies in each biochronostratigraphic interval marked in the outcrop of the Pimenteiras Formation, Parnaíba Basin, Tocantins, Brazil. A-D Palynofacies of the Latest Frasnian, with the presence of prasinophyte algae, acritarchs, opaque phytoclasts and some spores. E-H: Palynofacies representative of the Frasnian, showing the presence of many opaque fragments, many prasinophytes, acritarchs, AOM and some miospores. H: Chitinozoan. I-K: Palynofacies characteristics from the Middle Givetian to the Early Frasnian, with the presence of many miospores, cuticle fragments, translucent phytoclasts, acritarchs and some algae. L-O: Palynofacies representative of the Early to Late Eifelian Givetian, with high abundance of miospores, translucent phytoclasts, cuticles and some spherical acritarchs. N- Scolecodont and O-cuticle fragment.

1- *Maranhites* sp.; 2-*Navifusa bacila*; 3- *Maranhites brasiliensis*; 4- *Diexalophasis remota*; 5- *Maranhites brasiliensis*; 6- *Pterospermella pernambucensis*

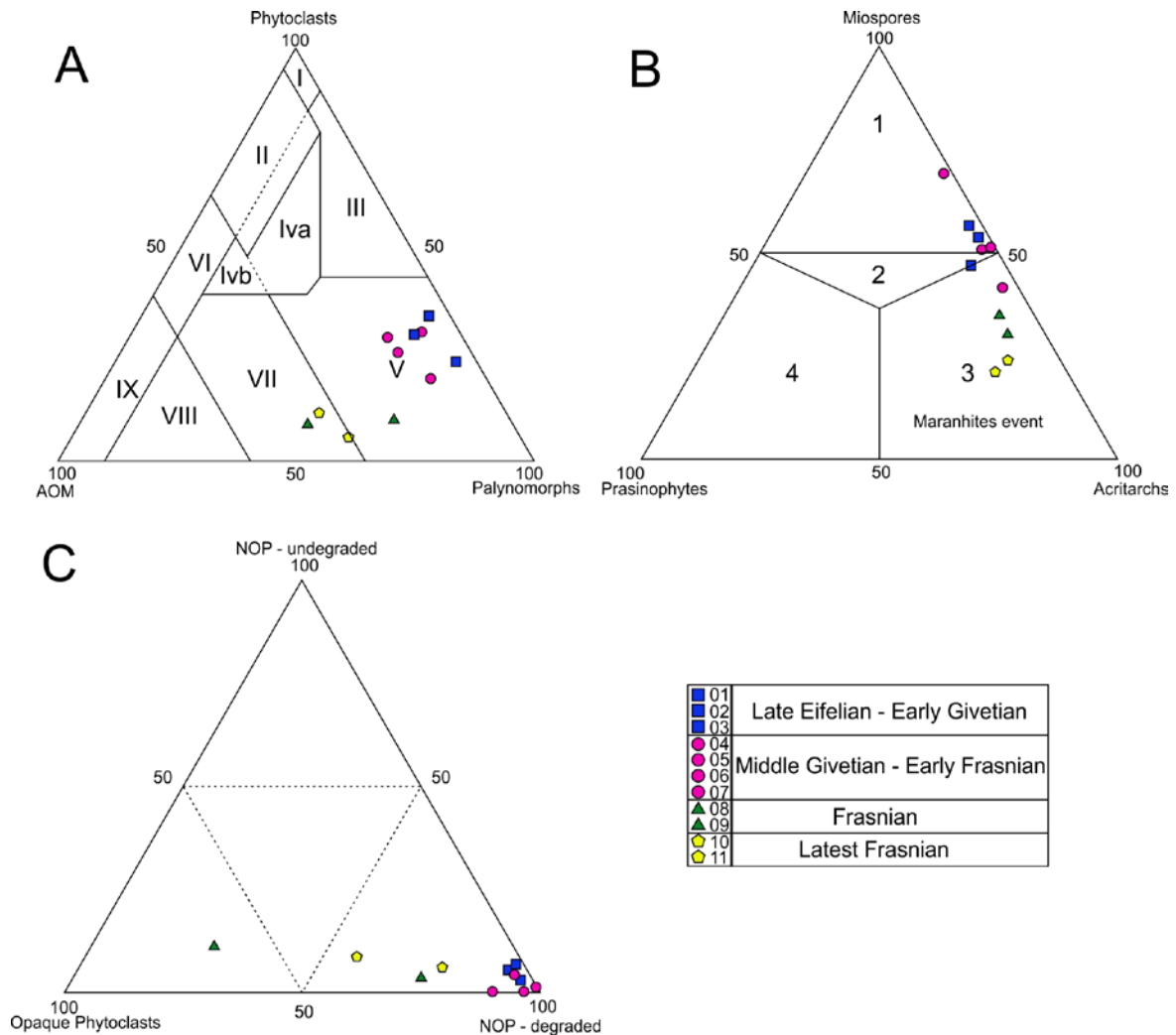


Figure 11: Ternary diagrams used for paleoenvironmental interpretation. A- Ternary diagram proposed by Tyson (1995): I- highly proximal shelf or basin, II- marginal dysoxic-anoxic basin, III- heterolithic oxic shelf (proximal shelf), IV- shelf to basin transition, V- mud-dominated oxic shelf (distal shelf), VI- proximal suboxic-anoxic shelf, VII- distal dysoxic-anoxic “shelf”, VIII- distal dysoxic-oxic shelf, IX- proximal suboxic-anoxic basin. B- Ternary diagram (adapted from Souza, 2007): 1- proximal shelf oxic (fluvial-deltaic influence), 2- proximal-distal shelf oxic (fluvial-deltaic influence?), 3- distal shelf oxic-dysoxic, 4- distal shelf/basin dysoxic-anoxic. C- Ternary diagram with the composition of phytoclast subgroups, NOP: Non-opaque phytoclasts.

Palynofacies field V is composed of low to moderate AOM (usually degraded), with plenty of palynomorphs, in this case, mainly acritarchs and prasinophytes. These samples, as suggested by Tyson (1995), are composed of predominantly light shales and show the presence of bioturbation (Fig. 2). Palynofacies field VII consists of moderate to good AOM preservation

and, in this case, the moderate palynomorphs and shales that comprise these samples are darker, and bioturbation is also found.

Trindade et al. (2015) reported similar results on the western edge of the Parnaíba Basin. These authors also reported the predominance of palynofacies field V for the Givetian – Frasnian samples of the Pimenteiras Formation.

In considering the relative proportions of miospores, acritarchs and prasinophytes (Fig. 11B) through the ternary diagram proposed by Souza (2007), to the eastern edge of the Pimenteiras Formation, an increase in the proportion of acritarchs and prasinophytes can be observed in the Frasnian. Moreover, this result also reaffirms that the Middle Devonian (Late Eifelian – Givetian) paleoenvironment is a proximal platform or distal oxic environment with deltaic influence and that there is a distal tendency (dysoxic-anoxic ‘shelf’) from the Frasnian.

Taking into account the palynofacies associations discussed in section 4.4 and the information revealed by the ternary diagram presented in Fig. 11, one can state that from the Late Eifelian to the Early Frasnian (samples 1-7), there is a greater fluvial influence. This is corroborated by the largest concentration of miospores compared to acritarchs and prasinophytes in this chronostratigraphic interval (Figs. 9 and 11B). Tyson (1995) suggested that the occurrence of esporomorfos may indicate the proximity of vegetation or fluvial-deltaic input into the basin. Marine microplankton generally occurs in areas remote from fluvial-deltaic sources (Tyson, 1993).

However, the increase in the abundance of acritarchs and prasinophytes seen in the Frasnian (Figs. 10 and 11B) characterizes an event already marked on the western edge of the Pimenteiras Formation by Trindade et al. (2015) and the Frasnian - Famennian transition in southeastern Poland by Filipiak (2002). This bloom is called the "Maranhites Event" and was interpreted as a distal marine environment with dysoxic-anoxic conditions. Other authors also

reported this event (Daemon et al, 1967;. Rodrigues et al, 1995;. Paris et al., 1996; Dino, 1999; Souza et al 2013), which may be related to a global sea level rise and anoxic conditions. This event is also marked by an increase in the AOM concentration, which corroborates the rising sea level from the section represented by sample 8 (Frasnian).

Regarding the phytoclast distribution, it is important to emphasize that degraded and non-degraded phytoclasts have been defined, as elucidated in section 3.6. Thus, the diagram shown in Fig. 11C confirms that non-opaque phytoclasts (or translucent) are dominant compared to opaque phytoclasts in almost all samples (Fig. 10), as discussed in Section 4.4, except for sample 8.

Also by observing the ternary diagram in Fig. 11C, it is also noticeable that degraded phytoclasts are dominant as compared to non-degraded phytoclasts. Thus, the oxidant paleoenvironment that marks the Middle Devonian and the base of the Upper Devonian probably caused the large degradation of the translucent phytoclast fraction (not opaque), and the increase in sea level in the Frasnian likely gradually removed this fraction from the system through selective deposition or degradation (Fig. 10). Thus, as the opaque phytoclasts have greater resistance to degradation compared to the non-opaque portion, and tend to remain in the depositional environment after selective destruction of most other organic materials (Tyson, 1995), this altered the proportions of the different groups of phytoclasts along a proximal-distal cross section.

## **5. Conclusions**

The zoning presented in this work was used to determine the chronostratigraphic range that corresponds to the Late Eifelian – Latest Frasnian in the studied outcrop of the Pimenteiras Formation.

The TOC values were considered as favorable to hydrocarbon generation, and the kerogen studied was predominantly a mixture of types II and III, however, still in the diagenesis stage.

In general, the organic matter was well preserved with fluorescence both for palynomorphs and for the amorphous organic matter and the derivatives of cuticle and epidermis tissues of land plants.

The results showed that the outcrop section clearly represents a transgression / regression cycle observed in the basal and middle part of the Pimenteiras formation. The paleoenvironment of the Late Eifelian to Late Givetian was a distal oxic mud-dominated shelf with deltaic influence, and there a distal tendency (dysoxic-anoxic 'shelf') was present from the Frasnian, which indicates the maximum flooding surface.

It is also worth noting that the geochemical interpretation, the distribution of palynofacies associations and paleoenvironmental interpretation demonstrated similar results with complementary information. Therefore, it can be stated that the more traditional interpretation of potential hydrocarbon source rocks can be assisted with interpretation by multivariate statistical techniques.

### **Acknowledgements**

The authors thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the scholarship granted to the first author, the BG Brazil for their research funding, the UERJ for conducting geochemical analyses, and the LEPETRO / IGEO / UFBA for their technical and scientific support.

### **Appendix**

#### **Miospores**

- Acinosporites apiculatus* (Streel) Streel (1964, 1967)
- Acinosporites hirsutus* (Brideaux and Radforth) McGregor & Camfield (1982)
- Acinosporites lindlarensis* Riegel (1968)
- Acinosporites macrospinosus* Richardson (1965).
- Apiculiretusispora plicata* (Allen) Streel (1967)
- Camarozonotriletes* Naumova (1953)
- Chelinospora* Allen (1965)
- Craspedispora ghadamisensis* Loboziak & Streel (1989)
- Cymbosporites* sp. cf. *C. magnificus* (McGregor) McGregor & Camfield (1982)
- Dictyotriletes* (Naumova) Smith & Butterworth. (1967)
- Dictyotriletes subgranifer* McGregor (1973)
- Emphanisporites annulatus* McGregor (1961)
- Emphanisporites mcgregorii* Cramer (1966)



*Emphanisporites rotatus* McGregor (1961)  
*Geminospora* (Balme) Playford (1983)  
*Geminospora* (Balme) Playford (1983)  
*Geminospora lemurata* (Balme) Playford (1983)  
*Geminospora piliformis* Loboziak *et al.* (1988)  
*Geminospora svalbardie* Allen (1965)  
*Grandispora inculta* Allen (1965)  
*Grandispora protea* (Naumova) Moreau-Benoit (1982)  
*Grandispora* sp. Hoffmeister *et al.* (1955)  
*Laevigatosporites* sp.? Ibrahim (1933) emend Shopf *et al.* (1944)  
*Lophozonotriletes magnus* Kedo (1974)  
*Punctatisporites debilis* Hacquebard (1957)  
*Punctatisporites planus* Hacquebard (1957)  
*Retusotriletes* sp.? Naumova emend Streel (1964)  
*Rhabdosporites langii* (Eisenack) Richardson (1960)  
*Samarisporite triangulatus* Allen (1965)  
*Samarisporites* sp. Richardson (1965)  
*Vallatisporites verrucosus* Hacquebard (1957)  
*Verrucosisorites bulliferus* Richardson & McGregor (1986)  
*Verrucosisorites premnus* Richardson (1965)  
*Verrucosisorites scurrus* (Naumova) McGregor & Camfield (1982)

#### **Acritarchs and algae**

*Advenasphaeridium australis* Burjac & Oliveira (1997) (*nome nudum*)  
*Advenasphaeridium serosum* Burjac & Oliveira (1997) (*nome nudum*)  
*Ammonidium garrasinoi* Ottone (1996)  
*Cymatiosphaera canadensis* Deunff (1954)  
*Cymatiosphaera rhacoamba* Wicander (1974)  
*Cymatiosphaera winderi* Deunff (1967)  
*Dictyotidium cohortum?* Wicander & Wood (1981)  
*Dictyotidium variatum* Playford (1977)  
*Diexallophasis remota* (Deunff) Playford (1977)  
*Duvernaysphaera angelae* Deunff, (1964)  
*Duvernaysphaera kraeuselii?* Stockmans & Wuillieré (1960)  
*Duvernaysphaera tenuicingulata* Staplin (1961)  
*Eisenackidium appendiculum* Wicander & Wood (1981)  
*Exochoderma arca* Wicander & Wood (1981)  
*Exochoderma irregularis* Wicander (1964)  
*Exochoderma triangulata* Wicander (1981);  
*Gorgonisphaeridium cumulatum* Playford (1977)  
*Gorgonisphaeridium disparatum* Playford (1977)  
*Gorgonisphaeridium plerispinosum* Wicander (1974)  
*Gorgonisphaeridium winslowiae* Staplin *et al.* (1965)  
*Hapsidopalla exornata* (Deunff) Playford (1977);  
*Hemiruptia legaultii* Ottone (1996)  
*Leiosphaeridia* sp. Eisenack (1958) *emend* Downie & Sarjeant (1963) *emend* Turner (1984)  
*Lophosphaeridium* sp. Timofeev (1959) *ex* Downie (1963) *emend*. Lister (1970)  
*Lunulidia micropunctata* Pöthe the Baldis (1979)  
*Maranhites* sp Brito (1965)  
*Maranhites brasiliensis* (Brito) *emend*. Burjack & Oliveira (1989)  
*Maranhites stockmansii* (Martin) *emend* Martin (1984)  
*Michrystridium stellatum* Deflandre (1945)  
*Multiplicisphaeridium* sp. Staplin (1961) *emend*. Staplin *et al.* (1965) *emend*. Eisenack (1969) *emend*. Lister (1970) *emend*.  
 Eiserhardt (1992) *emend*. Sarjeant & Vavrdová (1997)  
*Multiplicisphaeridium loriferum* (Deunff) Lister (1970);  
*Muraticavea munificus* Wicander & Wood (1981)  
*Navifusa bacilla* (Deunff) Playford 1977  
*Onondagella asymmetrica* (Deunff) Cramer (1966) *emend*. Playford (1977)  
*Palacanthus ledanoisii* (Deunff) *emend*. Playford (1977)  
*Petrovina connata* Loboziak *et al.* (1997)  
*Polyedryxium* sp. Deunff (1954) *emend*. Deunff (1971)  
*Polyedryxium carnatum* Playford (1977)  
*Polyedryxium cf decorum* Deunff (1955)  
*Polyedryxium cf talum* Deunff (1971)  
*Polyedryxium embudum* Cramer (1964)  
*Polyedryxium fragosulum* Playford (1977)

*Polyedryxium skalensis* Turnau & Racki (1999)  
*Pterospermella* Eisenack (1972)  
*Pterospermella pernambucensis* (Brito) Eisenack (1973)  
*Pterospermella reticulata* Loeblich Jr & Wicander (1976)  
*Schizocystia saharica* Jardiné *et al* (1974)  
*Solisphaeridium astrum?* Wicander (1974)  
*Stellinium comptum* Wicander & Loeblich (1977)  
*Tamanites* sp. Newton (1875)  
*Triangulina alargada* Cramer (1964)  
*Umbellasphaeridium deflandrei* (Moreau-Benoit) Jardiné *et al* (1972)  
*Umbellasphaeridium saharicum* Jardiné *et al.* (1972)  
*Veryhachium* sp. Deunff (1954) *emend.* Downie & Sarjeant (1963) *emend.* Turner (1984) *emend.* Sarjeant & Stancliffe (1994)  
*Veryhachium downiei* Stockmans & Willièrè (1962)  
*Veryhachium lairdii* Deflandre (1946)  
*Veryhachium polyaster* Staplin (1961)  
*Veryhachium radiosum* Playford (1977)  
*Veryhachium trispinosum* (Eisenack) Stockmans & Willièrè (1962)  
*Villosacapsula ceratioides* (Stockmans & Willièrè) Loeblich & Tappan (1976)  
*Villosacapsula owensii* Al Ruwaili (2000)  
*Winwaloeusia distracta* (Deunff) Deunff 1977

## References

- Barnard P.C., Collins A.G., Cooper B.S., 1981. Generation of hydrocarbons – Time, temperature and source rock quality. In: Brooks J. (Ed.) Organic Maturation Studies and Fossil Fuel Exploration. Academic Press, London, pp.337-342.
- Caputo, M.V., 1984. Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. University of California, Ph.D Thesis, 586 p.
- Carozzi, A.V. 1975. Análise ambiental e evolução tectônica sedimentar da seção siluro-eocarbonífera da Bacia do Maranhão. PETROBRÁS, Ciência-Técnica-Petróleo Seção Exploração de Petróleo, Rio de Janeiro 7, 89p.
- Cunha, F.M.B., 1986. Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Master's Thesis, 107p.
- Daemon, R.F., Quadros, L.P. and Silva, L.C. 1967. Devonian Palynogy and Biostratigraphy of the Paraná Basin. Boletim Paranaense de Geociências 21/22, 99-132.
- Daemon, R.F., 1976. Correlação bioestratigráfica (palinoestratigráfica) entre os sedimentos do Siluriano, Devoniano e Carbonífero Inferior das Bacias do Amazonas, Parnaíba e Paraná. Congresso Brasileiro de Geologia, Resumos, Ouro Preto, São Paulo, pp.189- 94.
- Della Fávera, J.C., 1990. Tempestitos da bacia do Parnaíba: um ensaio holístico. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ph.D. Thesis, 243p.
- Dino, R., 1999. Palinostratigraphy of the Silurian and Devonian sequence of Paraná Basin, Brazil. In: Rodrigues, M.A.C., Pereira, E, (Eds). Ordovician-Devonian palynostratigraphy in Western Gondwana: update, problems and perspectives. Faculdade de Geologia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Resumos expandidos, 27-61.
- Filipiak, P., 2002. Palynofacies around the Frasnian/Famennian boundary in the Holy Cross Mountains, southern Poland. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 181 (20), 313-324.
- Góes, A.M.O., Souza, J.M.P., Teixeira, L.B., 1990. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. Boletim de Geociências da Petrobras 4 (1), 55-64.
- McGregor, D. C., Camfield, M., 1976. Upper Silurian? to middle Devonian spores of the Moose River Basin, Ontario. Geological Survey of Canada Bulletin 263, 63p.

- Müller, J., 1959. Palynology of Recent Orinoco Delta and shelf sediments. *Micropalaeontology* 5, 1–32.
- Grahn, Y., 1992. Revision of Silurian and Devonian strata of Brazil. *Palynology* 16:35-61.
- Grahn, Y., Loboziak, S., Melo, J.H.G., 2003. Integrated correlation of Late Silurian (Pridoli s.l.) - Devonian chitinozoans and miospores in the Solimões Basin, northern Brazil. *Acta Geologica Polonica* 53, 283–300.
- Grahn, Y., Melo, J.H.G., Loboziak, S., 2006. Integrated Middle and Late Devonian miospore and chitinozoan biozonation of the Parnaíba Basin, Brazil: an update. *Revista Brasileira de Paleontologia* 9, 283-294.
- Heal, S., Clayton, G., 2008. The palynology of the Hannibal Shale (Mississippian) of northeastern Missouri, U.S.A. and correlation with Western Europe. *Palynology* 32, 27-37.
- Le Hérisse, A., Gourvenec, R., Wicander, R., 1997. Biogeography of Late Silurian and Devonian acritarchs and prasinophytes. *Review of Palaeobotany and Palynology* 98:105-124.
- Loboziak, S., Strel, M., Caputo, M.V., Melo, J.H.G., 1992. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospore stratigraphy in the central Parnaíba Basin (Brazil). *Annales de la Société Géologique de Belgique* 115, 215-226.
- Loboziak, S., Strel, M., Caputo, M.V., Melo, J.H.G., 1993. Middle Devonian to Lower Carboniferous miospores from selected boreholes in Amazonas and Parnaíba basins (Brazil): additional data, synthesis, and correlation. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon* 125, 277-289.
- Loboziak, S., Melo, J.H.G., Quadros, L.P., Daemon, R.F., Barrilari, I.M.R., 1994a. Biocronoestratigrafia dos palinomorfos do Devoniano Médio-Carbonífero Inferior das Bacias do Solimões e Parnaíba: Estado da Arte. In: 2º SINTEX SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA, 1994. Atas, Rio de Janeiro, Petrobrás, pp. 51-56.
- Loboziak, S., Melo, J.H.G., Quadros, L.P., Daemon, R.F., Barrilari, I.M.R., Strel, M., 1994b. Devonian -Dinantian miospore biostratigraphy of the Solimões and Parnaíba Basins (with considerations on the Devonian of the Paraná Basin). Petrobras/Cenpes, Rio de Janeiro, 2 vols.
- Loboziak, S., Melo, J.H.G., Quadros, L.P., Strel, M., 1997. Palynological evaluation of the Famennian Protosalvinia (Foerstia) Zone in the Amazon Basin, northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 96, 31-45.
- Loboziak, S., Caputo, M.V., Melo, J.H.G., 2000. Middle Devonian –Tournaisian miospore biostratigraphy in the southwestern outcrop belt of the Parnaíba Basin, north-central Brazil. *Révue de Micropaléontologie* 43, 301-318.
- Muller, P.M., 2007. Bioestratigrafia do Devoniano da Bacia do Paraná - Brasil, com ênfase na Sub-bacia de Alto Garças. Programa de Pós-graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis, Ph.D Thesis, 154p.
- Melo, J.H.G., Loboziak, S., 2003. Devonian-Early Carboniferous biostratigraphy of the Amazon basin, northern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 124, 131-202.
- Oliveira, S.F., 1997. Palinologia da Sequência Devoniana da Bacia do Paraná no Brasil, Paraguai e Uruguai: implicações biocronoestratigráficas, paleoambientais e paleogeográficas, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Ph.D Thesis, 188 p.
- Ottone, E.G. 1996. Devonian palynomorphs from the Los Monos Formation, Tarija Basin, Argentina. *Palynology* 20, 101-151.
- Ottone, E.G., Rossello, E.A., 1996. Palinomorfos devónicos de la Formación Tequeje, Angosto del Beni, Bolivia. *Ameghiniana* 33(4), 443-452.

- Peters, K.E., Cassa, M.R., 1994, Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L.B., and Dow, W.G. (Eds.), *The petroleum system—From source to trap*: Tulsa, Okla. American Association of Petroleum Geologists Memoir 60, pp. 93-117.
- Paris, F., Girard, C., Feist, R. and Winchesterseeto, T. 1996. Chitinozoan bio-event in the Frasnian-Famennian boundary beds at La Serre (Montagne Noire, Southern France). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 121: 131-145.
- Playford, G., 1977. Lower to Middle Devonian Acritarchs of the Moose River Basin, Ontario. *Geological Survey of Canada bulletin*. 279, 1-87.
- Playford, G., McGregor, D. C., 1993. Miospores and organic walled microphytoplankton of Devonian-Carboniferous boundary beds (Bakken Formation), southern Saskatchewan: a systematic and stratigraphic appraisal. *Geological Survey of Canada Bulletin* 445, 1-107.
- Richardson, J.B., McGregor, D.C., 1986. Silurian and Devonianspore zones of the Old Red Sandstone Continent and adjacent regions. *Bulletin Geological Survey of Canada* 364, 1-79.
- Richardson, J. B., Bonamo, P.M., McGregor, D. C., 1993. The spores of *Leclercqia* and the dispersed morphon *Acninosporites lindlarensis* Rigiél: a case of gradualistic evolution. *B Nat Hist. Mus. London (Geol)* 49, 121-155.
- Rodrigues, R. A., 1995. *Geoquímica orgânica na bacia do Parnaíba*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ph.D. Thesis, 225p.
- Rodrigues, R.; Loboziak, S.; Melo, J.H.G.; Alves, D.B., 1995. Geochemical characterization and miospore biostratigraphy of the Frasnian anoxic event in the Parnaíba Basin, Northeast Brazil. *Bull. Centres Rech. Explo. Prod. Elf. Aquitaine* 19(2), 319-327.
- Rubinstein, C.V., Le Hérisse, A., Steemans, P. 2008. Lochkovian (Early Devonian) acritarchs and prasinophytes from the Solimões Basin, northwestern Brazil. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen* 249(2), 167–184.
- Santos, M. E. C. M., Carvalho M. S. S., 2009. *Paleontologia das Bacias Parnaíba, Grajaú e São Luiz*, 2º ed., CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, 212p.
- Souza, I. V. A. F. de. 2007. *Faciologia Orgânica de Seções Devonianas da Bacia do Parnaíba (Formação Pimenteira): Implicações para Geração de Petróleo*. Master Thesis, Geology, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- Souza, M. S. P., Mauller, P. M., Cardoso, T.R., Rodrigues, R. and Pereira, E. 2013. Caracterização Geoquímica e Bioestratigráfica das Superfícies de Inundação Marinha da Seção Meso-Neodevoniana, na Região de Dom Aquino (MT), Noroeste da Bacia do Paraná, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*,36(1), 26-36.
- Stemans, P., Rubinstein, C.V., Melo, J.H.G. 2008. Siluro-Devonian miospore biostratigraphy of the Urubu River area, western Amazon Basin, northern Brazil. *Geobios* 41, 263–282.
- Streel, M., Higgs, K., Loboziak, S., Riegel, W., Steemans, P. 1987. Spore stratigraphy and correlation with faunas and floras in the type marine Devonian of the Ardenne-Rhenish regions. *Review of Palaeobotany and Palynology* 50, 211-229.
- Streel, M., Caputo, M.V., Loboziak, S., Melo, J.H.G. 2000. Late Frasnian-Famennian climates based on palynomorph quantitative analyses and the question of the Late Devonian glaciations. *Earth Science Reviews* 52, 121-173.
- Streel, M., Caputo, M.V., Loboziak, S., Melo, J.H.G., Thorez, J. 2001. Palynology and sedimentology of laminites and tillites from the latest Famennian of the Parnaíba Basin, Brazil. *Geologica Belgica* 3, 87-96.
- Tissot, B. P., Durand, B., Espitalié, J., Combaz, A. 1974. A. Influence of nature and diagenesis of organic matter in formation of petroleum. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.58, pp. 499-506.

- Traverse, A. 1994. *Sedimentation of Organic Particles*. Cambridge University Press. 647p.
- Trindade, V. S.F. 2010. Estudo do microfitoplâncton da Formação Pimenteiras (Devoniano Médio), Bacia do Parnaíba. Master Thesis. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brazil.
- Trindade, V. S. F., Carvalho, M. de A., Borghi, L. 2015. Palynofacies patterns of the Devonian of the Parnaíba Basin, Brazil: Paleoenvironmental implications. *Journal of South American Earth Sciences* 62, 164-175.
- Tyson, R.V., 1989. Late Jurassic palynofacies trends, Piper and Kimmmeridge Clay Formations, UK onshore and northern North Sea. In: *Northwest European Micropalaeontology and Palynology*, Batter, D.J., Keen, M.C. (Eds.), The British Micropalaeontological Society Series, Ellis Horwood, Chichester, pp. 135-172.
- Tyson, R.V., 1993. Palynofacies analysis; In: Jenkins, D.J. (Eds), *Applied Micropalaeontology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 269 p.
- Tyson, R.V., 1995. *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. Chapman & Hall, Londres, 615 p.
- Vaz, P.T., Rezende, N.G.A.M., Wanderley Filho, J.R., Travassos, W.A.S. 2007. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 15 (2), 253-263.
- Wall, D., Dale, B., Lohmann, G.P. and Smith, W.K., 1977. The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology* 2: 121–200.
- Wicander, R., Wright, R.P., 1983. Organic-walled microphytoplankton abundance and stratigraphic distribution from the Middle Devonian Columbus and Delaware Limestones of the Hamilton Quarry, Marion County, Ohio. *The Ohio Journal of Science* 83, 2–13.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

---

O presente trabalho traz contribuições relevantes para o conhecimento da sequência estratigráfica aflorante na borda oeste da Formação Pimenteiras, Estado do Tocantins, através da discussão do arcabouço palinoestratigráfico proposto para os pelitos expostos nesta região. Ficou evidenciado uma excelente integração entre o biozoneamento de miósporos, sobretudo os elaborados na Europa Ocidental, com zonas-associações de outros grupos de palinomorfos, tais como: acritarcos, ficomatas e quitinozoários.

A integração entre os resultados palinológicos permitiu determinar para a borda oeste da Formação Pimenteiras o intervalo cronoestratigráfico que corresponde ao Neoeifeliano-Eofameniano.

Os teores de Carbono Orgânico Total (COT) registrados são, na maioria dos pontos estudados, considerados como muito bons a geração de hidrocarbonetos, entretanto o potencial gerador ( $S_2$ ) é baixo.

O querogênio foi classificado como uma mistura entre os tipos II e III. Contudo, os parâmetros químicos e visuais da matéria orgânica demonstraram que todo o querogênio avaliado encontra-se ainda na fase de diagênese, sendo, portanto, imaturo a geração de hidrocarbonetos.

Em geral, a matéria orgânica está bem preservada e possui fluorescência, tanto para o grupo palinomorfos e para a matéria orgânica amorfa, como para os tecidos derivados de epidermes e cutículas de plantas terrestres.

Entre os constituintes da matéria orgânica os palinomorfos são os mais abundantes.

Considerando a proporção relativa entre os grupos de palinomorfos identificados, o grupo de esporomorfos é o grupo predominante nas amostras do Devoniano Médio, indicando uma maior contribuição da matéria orgânica continental neste período. No entanto, nas amostras

do Neodevoniano foi observado um aumento do paleomicroplâncton, com dominância de acritarcos e ficomasas (prasinófitas), indicando aumento do nível do mar.

A secção estudada representa com clareza o ciclo transgressivo/regressivo, da porção basal e média de Formação Pimenteiras, e a transgressão subsequente, que ocorre no topo desta.

Também foi possível indicar que o paleoambiente do intervalo correspondente ao

Neoeifeliano- Neogivetiano é do tipo plataforma distal óxica dominada por lama com influência deltaica e que há uma tendência distal (plataforma disóxica-anóxica) a partir do Frasniano, indicando, assim, a superfície de inundação máxima da Formação Pimenteiras.

## **APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES**

---

A participação da Co-autora Profa. Dra Tereza Regina Machado Cardoso (DEPA/UERJ) se justifica pela participação da mesma como co-orientadora desta Tese de Doutorado. Profa. Tereza foi convidada pela primeira autora e pela profa. Orientadora do trabalho, Dra. Altair de Jesus Machado, para participar desta por ser especialista na área de Bioestratigrafia de Palinomorfos. Assim, sua enorme participação se tornou essencial para o resultado deste trabalho.

O estudante de Geologia (UFBA) Rafael Regueira Santos foi convidado para participar dos artigos pois participou de quase todas as etapas desta tese, como estudante de Iniciação Científica (PIBIC/UFBA). Rafael participou das coletas e análises dos dados, tendo sido fundamental, sobretudo, para a elaboração gráfica/visual do trabalho.




## APÊNDICE B – FICHA DE CONTAGEM DE PALINOFÁCIES

Ficha de contagem de Palinofácies					
<b>Amostra:</b>					
<b>Idade:</b>					
<b>Data:</b> __/__/__					
<b>MCA</b>	Fluorescente				
	Não-Fluorescente				
	Resinas				
<b>Fitoclastos</b>	Opacos	Alongados			
		Equidemensionais			
		Corroídos			
	Não-Opacos	Não Degradados	Não-Bioestruturados		
			Cutículas/Tecidos de epiderme		
			Bioestrut.	Perfurados e Bandados	
				Estriados	
			Degradados	Não-Bioestruturados	
		Cutículas/Tecidos de epiderme			
		Bioestrut.		Perfurados e Bandados	
				Estriados	
Pseudoamorfizados		Não-Bioestruturados			
		Cutículas/Tecidos de epiderme			
	Bioestrut.	Perfurados e Bandados			
		Estriados			
	<b>Palinomorfos</b>	Esporomorfos			
Microplâncton		Acritarcos			
		Prasinófitas			
		Botriococus			
		Outros			
Zoomorfos		Quitinozoários			
		Escolecodontes			
		Outros			
Zooclastos					

# ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA

## *BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY*

<b>BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY</b> <small>Formerly Revista Brasileira de Geociências</small>	Editor-chefe: <b>Umberto Cordani</b> (ucordani@usp.br) Editor-adjunto: <b>Claudio Riccomini</b> (riccomin@usp.br) Secretária: <b>Zeppelini Editorial</b> (rbg@zeppelini.com.br) Telefone: (11) 2978-6686	ISSN RBG online 2177-4382
	 <b>Sociedade Brasileira de Geologia</b>	

## Submissões

- » [Submissões Online](#)
- » [Diretrizes para Autores](#)
- » [Declaração de Direito Autoral](#)
- » [Política de Privacidade](#)

## Submissões Online

Já possui um login/senha de acesso à revista Brazilian Journal of Geology?  
[ACESSO](#)

Não tem login/senha?  
[ACESSE A PÁGINA DE CADASTRO](#)

O cadastro no sistema e posterior acesso, por meio de login e senha, são obrigatórios para a submissão de trabalhos, bem como para acompanhar o processo editorial em curso.

## Diretrizes para Autores

### INSTRUÇÕES PARA AUTORES

#### OBJETIVOS E ESCOPO

A Revista Brasileira de Geociências é um periódico trimestral com arbitragem, versão impressa e versão eletrônica de acesso aberto, que proporciona um meio internacional para a publicação de trabalhos científicos relacionados com todos os aspectos das Ciências Geológicas no território brasileiro, países da América do Sul e o Atlântico Sul, incluindo a Antártida.

A revista publica sobre mineralogia, petrologia, geoquímica, paleontologia, sedimentologia, estratigrafia, geologia estrutural, tectônica, neotectônica, geofísica aplicada à geologia, vulcanologia, metalogenia e depósitos minerais, geologia marinha, glaciologia, paleoclimatologia, geocronologia, bioestratigrafia, engenharia geológica, hidrogeologia, riscos geológicos, e sensoriamento remoto geológico, proporcionando um nicho para trabalhos interdisciplinares em geologia regional e na história da Terra.

Os manuscritos submetidos, que serão avaliados quanto ao seu conteúdo e originalidade, devem possuir apelo regional e devem apresentar material que tenha significância mais do que local. Artigos previamente publicados ou que estejam sendo submetidos simultaneamente em outras revistas não serão considerados.

#### GUIA PARA PREPARAÇÃO DE MANUSCRITOS

Os manuscritos deverão ser digitalizados em formato Microsoft Word (.doc) e submetidos online. Os trabalhos devem ser redigidos em inglês, embora submissões em português ou espanhol possam ser aceitas. Os manuscritos podem ser submetidos nas categorias seguintes: artigos originais, comunicações rápidas, artigos com avaliação acelerada e cartas para o editor. Editoriais específicos e artigos de revisão poderão ser encomendados pelos editores.

#### ARTIGOS ORIGINAIS

Os manuscritos relativos a artigos originais completos não deverão ultrapassar 8.000 palavras, incluindo título, autores, instituições e endereços, resumo e palavras-chave, *abstract* e *keywords*, texto, referências e legendas. Ilustrações e tabelas deverão ser enviados em arquivos separados, e nenhum **arquivo** poderá ultrapassar **10 Mb** de tamanho. Eles devem seguir na medida do possível a seguinte formatação:

**Página de título:** deverá incluir o título completo (até 250 caracteres), título curto (até 40 caracteres), endereço completo do autor correspondente e nomes dos demais autores, com afiliação.

**Resumo e Abstract:** são limitados a 250 palavras. Não são permitidas citações ou abreviações. Para *keywords* e palavras-chave, 3-6 itens devem ser usados, sem repetir palavras do título do trabalho.

**Texto principal:** deverá conter, preferencialmente, introdução, materiais e métodos, resultados, discussão, conclusões e agradecimentos.

a) A introdução deve explicitar o problema que foi investigado e indicar os objetivos do trabalho. Publicações prévias relevantes podem ser comentadas, ou apresentado o estado da arte no campo de estudos e considerações a respeito dos dados originais que foram obtidos.

b) Na seção “Materiais e métodos”, a informação deve ser breve, clara e suficiente. Métodos padrão necessitam apenas ser referenciados e técnicas já publicadas podem ser descritas brevemente, segundo as respectivas referências.

c) Os resultados devem trazer o relato objetivo e direto das observações efetuadas e dos dados produzidos, com algum julgamento pessoal. Tabelas e ilustrações são bem-vindas. O texto não deve repetir o que está evidente nas figuras e tabelas, mas deve comentar o significado desses dados.

d) Na seção “Discussão e Conclusões” devem ser incluídas a interpretação dos dados aportados e a relevância das novas informações à luz do conhecimento existente.

e) Os agradecimentos devem constar de um parágrafo à parte, colocado antes das referências e ser apenas os estritamente necessários.

**Ilustrações:** A BJB encoraja a submissão de figuras coloridas tanto no meio digital como na versão impressa. Os fascículos impressos serão enviados para bibliotecas, patrocinadores e usuários que desejam adquirir pagando os custos (impressão e remessa). Não serão aceitos encartes. As ilustrações devem conter informações claras e legíveis e incluir explicação dos símbolos utilizados. Gráficos, fotografias, fotomicrografias e pranchas serão consideradas como figuras e numeradas sequencialmente, na ordem de sua citação no texto.

**Tabelas:** deverão ser concisas, autoexplicativas, com as laterais abertas e numeradas sequencialmente.

**Referências:** citações no texto devem ter autor(es) e ano de publicação, com páginas específicas quando for apropriado. No final do artigo os trabalhos devem ser listados completos, com todos os autores, por ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor.

#### COMUNICAÇÕES RÁPIDAS

Comunicações rápidas são limitadas a 2000 palavras, incluindo referências. Resumo e *abstract* são limitados a 100 palavras. A critério dos editores, essas comunicações poderão ser programadas para a primeira edição disponível.

#### ARTIGOS COM AVALIAÇÃO ACELERADA

Artigos com avaliação acelerada devem ser estudos originais completos, que apresentem urgência justificada para publicação rápida e, a critério dos editores, poderão ser programados para a

primeira edição disponível. Eles devem seguir o mesmo formato descrito para os artigos originais.

#### CARTAS PARA O EDITOR

Cartas ao Editor são submetidas para comentar algum aspecto relevante das Ciências Geológicas, ou para expressar opiniões diferentes a respeito de algum artigo publicado recentemente pela revista. Nesse último caso, elas serão constituídas de um único documento, sem título, podendo incluir algumas referências. Não serão submetidas à revisão pelos pares e serão publicadas a juízo dos editores, que poderão solicitar uma resposta ao(s) autor(es) do artigo comentado.

#### EDITORIAIS

Editoriais devem cobrir aspectos de espectro amplo das Ciências Geológicas. Serão emitidos pelos editores da BJB, por pessoas ligadas à Sociedade Brasileira de Geologia ou por personalidades do setor. Esses documentos não serão submetidos à revisão pelos pares e serão publicados a juízo dos editores.

## ARTIGOS DE REVISÃO

Artigos de revisão devem cobrir temas relevantes da Geologia. Esses artigos serão solicitados pelos editores, mas artigos de revisão submetidos espontaneamente serão bem-vindos. Nesse caso, os potenciais autores têm que levar em conta que deverão ser reconhecidos como plenamente competentes no campo de estudos em revisão.

## ORGANIZAÇÃO DAS SUBMISSÕES

**a) Formato do texto:** Editar o texto em Microsoft Word, espaçamento duplo, em formato A4.

**b) Elementos do texto:** A hierarquização de títulos e subtítulos deverá obedecer ao padrão seguinte: Cabeçalhos de seção principal com todas as letras MAIÚSCULAS, em negrito. Seções de hierarquia inferior devem estar em letras Maiúsculas e Minúsculas, em negrito. Subseções devem estar em itálico, com todas as letras MAIÚSCULAS. Subdivisões inferiores em itálico, com a primeira letra da primeira palavra em *Maiúscula* e as demais *minúsculas*. Os locais de inserção das figuras e tabelas deverão estar assinalados no texto, em posição o mais próximo possível de sua primeira citação, seguidos das respectivas legendas. No texto, as palavras “Figura” e “Tabela” podem ser escritas por extenso, ou abreviadas entre parênteses (Fig. 1, Tab. 1). Abreviações devem ser evitadas ou usadas com parcimônia. Se usadas, devem ser definidas na primeira vez em que forem mencionadas e não devem ser utilizadas no título, resumo e *abstract*.

**c) Formato do Resumo e do Abstract:** em parágrafo único, espaçamento duplo e devem ser seguidos de palavras-chave e *keywords*.

**d) Ilustrações:** Letreiros e símbolos devem ter dimensões adequadas para permitir legibilidade. Escalas gráficas, se necessárias, devem ser colocadas dentro da área das ilustrações. Fotografias de afloramentos deverão apresentar barra de escala e orientação. As figuras devem ser enviadas como arquivos nos formatos .tiff ou .jpg de alta resolução (mínima de 600 dpi), podendo ser comprimidas em LZW no caso do formato .tiff.

**e) Tabelas:** Devem ser digitadas em documentos Microsoft Word (.doc), compatível com formato A4.

**f) Fórmulas e Equações:** Numerar as fórmulas e equações à direita, com números arábicos entre parênteses e, no texto, referir como “equação (1)”, etc.

**g) Agradecimentos:** Subtítulo em negrito e itálico.

**h) Referências:** Subtítulo em negrito e minúsculas. Seguem exemplos dos formatos que devem ser empregados para os tipos de referências mais frequentes.

### Livros e Capítulos de Livros:

Bedell R., Crósta A.P., Grunsky E. (eds.). 2009. *Remote Sensing and Spectral Geology*. Littleton, Society of Economic Geologists, 270 p.

Kaufman A.J., Sial A.N., Frimmel H.E., Misi A. 2009. Neoproterozoic to cambrian palaeoclimatic events in southwestern Gondwana *In*: Gaucher C., Sial A.N., Frimmel H.E., Helverson G.P. (eds.) *Neoproterozoic-cambrian tectonics, global change and evolution: a focus on southwestern Gondwana*. Developments in Precambrian Geology, 16, Amsterdam, Elsevier, p. 369-388.

Pankhurst R.J. & Rapela C.W. (eds.). 1998. *The Proto-Andean margin of Gondwana*. London, Geological Society of London Special Publication, 142, 382 p.

Trompette R. 1994. *Geology of western Gondwana (2000–500 Ma)*: Rotterdam, Balkema, 350 p.

### Artigos de Periódicos ou de Publicações Seriadas:

Almeida F.F.M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(4): 325-349.

Costa I.P., Bueno G.V., Milhomem P.S., Silva H.S.R.L., Kosin M.D. 2007. Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá. Rio de Janeiro, *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**(2): 445-453.

Escayola M.P., Pimentel M.M., Armstrong R. 2007. Neoproterozoic backarc basin: sensitive high-resolution ion microprobe U-Pb and Sm-Nd isotopic evidence from the eastern Pampean Ranges, Argentina. *Geology*, **35**: 495-498.

Heilbron, M. & Machado, N., 2003, Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil): *Precambrian Research*, **125**: 87-112.

### Artigos publicados em eventos:

Astini R., Ramos V.A., Benedetto J.L., Vaccari N.E., Cañas F.L. 1996. La Precordillera: un terreno exótico a Gondwana. *In: 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso Exploración de Hidrocarburos, Actas*, v. 5, p. 293-324.

Leite Junior W.B, Bettencourt J.S., Payollav B.L. 2003. Evidence for multiple sources inferred from Sr and Nd isotopic data from felsic rocks in the Santa Clara Intrusive Suite, Rondonia, Brazil. *In: SSAGI, South American Symposium on Isotope Geology. Salvador, Short Papers*, p. 583-585.

Milani E.J. & Thomaz Filho A. 2000. Sedimentary basins of South América. *In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz-Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic evolution of South America. 31º International Geological Congress. Rio de Janeiro*, p. 389-452.

### Teses e Dissertações:

Paes V.J.C. 1999. *Geologia da quadrícula Alvarenga, MG, e a gequímica: implicações geotectônicas e metalogenéticas*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 144 p.

Ávila C.A. 2000. *Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São João Del Rei, Minas Gerais*. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 401 p.

### Mapas impressos:

Inda H.A.V. & Barbosa J.F. 1978. *Mapa geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000*. Salvador, Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral.

Mascarenhas J.F. & Garcia T.M. 1989. *Mapa geocronológico do Estado da Bahia. Escala 1, 1.000.000*. Texto Explicativo. Salvador, Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral. 186 p.

Schobbenhaus C. (coord.) 1975. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha Goiás (SD 22)*. Texto explicativo. Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral, 114 p.

### Relatórios internos:

Relatórios internos não serão aceitos, com exceção daqueles que são amplamente difundidos na comunidade científica e autorizados pelos consultores *ad hoc*.

### FORMATO FINALE PROCEDIMENTOS DE SUBMISSÃO

**Formato final:** O manuscrito final para publicação é a versão definitiva, com as correções feitas e aceitas pelos consultores e editores. Deverá ser mantida a mesma formatação da versão inicial submetida e os "tipos e tamanhos de arquivos" serão aqueles indicados nos procedimentos de submissão.

**Forma de envio:** A submissão de manuscritos deverá ser efetuada apenas *online*, pelo Sistema Eletrônico de Submissão, de acordo com as instruções que constam da página da BJJ ([rbg.sbgeo.org.br](http://rbg.sbgeo.org.br)), no item "Instruções para envio de artigos". Na sequência de passos práticos, o **texto** deverá ser enviado no "Passo 3" (*Transferência de manuscrito*) e as **ilustrações** (inclusive tabelas) no "Passo 4" (*Transferência de documentos suplementares*).

**Avaliação:** Todos os trabalhos, após aprovação pelo Conselho Editorial, serão encaminhados para análise e avaliação de revisores, cujos comentários serão devolvidos aos autores para modificações no texto ou justificativas de sua manutenção. Somente após aprovação final dos editores os trabalhos serão encaminhados para publicação.

### CONDIÇÕES PARA SUBMISSÃO NO BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY / REVISTA BRASILEIRA DE GEOCIÊNCIAS

Como parte do processo de submissão de artigos, os autores deverão declarar expressamente que:

1. Reconhecem a sua responsabilidade em redigir corretamente o artigo nos idiomas escolhidos e na terminologia técnica adequada, bem como em inserir corretamente as citações e as referências bibliográficas.

2. É obrigatório o envio de carta de submissão assinada por todos os autores. Nesta carta, os autores devem referir que a contribuição é original e inédita, nunca foi publicada e não foi ou não será enviada a outra revista enquanto sua publicação estiver sendo considerada pelo BJJ. Além disso, deve ser declarado na carta que todos os autores são responsáveis pelo conteúdo do manuscrito, participaram da concepção do projeto e/ou análise dos dados obtidos e/ou redação final do artigo e que todos concordam com a versão enviada

para a publicação. O documento deve também citar que não foram omitidas informações a respeito de financiamento para a pesquisa ou de ligação com pessoas ou companhias que possam ter interesse nos dados abordados pelo artigo. Finalmente, devem ser mencionadas explicitamente situações de conflito de interesse que possam influenciar de forma inadequada o desenvolvimento ou as conclusões do trabalho.

3 A submissão está em conformidade em relação a todos os itens listados a seguir.

- O artigo não foi particionado, permitindo o entendimento integral e independente do seu conteúdo.
- O artigo, editado em Microsoft Word, formato A4, não excede 8.000 palavras.
- Cada ilustração ou tabela está sendo enviada em arquivo separado (formato .tif para as figuras).
- Nenhum arquivo ultrapassa 10Mb, tanto de texto como de ilustração.

4. Estão cientes de que as submissões que não estiverem de acordo com as "Instruções aos autores" para a RBG/BJG Ihes serão devolvidas.

5. Estão cientes de que, no caso da avaliação feita pelos revisores *"ad hoc"* resultar em *"correções obrigatórias"*, terão até trinta dias para fazer as correções sugeridas pelos editores.

6. Estão cientes de que deverão verificar com o devido cuidado as provas de impressão e retorná-las aos editores com as devidas correções no prazo de 48 horas, para garantir a publicação do artigo sem erros.

7. Transferência de direitos autorais: Estão cientes de que, caso o artigo venha a ser aceito para publicação, os direitos autorais serão transferidos para a Sociedade Brasileira de Geologia por meio do envio de uma carta assinada por todos os autores.

## **ANEXO B – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA**

---

### **INSTRUÇÕES AOS AUTORES**

1. A Revista Brasileira de Paleontologia (RBP) é uma publicação oficial da Sociedade Brasileira de Paleontologia (SBP), cujo objetivo é a divulgação da produção científica de interesse amplo e de caráter original relacionada com a Paleontologia.
2. Todos os manuscritos submetidos deverão estar em consonância com o ICZN e o ICBN.
3. Os textos podem ser redigidos em português, espanhol ou inglês. Artigos redigidos em português ou espanhol devem incluir um abstract em inglês.
4. Os manuscritos podem conter até 40 páginas digitadas em espaço duplo, incluindo ilustrações e referências bibliográficas. Páginas excedentes e ilustrações a cores poderão ser publicadas mediante pagamento dos custos de produção.

### **PREPARAÇÃO DE MANUSCRITOS**

5. Manuscritos devem ser submetidos como arquivos digitais João Carlos Coimbra, via email: [joao.coimbra@ufrgs.br](mailto:joao.coimbra@ufrgs.br).

Da primeira folha em diante, em sequência, o título, nome completo do(s) autor(es), endereço (caixa postal, logradouro, e-mail, CEP, cidade e Estado), Abstract, Resumo, texto completo, referências e ilustrações. Título do trabalho centralizado, em maiúsculas, tamanho 14, em negrito. Nome dos autores em caixa alta, tamanho 10, centralizado. Endereço dos autores em minúsculas, tamanho 10, centralizado. Títulos de seção (INTRODUÇÃO, MATERIAL, GEOLOGIA) dentro do texto em maiúsculas, centralizados. Subtítulos dentro das seções, em minúsculas, negrito, alinhados à esquerda. O resumo e abstract devem ter até 20 linhas em parágrafo único, sem citações bibliográficas. Devem ser seguidos de até 6 key words e palavras-chave, respectivamente, em negrito, após dois pontos e separadas por vírgulas, conforme exemplo: Palavras-chave: radiolários, sistemática, micropaleontologia, Cretáceo, Brasil. Key words: radiolarians, systematics, micropaleontology, Cretaceous, Brazil. Artigos em português ou espanhol deverão ter o título vertido para a língua inglesa, em maiúsculas, inserido após a palavra Abstract e seguido imediatamente pelo texto de abstract. Submeter somente os arquivos digitais do texto, tabelas e ilustrações. Editar o texto e tabelas em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12. O texto deve estar em espaço duplo, não justificado, com margens de 2.5 cm em todos os lados. Ilustrações e tabelas devem ser apresentadas separadamente em arquivos eletrônicos.

### **Ilustrações**

6. Todas as ilustrações gráficas, fotográficas e fotomicrográficas serão numeradas sequencialmente, na ordem de sua citação no texto, e consideradas, mesmo as pranchas, indiscriminadamente como Figuras. As figuras devem ser submetidas no tamanho em que devem aparecer na RBP: largura máxima de 8 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas). Recomenda-se

enfaticamente preparar as figuras fazendo uso econômico do espaço disponível. Evitar o uso de molduras e excessivo espaço em branco entre as partes de uma figura. As ilustrações devem ser submetidas com boa qualidade e acompanhadas de arquivo digital (em jpg ou tiff) com pelo menos 300 dpi no tamanho final de publicação.

7. Legendas e símbolos das ilustrações e tabelas devem ser em fonte Arial e ter dimensões adequadas para permitir legibilidade em eventuais reduções. As imagens dentro de uma figura composta devem ser identificadas usando letras maiúsculas, em fonte Arial (A, B, C...). Explicar todos os símbolos. Colocar escalas gráficas dentro da área das ilustrações. As legendas para as figuras e tabelas devem vir em folha separada ao final do texto. Todas as legendas em português ou espanhol devem incluir tradução para o inglês, incluindo os textos dentro das figuras. Evitar o uso demasiado de texto sobre fotos, utilizando sempre fonte Arial.

### Referências

8. Para citações no corpo do texto, seguir os formatos do seguinte exemplo: Costa (1999), Costa & Silva (1992a,b), e para três ou mais autores, Costa *et al.* (2000). Referenciar vários artigos em ordem cronológica e separados por ponto e vírgula: (Silva, 1999, 2000; Silva *et al.*, 2002; Souza, 2004) 9. Ao final do texto, ordenar as referências na ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor. Não usar linhas em branco entre as referências. Empregar os seguintes formatos:

#### Artigos de periódicos:

- Piovesan, E.K.; Bergue, C.T. & Fauth, G. 2010. New ostracode species from the Upper Cretaceous of the Santos Basin, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, **13**:175-180. doi:10.4072/rbp.2010.3.02
- Simões, M.G.; Rodrigues, S.C. & Kowalewski, M. 2007. Comparative analysis of drilling frequencies in Recent brachiopod-mollusk associations from the southern **Brazilian shelf**. **Palaios**, **22**:143-154. doi:10.2110/palo.2006.p06-040r

#### Artigos de publicações seriadas:

- Price, L.I. 1953. *Os quelônios da Formação Bauru, Cretáceo terrestre do Brasil Meridional*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 34 p. (Boletim 147).
- Vicalvi, M.A.; Kotzian, S.C.B. & Forti-Esteves, I.R. 1977. A ocorrência de microfauna estuarina no quaternário da plataforma continental de São Paulo. In: *Evolução Sedimentar Holocênica da Plataforma Continental e do Talude do Sul do Brasil*, Rio de Janeiro, CENPES/DINTEP, p.77-97 (Série Projeto REMAC 2).

#### Dissertações e teses:

- Morais, M.H.C. 1998. Equinóides regulares da Formação Pirabas (Oligo-Mioceno), Pará, Brasil - Sistemática, Tafonomia e Paleoeologia. Programa de Pósgraduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 69 p.

#### Artigos publicados em eventos:

- Dias-Brito, D. 1992. Ocorrências de calcisferas em depósitos carbonáticos do Atlântico Sul: impacto na configuração paleocenográfica do Tétis Cretácico. In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁICAS BRASILEIRAS, 2, 1992. *Resumos expandidos*, Rio Claro, UNESP, p. 30-34.



**Livros:**

Taylor, T.N. & Taylor, E.L. 1993. *The Biology and Evolution of Fossil Plants*. 1ª ed. Nova Jersey, Prentice Hall, 982 p.

**Capítulos de livros:**

Ostrom, J.H. 1992. Dromaeosauridae. *In*: D.B. Weishampel; P. Dodson & H. Osmólska (eds.) *The Dinosauria*, University of California Press, p. 269- 279.

**PROCEDIMENTOS APÓS ANÁLISE**

11. Artigos aceitos serão encaminhados aos autores, acompanhados de uma lista de recomendações editoriais. A versão corrigida do texto (doc) e figuras (jpeg ou tiff) deverão retornar à RBP em formato eletrônico.

**PROVAS**

12. Provas eletrônicas dos artigos serão remetidas aos autores para correção antes da impressão. SEPARATAS 13. A revista disponibilizará gratuitamente ao autor o arquivo pdf referente ao seu artigo mais 30 separatas impressas.

# ANEXO C – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA

## *MARINE MICROPALAEONTOLOGY*



## MARINE MICROPALAEONTOLOGY

### AUTHOR INFORMATION PACK

#### TABLE OF CONTENTS

• Description	p.1
• Audience	p.1
• Impact Factor	p.1
• Abstracting and Indexing	p.2
• Editorial Board	p.2
• Guide for Authors	p.4



ISSN: 0377-8398

#### DESCRIPTION

*Marine Micropaleontology* is an international journal publishing results of research in all fields of **marine micropaleontology** of the **ocean basins** and **continents**, including paleoceanography, evolution, ecology and paleoecology, biology and paleobiology, biochronology, paleoclimatology, taphonomy, and the systematic relationships of higher taxa. The journal encourages the publication of articles in which marine micropaleontology is used to solve fundamental geological and biological problems. It also promotes the presentation of innovative, provocative and controversial ideas in these fields.

#### Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our [author services](#).

Please see our [Guide for Authors](#) for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our support pages: <http://support.elsevier.com>

#### AUDIENCE

Micropaleontologists, Paleooceanographers, Paleobiologists, Oil Company Researchers, Sedimentologists.

#### IMPACT FACTOR

2014: 1.837 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2015

## ABSTRACTING AND INDEXING

---

AGI's Bibliography and Index of Geology  
 ASFA2 – Ocean Technology, Policy and Non-Living Resources  
 Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts  
 BIOSIS  
 Biological Sciences  
 Elsevier BIOBASE  
 Cambridge Scientific Abstracts  
 Current Contents  
 Marine Science Contents Tables  
 Environmental Sciences & Pollution Management  
 GEOBASE  
 GeoRef  
 OCLC Contents Alert  
 Oceanic Abstracts  
 PASCAL/CNRS  
 Petroleum Abstracts  
 Web of Science  
 Biological Abstracts  
 Personal Alert  
 Scopus  
 AIDS and Cancer Research  
 Zoological Record  
 Biotechnology and Bioengineering Abstracts  
 Academic Search (EBSCO)  
 Current Abstracts (EBSCO)  
 TOC Premier  
 CSA Algology Mycology and Protozoology Abstracts (Microbiology C)  
 CSA Bacteriology Abstracts (Microbiology B)  
 Science and Technology Collection

## EDITORIAL BOARD

---

### *Editors-in-Chief*

**R.W. Jordan**, Dept. of Earth & Env. Sciences, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa-machi, 990-8560 Yamagata, Japan, Fax: +81 23-628-4661

(for the Americas, Pacific and Far East)

**F.J. Jorissen**, Lab. of Recent and Fossil Bio-Indicators, Université d'Angers, 2 boulevard de Lavoisier, 49045 Angers, France, Fax: +33 2 41 73 53 52

(for Africa, Europe and Near East)

### *Editorial Board:*

**A Almogi-Labin**

**J.A. Barron**, U.S. Department of the Interior, Menlo Park, California, USA

**K Baumann**

**J.M. Bernhard**, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, USA

**D. Boltovskoy**, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

**T.J. Bralower**, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA

**H. Brinkhuis**, Utrecht University, Utrecht, Netherlands

**X. Crosta**, Institut Universitaire de Technologie, Talence, France

**P. De Deckker**, Australian National University, Canberra, Australian Capital Territory, Australia

**A. de Vernal**

**A.E.L. Holbourn**, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Kiel, Germany

**C. Hollis**, Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, New Zealand

**S Korsun**

**M. Kucera**, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Tübingen, Germany

**W. Kuhnt**, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Kiel, Germany

**A. Kuroyanagi**

**D.B. Lazarus**, Humboldt-Universität Berlin, Berlin, Germany

**A. Mackensen**, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany

**F. Marret**, University of Liverpool, Liverpool, UK



## GUIDE FOR AUTHORS

---

### *Your Paper Your Way*

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

**To find out more, please visit the Preparation section below.**

### INTRODUCTION

*Marine Micropaleontology* is an international journal publishing results of research in all fields of marine micropaleontology of the ocean basins and continents, including paleoceanography, evolution, ecology and paleoecology, biology and paleobiology, biochronology, paleoclimatology, taphonomy, and the systematic relationships of higher taxa. The journal encourages the publication of articles in which marine micropaleontology is used to solve fundamental geological and biological problems. It also promotes the presentation of innovative, provocative and controversial ideas in these fields.

### BEFORE YOU BEGIN

#### *Ethics in publishing*

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

#### *Conflict of interest*

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: [http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/286/p/7923](http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/p/7923).

#### *Submission declaration and verification*

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/sharingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

#### *Changes to authorship*

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts:

*Before the accepted manuscript is published in an online issue:* Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed.

*After the accepted manuscript is published in an online issue:* Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

#### *Copyright*

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.



Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

### **Author rights**

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more information see <http://www.elsevier.com/copyright>.

### **Role of the funding source**

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

### **Funding body agreements and policies**

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

### **Open access**

This journal offers authors a choice in publishing their research:

#### **Open access**

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

#### **Subscription**

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<http://www.elsevier.com/access>).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

#### *Creative Commons Attribution (CC BY)*

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

#### *Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)*

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is **USD 2500**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.



### **Green open access**

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and begins from the publication date of the issue your article appears in.

This journal has an embargo period of 24 months.

### **Language (usage and editing services)**

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

### **Submission**

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

### **Submit your article**

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/marmic>

### **Referees**

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 4 potential referees. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

## **PREPARATION**

Marine Micropaleontology requires authors to provide at least basic taxonomic information on all species mentioned in the text, this may be supplied for on-line publication only (supplementary information).

All text files submitted should include line and page numbers.

Authors are required to supply ALL data which are shown in graphs as files in supplementary information (online publication), unless such data are available on-line at an official data repository elsewhere, in which case a URL must be provided.

### **NEW SUBMISSIONS**

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

### **References**

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination



must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

#### *Formatting requirements*

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

#### **Line numbering text**

Please ensure your paper has consecutive line numbering - this is an essential peer review requirement.

#### *Figures and tables embedded in text*

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file.

### **REVISED SUBMISSIONS**

#### *Use of word processing software*

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

#### **Article structure**

##### *Subdivision - numbered sections*

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

##### *Introduction*

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

##### *Regional setting*

For papers that focus on an area, provide a brief synopsis of the physical and geological characteristics of the area, sufficient to give the new work context, but again avoid a detailed literature survey.

##### *Material and methods*

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

##### *Results*

Results should be clear and concise.

##### *Discussion*

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

##### *Conclusions*

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

##### *Appendices*

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.



### Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

### Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

### Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements: [Illustration Service](#).

### Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

### Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

### Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

### Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

### Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible. In principle, variables are to be presented in italics. Use the solidus (/) instead of a horizontal line, e.g.,

X/Y rather than



X  
Y

Powers of e are often more conveniently denoted by exp.  
Number consecutively any equations that have to be displayed separate from the text (if referred to explicitly in the text).

### Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

### Artwork

#### Electronic artwork

##### General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
  - Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
  - Number the illustrations according to their sequence in the text.
  - Use a logical naming convention for your artwork files.
  - Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
  - For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
  - Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.
- A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

**You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.**

##### Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

##### Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

##### Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

##### Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

### Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules.



## References

### *Citation in text*

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

### *Web references*

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

### *References in a special issue*

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

### *Reference management software*

Most Elsevier journals have a standard template available in key reference management packages. This covers packages using the Citation Style Language, such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and also others like EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/downloads/styles>). Using plug-ins to word processing packages which are available from the above sites, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style as described in this Guide. The process of including templates in these packages is constantly ongoing. If the journal you are looking for does not have a template available yet, please see the list of sample references and citations provided in this Guide to help you format these according to the journal style.

If you manage your research with Mendeley Desktop, you can easily install the reference style for this journal by clicking the link below:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/marine-micropaleontology>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice. For more information about the Citation Style Language, visit <http://citationstyles.org>.

### *Reference formatting*

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

### *Reference style*

1. All references cited in the text are to be listed at the end of the paper. The manuscript should be carefully checked to ensure that the spellings of authors' names and publication years are exactly the same in the text as in the reference list. Do not type author's and editor's names in capitals.
2. In the text refer to the author's name (without initials) and year of publication, followed - if necessary - by a short reference to appropriate pages. Examples: "Because Peterson (1994) has shown that...". "This is in agreement with results obtained later (Kramer, 1996, pp. 12-16)".
3. If reference is made in the text to publications written by more than two authors the name of the first author should be used, followed by "et al.". This indication, however, should never be used in the list of references. In this list names of authors and all co-authors must be given in full.



4. References in the text should be arranged chronologically. The list of references should be arranged alphabetically by authors' names, and chronologically per author. If an author's name in the list is also mentioned with co-authors, the following order should be used: Publications of the single author, arranged according to publication year - publications of the same author with one co-author, arranged according to publication year - publications of the author with more than one co-author, arranged according to publication year.

The following system should be used for arranging references:

a. Journal papers: Names and initials of all authors, year. Title of paper. Journal name (given in full or abbreviated using the International List of Periodical Title Word Abbreviations) and volume number (issue number), first and last page numbers of the paper.

Example:

Elbaz-Poulichet, F., Guan, D.M., Martin, J.M., 1991. Trace metal behaviour in a highly stratified Mediterranean estuary: the Krka (Yugoslavia). *Mar. Chem.* 32, 211-224.

b. Monographs: Names and initials of all authors, year. Title of the monograph. Publisher, location of publisher.

Example:

Zhdanov, M.S., Keller, G.V., 1994. *The Geoelectrical Methods in Geophysical Exploration*. Elsevier, Amsterdam.

c. Edited volume papers: Names and initials of all authors, year. Title of paper. Names and initials of the volume editors, title of the edited volume. Publisher, location of publisher, first and last page numbers of the paper.

Example:

Thomas, E., 1992. Middle Eocene-late Oligocene bathyal benthic foraminifera (Weddell Sea): faunal changes and implications for ocean circulation. In: Prothero, D.R., Berggren, W.A. (Eds.), *Eocene-Oligocene Climatic and Biotic Evolution*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, pp. 245-271.

d. Conference proceedings papers: Names and initials of all authors, year. Title of paper. Name of the conference. Publisher, location of publisher, first and last page numbers of the paper.

Example:

Smith, M.W., 1988. The significance of climatic change for the permafrost environment. *Final Proc. Int. Conf. Permafrost*. Tapir, Trondheim, Norway, pp. 18-23.

e. Unpublished theses, reports, etc.: Names and initials of all authors, year. Title of item. All other relevant information needed to identify the item (e.g., technical report, Ph.D. thesis, institute, etc.).

Example:

Moustakas, N., 1990. Relationships of morphological and physicochemical properties of Vertisols under Greek climate conditions. Ph.D. Thesis, Agricultural Univ. Athens, Greece.

5. In the case of publications in any language other than English, the original title is to be retained. Titles of publications in non-Latin alphabets should be transliterated, and a note such as '(in Russian)' or '(in Japanese, with English Abstr.)' should be added at the end of the reference.

*Journal abbreviations source*

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations: <http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

### **Video data**

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly



relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

### **AudioSlides**

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

### **Supplementary material**

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

### **Data deposit and linking**

Elsevier encourages and supports authors to share raw data sets underpinning their research publication where appropriate and enables interlinking of articles and data. Please visit <http://www.elsevier.com/about/research-data> for more information on depositing, sharing and using research data.

### **Google Maps and KML files**

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <http://www.elsevier.com/googlemaps>.

### **Interactive plots**

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. For instructions please go to <http://www.elsevier.com/interactiveplots>.

### **Submission checklist**

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

#### **Ensure that the following items are present:**

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa



- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)

Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required.

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

## AFTER ACCEPTANCE

### *Use of the Digital Object Identifier*

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

### *Online proof correction*

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

### *Offprints*

The corresponding author, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com). This link can also be used for sharing via email and social networks. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

## AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at <http://www.elsevier.com/track-submission>. You can track your accepted article at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.

## ANEXO D – CARTA DE SUBMISSÃO A REVISTA BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA

---

29/09/2015

Mensagem de Impressão do Outlook.com

[Imprimir](#)[Fechar](#)

De: **João Carlos Coimbra** (revista.paleontologia@gmail.com)

Enviada: quarta-feira, 9 de setembro de 2015 15:29:02

Para: consul\_navarro@hotmail.com

Prezada Consuelo Navarro

Ref.: submissão do MS intitulado ARCABOUÇO BIOESTRATIGRÁFICO DE PELITOS DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS (DEVONIANO), BACIA DO PARNAÍBA, TOCANTINS, BRASIL.

Informo que o MS acima referido foi submetido à Revista Brasileira de Paleontologia. A submissão foi aceita. O MS estará sob os cuidados editoriais de Maria Judite Garcia, editora-adjunta para Palinologia e Paleobotânica, email: [mj-garcia@uol.com.br](mailto:mj-garcia@uol.com.br)

Att.

João Carlos Coimbra  
Editor da RBP

## ANEXO E – CARTA DE SUBMISSÃO A REVISTA *MARINE MICROPALEONTOLOGY*

---

30/09/2015

Mensagem de Impressão do Outlook.com

[Imprimir](#)[Fechar](#)

De: **Marine Micropaleontology** (marmic@elsevier.com)  
Enviada: quarta-feira, 30 de setembro de 2015 13:49:50  
Para: consul\_navarro@hotmail.com; consuelonavarro87@gmail.com

Please note that this is an automated e-mail.

Dear Miss. Andrade,

Your submission entitled "ORGANIC FACIES AND PALYNOLOGY FROM THE MIDDLE TO LATE DEVONIAN OF THE PIMENTEIRAS FORMATION, PARNAIBA BASIN, BRAZIL" (Research Paper) has been received by Marine Micropaleontology

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/marmic/>.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System  
Marine Micropaleontology