



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

## TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ROBERTO COSTA ARAUJO FILHO

**PALEOAMBIENTE E GEOMETRIA DEPOSICIONAL DA FORMAÇÃO  
PIMENTEIRAS NA BORDA LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ**

**GEOCIÊNCIAS**  
U F P A

BELÉM – PARÁ  
MARÇO – 2016

ROBERTO COSTA ARAUJO FILHO

PALEOAMBIENTE E GEOMETRIA DEPOSICIONAL DA FORMAÇÃO  
PIMENTEIRAS NA BORDA LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Faculdade de Geologia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do Pará  
– UFPA, em cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues  
Nogueira.

Belém  
2016

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFGA

---

Araújo Filho, Roberto Costa, 1988-  
Paleoambiente e geometria deposicional da Formação  
Pimenteiras na borda leste da bacia do Parnaíba, Piauí /  
Roberto Costa Araújo Filho. – 2016.  
65 f : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –  
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências,  
Faculdade de Geologia, Belém, 2015.

1. Fácies (Geologia) – Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA).
2. Formações (Geologia) - Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA).
3. Geometria - Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA). I. Título.

ROBERTO COSTA ARAUJO FILHO

**PALEOAMBIENTE E GEOMETRIA DEPOSICIONAL DA FORMAÇÃO  
PIMENTEIRAS NA BORDA LESTE DA BACIA DO PARNAÍBA, PIAUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Faculdade de Geologia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do Pará  
– UFPA, em cumprimento às exigências para  
obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data da aprovação: 25 / 02 / 2016

Conceito: Excelente

Banca examinadora:



Prof. Afonso César Rodrigues Nogueira  
Doutor em Geologia  
Universidade Federal do Pará



Prof. Joelson Lima Soares  
Doutor em Geologia  
Universidade Federal do Pará



Prof. Werner Truckenbrodt  
Doutor em Geologia  
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho à minha mãe  
Rosiane e à minha avó Edite.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Rosiane e Roberto pelo amor, por todo o carinho, paciência e dedicação, fundamentais nesta minha empreitada.

Aos meus queridos avós Edite e Ofir também pelo enorme carinho e dedicação diários nestes 5 anos de curso. Palavras não são capazes de traduzir minha gratidão.

À minha tia-avó e madrinha Ana, por todo o seu afeto, dedicação e amor ao longo de muitos anos.

Ao meu irmão Raphael pelo companheirismo, paciência e conselhos que sempre me ajudaram a fazer boas escolhas durante as etapas do curso.

À minha namorada Luana por todo o amor, amizade e dedicação, principalmente no momento final da graduação. É a melhor companheira que eu poderia ter.

Ao meu orientador Professor Afonso, por ter me influenciado a gostar da geologia sedimentar durante as suas aulas de estratigrafia, pelos conselhos, atenção e paciência durante os sempre valiosos ensinamentos nos trabalhos de campo.

Ao Professor Roberto César pelos importantes conselhos e sugestões que ajustaram para melhor o meu plano de trabalho, quando este parecia muito distante de ser realizado e que foram essenciais para a sua execução.

Aos meus amigos da turma de Geologia 2011-UFGA: Jully, Eliã, Leonardo, Daiveson (Neymar), Lidiane, Tayna, Adson, Maciel, Ronilson, Daniela, Danilo e Camilinha pelos momentos que compartilhamos nestes anos de estudo em nossas inúmeras viagens de campo, relatórios, provas e seminários.

Aos colegas do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia (Gsed): Isabella, Raíza, Meire, Alexandre, Gabriel, Fernando, Pedro e especialmente ao Júnior e ao Everson pelas discussões geológicas, incentivos e auxílios, principalmente nos trabalhos de campo. Sem vocês tudo seria mais difícil.

“O mundo é formado não apenas pelo que já existe, mas pelo que pode efetivamente existir.”

Milton Santos

## RESUMO

A Formação Pimenteiras registra a transgressão marinha mais importante da Bacia do Parnaíba, que ocorreu entre o Mesodevoniano e o Neodevoniano. Na borda leste da bacia, nas proximidades dos municípios de Pimenteiras e Picos (Piauí), são encontradas excelentes exposições desta unidade em drenagens, cortes de estrada e encostas de morros. As análises de fácies e de elementos arquiteturais permitiram reconstituir os paleoambientes e caracterizar a geometria deposicional da Formação Pimenteiras. Foram definidas sete fácies sedimentares, reunidas em duas associações de fácies (AF) e propostos três elementos arquiteturais, que registram depósitos marinhos plataformais (epicontinentais) com influência de ondas de tempestades. A AF1 – *offshore* – é composta principalmente pela fácies folhelho. A fácies siltito com laminação plano-paralela ocorre pontualmente. A AF2 – *offshore* transicional – é representada pelas fácies folhelho, siltito com laminação plano-paralela, siltito com laminação ondulada, arenito maciço, arenito com laminação plano-paralela, arenito com laminação ondulada e cruzada e arenito com estratificação cruzada *hummocky*. A intercalação destas fácies é expressiva na AF2. As AF da Formação Pimenteiras formam um padrão retrogradante-progradante que correspondem a ciclos de raseamento ascendente, provavelmente relacionados a variações relativas do nível do mar. Os arenitos dos topos dos ciclos (AF2) são interpretados como níveis estratigráficos capazes de representar rochas reservatório e os folhelhos da AF1 são as potenciais rochas geradoras. O contato entre as formações Pimenteiras e Cabeças é discordante e marcado por fácies com gêneses distintas. Os depósitos siliciclásticos da Formação Cabeças caracterizam um sistema deltaico que progradou para NW sobre o mar Pimenteiras, como resultado de uma queda no nível relativo do mar no Neodevoniano na borda leste da bacia.

Palavras-chave: Formação Pimenteiras. Fácies sedimentares. Geometria deposicional. Reconstituição Paleoambiental.

## ABSTRACT

The Pimenteiras Formation records the most important marine transgression of Parnaíba Basin, that occurred between the Mesodevonian and the Neodevonian. On the eastern edge of the basin, near the towns of Pimenteiras and Picos (Piauí), are found excellent outcrops of this unit in drainages, road cuts and mountain slopes. The analysis of facies and architectural elements allowed to reconstruct the paleoenvironments and to characterize the depositional geometry of Pimenteiras Formation. Seven sedimentary facies were defined, grouped into two facies associations (FA) and three architectural elements have been proposed, which record continental shelf marine deposits (epicontinental) influenced by storm waves. The FA1 – offshore – is mainly composed of shale. The parallel laminated siltstone occur locally. The FA2 – transitional offshore – is represented by shale, parallel laminated siltstone, wavy laminated siltstone, massive sandstone, parallel laminated sandstone, wavy and cross laminated sandstone as well as hummocky cross bedded sandstone. The intercalation of facies is expressive in FA2. The FA of Pimenteiras Formation form a retrograding-progradational pattern that correspond to shallowing upward cycles, probably related to relative changes in sea-level. The sandstones of the tops of cycles (FA2) are interpreted as stratigraphic levels able to represent reservoir rocks and the shales of FA1 are the potential generators rocks. The contact between the Pimenteiras and Cabeças formations is discordant and marked by facies with different genesis. The siliciclastic deposits of Cabeças Formation characterize a deltaic system that prograded to NW over the Pimenteiras sea, as a result of a fall in the relative sea-level in the Neodevonian on the eastern edge of the basin.

Keywords: Pimenteiras Formation. Sedimentary facies. Depositional geometry. Paleoenvironmental reconstitution.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização e geologia da área de estudo com destaque para os pontos estudados na cor verde (P1 a P7), na borda leste da Bacia do Parnaíba. .... 15
- Figura 2 - Província Parnaíba no nordeste brasileiro com a divisão das quatro bacias deposicionais que a compõem.....20
- Figura 3 - Localização geográfica das principais feições estruturais herdadas do embasamento da Bacia do Parnaíba. Seção geológica da Bacia do Parnaíba A-B com espessuras e disposições aproximadas das sequências sedimentares controladas pela estruturação do embasamento. ....21
- Figura 4 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba. Destaque para o Grupo Canindé em vermelho.....25
- Figura 5 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba (continuação). Destaque para o Grupo Canindé em vermelho.....26
- Figura 6 - Configuração paleogeográfica global no Mesodevoniano e início do Neodevoniano. Em a) o mundo no Eifeliano e em b) no Frasniano. Neste intervalo ocorre o registro dos efeitos de uma provável transgressão representada pela Formação Pimenteiras na Bacia do Parnaíba. Notar o significativo avanço das águas dos mares e oceanos sobre as linhas de costa entre as duas idades. A área em vermelho corresponde à porção aproximada que a bacia ocupava no oeste de Gondwana.....29
- Figura 7 - Mapas paleoclimáticos do Mesodevoniano relacionados com a temperatura. a) No Eifeliano a Bacia do Parnaíba estava localizada mais próxima ao pólo sul em condições de baixas temperaturas; b) A temperatura média global se elevou no Givetiano, o que pode ter provocado avanço global da transgressão pelo derretimento do gelo próximo aos pólos; c) Gráfico que relaciona as temperaturas médias globais ao longo do fanerozoico com os períodos de “*Ice House*” e “*Hot House*” nos dois extremos. Seta indica temperatura média global de condições “*Hot House*” no Mesodevoniano (25,8° C), o que sugere a ocorrência de transgressões.....30

- Figura 8 - Perfil esquemático de mar raso plataformar com as zonas de atuação das ondas de tempo normal e de tempestades. A profundidade de atuação das ondas delimita os ambientes deposicionais.....32
- Figura 9 - Perfis estratigráficos elaborados para a Formação Pimenteiras, borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí. O quadro à direita apresenta o posicionamento estratigráfico dos perfis, plotados de acordo com as suas cotas.....33
- Figura 10 - Depósitos de *offshore* da Formação Pimenteiras. A) Porção de afloramento em encosta de morro (Ponto 1) composto por espessas camadas tabulares de folhelhos e camada lenticular de siltito; B) Fácies folhelho com cor cinza que indica matéria orgânica preservada. Ao lado destaque para as laminações contínuas e descontínuas desta fácies; C) Detalhe da fácies siltito com laminação plano-paralela.....38
- Figura 11 - Porção de afloramento em encosta de morro (Ponto 5) que exhibe o contato (linha tracejada) entre os depósitos de *offshore* (AF1) e de *offshore* transicional (AF2).....39
- Figura 12 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras. Afloramento em encosta de morro (Ponto 5) com o elemento arquitetural conjunto tabular de folhelhos - C1 - limitado por superfícies de 4ª ordem (4) nas porções inferior e superior do elemento arquitetural conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2.....40
- Figura 13 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) Afloramento na margem do rio Sambito (Ponto 3) composto por intercalações de camadas tabulares das fácies F, Ap, Aoc e Ah. Setas indicam camadas da fácies Folhelho (F) intercaladas aos arenitos sensivelmente mais espessos que se estendem lateralmente por até 200 m; B) Fácies (F) intercalada com a fácies Arenito com estratificação cruzada *hummocky* (Ah). Detalhe à direita das laminações internas levemente onduladas da fácies Ah com setas indicando porções onde ocorrem truncamentos com ângulos menores do que aproximadamente 10°; C) Fácies arenito com laminação ondulada e cruzada (Aoc) associada com a fácies Ah

- (Ponto 3); D) Fácies Ah associada com a fácies siltito com laminação ondulada (So) (Ponto 5).....44
- Figura 14 - Fácies dos depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) Arenito maciço; B) Arenito com laminação plano-paralela; C) Arenito com laminação ondulada e cruzada; D) Arenito com estratificação cruzada hummocky com laminações internas truncantes e mergulhos suaves indicadas pelas setas. ....45
- Figura 15 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) Afloramento em corte de estrada com espessos estratos da AF2 com predominância da fácies Arenito com estratificação cruzada *hummocky* (Ah) (Ponto 2); B) e C) Detalhes das delgadas camadas da fácies Siltito com laminação ondulada (So) (setas) intercaladas à fácies Ah; D) Porção de afloramento em corte de estrada (Ponto 7) com camadas bastante amalgamadas das fácies Ah e Arenito maciço (Am). Seta indica recobrimento pela fácies So. ....46
- Figura 16 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras (continuação). A) Afloramento em corte de estrada (Ponto 2) com camadas intensamente amalgamadas das fácies Ah e Am. Setas indicam delgadas camadas da fácies So; B) Fácies arenito com estratificação cruzada *hummocky* e ao lado destaque das laminações internas que apresentam mergulhos suaves. Em diversas porções ocorrem os característicos truncamentos e terminações de baixo ângulo entre as laminações. ....47
- Figura 17 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras (continuação). A) Afloramento em corte de estrada (Ponto 2) com camadas tabulares da fácies Ah associadas com camadas também tabulares da fácies So, algumas destas delimitadas por linhas tracejadas; B) Detalhe da fácies Ah com comprimento de onda de poucos centímetros, intercalada continuamente com delgadas camadas da fácies So.....48
- Figura 18 - Icnogêneros identificados na associação de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) *Bifungites* indicados pelas setas com corpos retilíneos e extremidades com terminações globulares na fácies Ah; B) *Helminthopsis* com traço meandrante irregular (seta) de

preenchimento maciço e parede externa lisa na fácies Ah; C) *Protopaleodictyon* com traços em meandros de primeira e segunda ordem em epirrelevo positivo indicados pelas setas na fácies Aoc; D) Traço cilíndrico com preenchimento maciço associado ao icnogênero *Palaeophycus* na fácies Ah; E) Traços em forma de escavações meandranes indicados pelas setas com tonalidade diferente da cor da fácies Aoc e paredes lisas, atribuídos ao icnogênero *Planolites*; F) Escavações retilíneas e paredes lisas na fácies Ah relacionadas ao icnogênero *Planolites* (setas).....49

Figura 19 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras. A) Seção panorâmica em afloramento de corte de estrada (Ponto 7); B) Depósitos de *offshore* transicional com os elementos arquiteturais: conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2 - e conjunto tabular de arenitos - C3. Estes são separados por uma superfície de 4ª ordem (4) e as superfícies limitantes internas de cada um são de 3ª ordem. ....51

Figura 20 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras (continuação). A) Seção panorâmica em afloramento de corte de estrada (Ponto 6); B) e C) Porções mais representativas das quais foram extraídas e hierarquizadas as superfícies limitantes e delimitados os elementos arquiteturais. Estas porções compõem os elementos arquiteturais da associação de *offshore* transicional: conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2 - e conjunto tabular de arenitos - C3. Estes são separados por superfícies de 4ª ordem (4) e as superfícies limitantes internas de cada um são de 3ª ordem. ....52

Figura 21 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras (continuação). Afloramento em encosta de morro (Ponto 5) com excelentes exposições dos elementos arquiteturais e associações de fácies definidas. Estes compõem um ciclo de raseamento ascendente completo, que da base para o topo apresenta: conjunto tabular de folhelhos - C1, conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2, e conjunto tabular de arenitos - C3. O ciclo se reinicia para topo da seção panorâmica com os depósitos de *offshore* - C1. Os elementos arquiteturais são separados por superfícies limitantes de

4ª ordem (4). As superfícies internas de cada elemento são de 3ª ordem.....53

Figura 22 - Modelo deposicional elaborado para a Formação Pimenteiras na borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí. Mar Pimenteiras e seus paleoambientes de *offshore* e *offshore* transicional. NM: Nível do mar.....57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	APRESENTAÇÃO.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	16
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
2.1	ANÁLISE DE FÁCIES.....	17
2.2	ANÁLISE DE ELEMENTOS ARQUITETURAIS.....	17
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA REGIONAL.....</b>	<b>18</b>
3.1	A BACIA DO PARNAÍBA.....	18
3.2	O GRUPO CANINDÉ.....	21
3.3	ASPECTOS PALEOGEOGRÁFICOS E PALEOCLIMÁTICOS DO DEVONANO.....	27
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE FÁCIES E GEOMETRIA DEPOSICIONAL.....</b>	<b>31</b>
4.1	ASPECTOS GERAIS.....	31
4.2	ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIS.....	36
<b>4.2.1</b>	<b><i>Offshore</i> (AF1).....</b>	<b>36</b>
4.2.1.1	Conjunto tabular de folhelhos (C1).....	39
<b>4.2.2</b>	<b><i>Offshore</i> transicional (AF2).....</b>	<b>41</b>
4.2.2.1	Conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados (C2).....	50
4.2.2.2	Conjunto tabular de arenitos (C3).....	50
<b>5</b>	<b>PALEOAMBIENTE E MODELO DEPOSICIONAL.....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO - PONTOS DE ESTUDO DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS..</b>	<b>65</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

No Período Devoniano (419 a 358 M.a) mudanças climáticas globais incidiram sobre o supercontinente Gondwana (SCOTese; BOUCOT; MCKERROW, 1999; CAPUTO, 1984; BOUCOT; SCOTese; MORLEY, 2013). A Bacia do Parnaíba compunha este supercontinente e seu registro sedimentar no período é marcado pela ocorrência de ciclos transgressivos e regressivos (LIMA; LEITE, 1978; CUNHA, 1986; GÓES; FEIJÓ, 1994; VAZ *et al.*, 2007), reunidos no Grupo Canindé (Formações: Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti).

A Formação Pimenteiras, objeto de estudo deste trabalho de conclusão de curso, ocorre em excelentes exposições na borda leste da bacia e seus estratos demonstram a ocorrência de uma transgressão marinha mesodevoniana (SANTOS; CARVALHO, 2009). Esta unidade possui espessas camadas de folhelhos com grande proporção de matéria orgânica preservada (valores médios de carbono orgânico total entre 2,0 e 2,5%) e é considerada a principal unidade potencialmente geradora de hidrocarbonetos no sistema petrolífero proposto para a sequência mesodevoniana-eocarbonífera, constituído também por rochas reservatórios indicadas por arenitos das formações Cabeças e Pimenteiras (esta em corpos de arenitos lenticulares) e como rochas selantes os folhelhos da Formação Longá (GÓES; SOUZA; TEIXEIRA, 1990; ABELHA, 2013).

Apesar da constatação para a geração de hidrocarbonetos nos folhelhos da Formação Pimenteiras, os arenitos que ocorrem intercalados a estes podem ter um papel importante como rocha reservatório. O posicionamento de arenitos em meio às rochas geradoras facilitaria a migração e acumulação de hidrocarbonetos (SANTOS; LIMA FILHO; NEUMANN, 2007). Entretanto, poucas são as pesquisas com enfoque em estudos sedimentológicos e estratigráficos detalhados, avaliando variações faciológicas e paleoambientais, assim como a geometria destes depósitos.

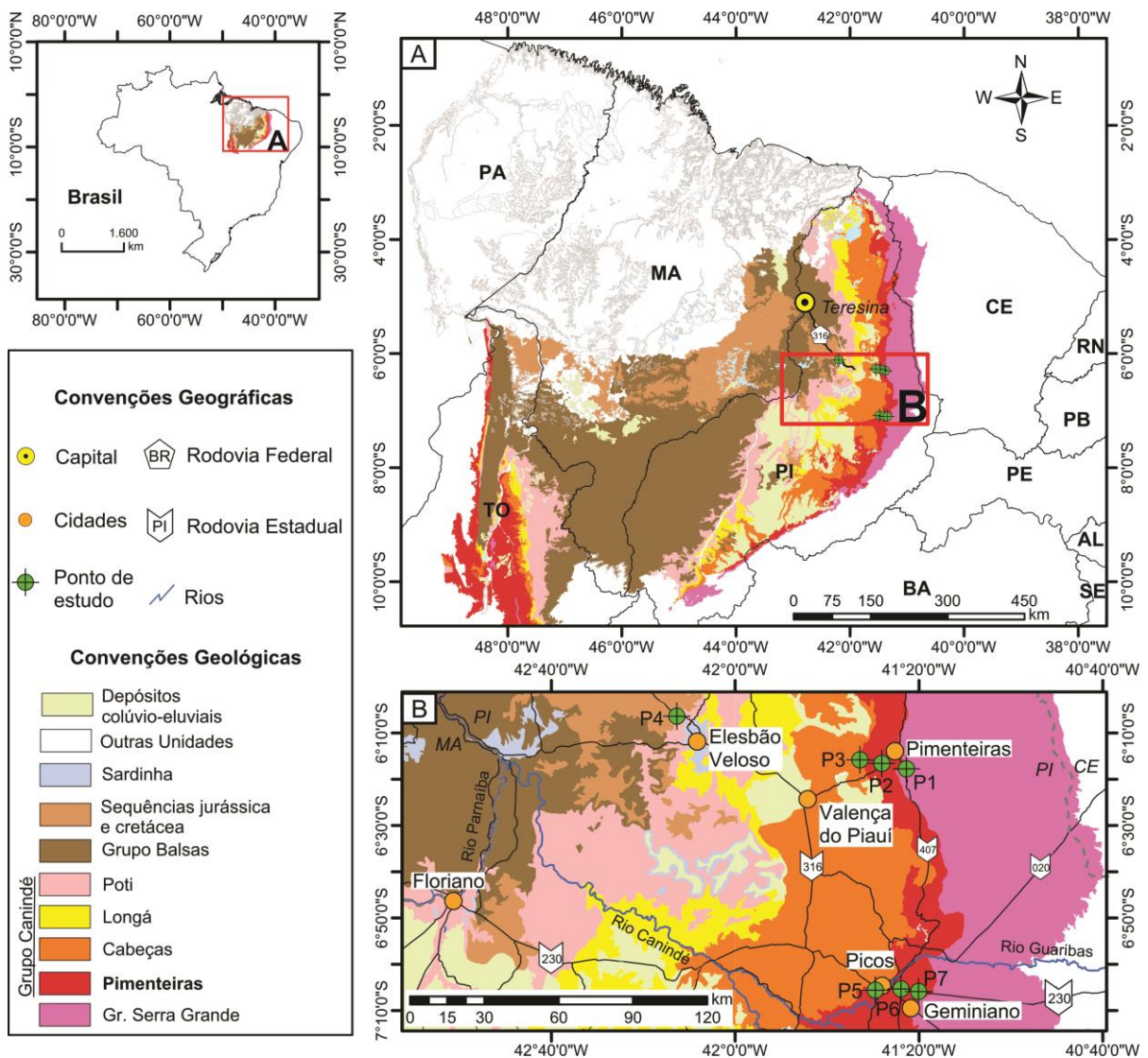
Estudos sobre a geometria deposicional das rochas aflorantes da Formação Pimenteiras podem direcionar investigações em subsuperfície de níveis estratigráficos mais precisos para a ocorrência de possíveis rochas reservatório na unidade (YOUNG; BORGHI, 2003; YOUNG, 2006; DENCK, 2009).

Neste trabalho, as rochas aflorantes da Formação Pimenteiras na borda leste da bacia são descritas e interpretadas através das análises de fácies e de elementos arquiteturais, assim como é proposto o seu modelo deposicional.

A área de estudo está localizada na região nordeste do Brasil, leste do Estado do Piauí (Figura 1). O acesso à área pode ser realizado a partir do município de Teresina pela Rodovia BR-316 em direção à porção centro-leste do estado. O percurso tem aproximadamente 265 km até o município de Pimenteiras, passando, dentre outros, pelos municípios de: Mosenhor Gil, Elesbão Veloso e Valença do Piauí. De Pimenteiras para Picos e entrada de Geminiano, o acesso pode ser realizado pela Rodovia BR- 407, em um trajeto de aproximadamente 150 km.

Os sete pontos de estudo (P1 a P7) estão localizados nos municípios de: Elesbão Veloso, Pimenteiras, Picos e Geminiano.

Figura 1 - Mapa de localização e geologia da área de estudo com destaque para os pontos estudados na cor verde (P1 a P7), na borda leste da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Modificado de Vasconcelos *et al.* (2004) e Angelim *et al.* (2004).

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso tem o objetivo geral de reconstituir o paleoambiente deposicional da Formação Pimenteiras na borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí.

Os objetivos específicos do trabalho são: 1) caracterizar fácies e associações de fácies da Formação Pimenteiras; 2) analisar a geometria das rochas aflorantes; 3) construir um modelo deposicional para a referida unidade.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Pesquisas bibliográficas sobre a geologia da Bacia do Parnaíba e as metodologias de trabalho consistiram em etapa essencial para a elaboração dos textos.

### 2.1 ANÁLISE DE FÁCIES

Na análise de fácies e estratigráfica foi utilizada a técnica de modelamento de fácies propostas por Walker (1992) e Dalrymple (2010). O modelamento de fácies envolve: 1) a individualização e descrição de fácies, que busca caracterizar composição, geometria, texturas, estruturas sedimentares, conteúdo fóssilífero e padrões de paleocorrente; 2) a compreensão dos processos sedimentares que demonstram como determinada fácies foi gerada; e 3) a associação de fácies, que agrupa fácies contemporâneas e cogenéticas, as quais refletem os diferentes ambientes e sistemas deposicionais. Para auxiliar a análise de fácies foram confeccionados perfis estratigráficos e seções panorâmicas, estas últimas obtidas a partir de fotomosaicos de afloramentos, de acordo com a técnica de Wizevic (1991).

### 2.2 ANÁLISE DE ELEMENTOS ARQUITETURAIIS

Na análise dos elementos arquiteturais foi empregada a metodologia de Miall (1991, 2006). As superfícies limitantes dos estratos sedimentares são identificadas e hierarquizadas, considerando parâmetros como: o tipo de contato (erosivo, gradacional); a forma geométrica (plana, irregular, côncava-convexa, ondulada); a extensão lateral e a assembleia das fácies associadas. Miall (1991, 2006) define seis ordens de superfícies limitantes que obedecem a uma sequência hierárquica da escala menor (1ª ordem) para a maior (6ª ordem). Estas superfícies são usadas para determinar as hierarquias das unidades deposicionais, que inclui em ordem crescente os grupos de 1 a 10, representando depósitos formados em poucos segundos até dezenas de milhões de anos.

A geometria deposicional é caracterizada a partir da interpretação de seções panorâmicas utilizadas para subdividir os estratos geneticamente relacionados. Em seguida são propostos os elementos arquiteturais para determinada sucessão sedimentar.

### 3 GEOLOGIA REGIONAL

#### 3.1 A BACIA DO PARNAÍBA

A Bacia do Parnaíba está inserida na Província Parnaíba, localizada na região nordeste do Brasil. A Província Parnaíba ocupa uma área de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup>, (CAPUTO, 1984; CUNHA, 1986; GÓES; FEIJÓ, 1994; CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005; VAZ *et al.*, 2007), que coincide com a da Província Sedimentar do Meio-Norte, denominação proposta por Góes (1995) em virtude da dificuldade de compreensão do quadro tectono-sedimentar e da evolução policíclica da região, que possibilitam a delimitação de diferentes bacias.

A Província Parnaíba é limitada a norte pelo Arco Ferrer (Arco São Vicente Ferrer–Urbano Santos–Guamá); a leste pela Falha de Tauá; a sudeste pelo Lineamento Senador Pompeu; a oeste pelo Lineamento Tocantins–Araguaia; e a noroeste pelo Arco Tocantins (GÓES, 1995; SILVA *et al.*, 2003). Apresenta forma hexagonal (FORTES, 1978), com seu maior diâmetro na direção NE-SW que atinge cerca de 1.000 km (CUNHA, 1986). A espessura total de suas rochas no depocentro alcança cerca de 3.500 m de acordo com Vaz *et al.* (2007), e é estimada por Cunha (1986) em 2.700 m.

A Província Parnaíba é composta por quatro sítios deposicionais separados por discordâncias: Bacia do Parnaíba propriamente dita, Bacia das Alpercatas, Bacia do Grajaú e Bacia do Espigão-Mestre (GÓES, 1995) (Figura 2).

A Bacia do Parnaíba é intracratônica (GÓES; SOUZA; TEIXEIRA, 1990) e de acordo com o Sistema Global de Classificação de Bacias de Kingston *et al.* (1983 *apud* SILVA *et al.*, 2003), é do tipo Fratura Interior/Depressão Interior (IF/IS). A bacia ocupa aproximadamente metade da província em sua parte centro-sul (SILVA *et al.*, 2003). Esta compreende terrenos dos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Ceará, com área aproximada de 400.000 km<sup>2</sup>, apresentando formato poligonal alongado na direção NE-SW (GÓES, 1995).

A Bacia do Parnaíba desenvolveu-se sobre um embasamento continental durante o estágio de estabilização da Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA; CARNEIRO, 2004). A partir da ocorrência de litotipos nas bordas da bacia é inferido que seu substrato é composto por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares formadas provavelmente entre o final do Proterozoico e o início do Paleozoico, que corresponde ao tempo de consolidação da Plataforma Sul-Americana (VAZ *et al.*, 2007) no paleocontinente Gondwana quando a atual Bacia do Parnaíba fazia parte

de uma extensa área de sedimentação afro-brasileira posteriormente fragmentada e parcialmente erodida (GÓES, 1995).

Os lineamentos Transbrasiliano, Picos-Santa Inês e Marajó-Parnaíba são as três feições morfo-estruturais mais importantes da bacia (Figura 3). Tais feições influenciaram sobremaneira na evolução tectono-sedimentar da bacia, pois controlaram as direções dos eixos deposicionais até o Eocarbonífero (VAZ *et al.*, 2007).

A subsidência inicial da bacia provavelmente está relacionada com as deformações e eventos térmicos formados ou reativados nas fases finais do Ciclo Brasileiro (final do Proterozoico e início do Paleozoico), que favoreceram as formações de estruturas grabeniformes interpretadas a partir de dados de sísmica, gravimetria e magnetometria no substrato da bacia (VAZ *et al.*, 2007; BARBOSA, 2014). De acordo com Silva *et al.* (2003), a bacia foi implantada sobre os riftes cambro-ordovicianos de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião e São Raimundo Nonato (Figura 2).

A Bacia do Parnaíba foi preenchida inicialmente por sedimentos imaturos da Formação Riachão, de idade proterozoica média ou superior, e por sedimentos do Grupo Jaibaras, provavelmente de idade cambro-ordoviciano (VAZ *et al.*, 2007). Em condições tectonicamente estáveis a partir do início do Siluriano até o Mesozoico a bacia foi submetida à prolongada acumulação sedimentar, o que se reflete em vasta diversidade de ambientes deposicionais (CUNHA, 1986).

De acordo com Góes e Feijó (1994) e Vaz *et al.* (2007), a sucessão de rochas sedimentares e magmáticas da Bacia do Parnaíba pode ser dividida em cinco sequências deposicionais, considerando a área total da Província Parnaíba. Vaz *et al.* (2007) definem as seguintes sequências deposicionais: siluriana, mesodevoniana-eocarbonífera, neocarbonífera-eotriássica, jurássica e cretácea.

Em contrapartida, Góes (1995) e Silva *et al.* (2003) definem três sequências deposicionais exclusivamente paleozoicas para a Bacia do Parnaíba, de idades: siluriana, devoniano-carbonífera inferior e carbonífero superior-triássica. A definição destes autores considera apenas a área da Bacia do Parnaíba propriamente dita.

Neste trabalho é considerada a carta estratigráfica mais recente proposta por Vaz *et al.* (2007) para a Bacia do Parnaíba, onde cinco sequências deposicionais são definidas a partir das discordâncias correlacionáveis em escala regional como

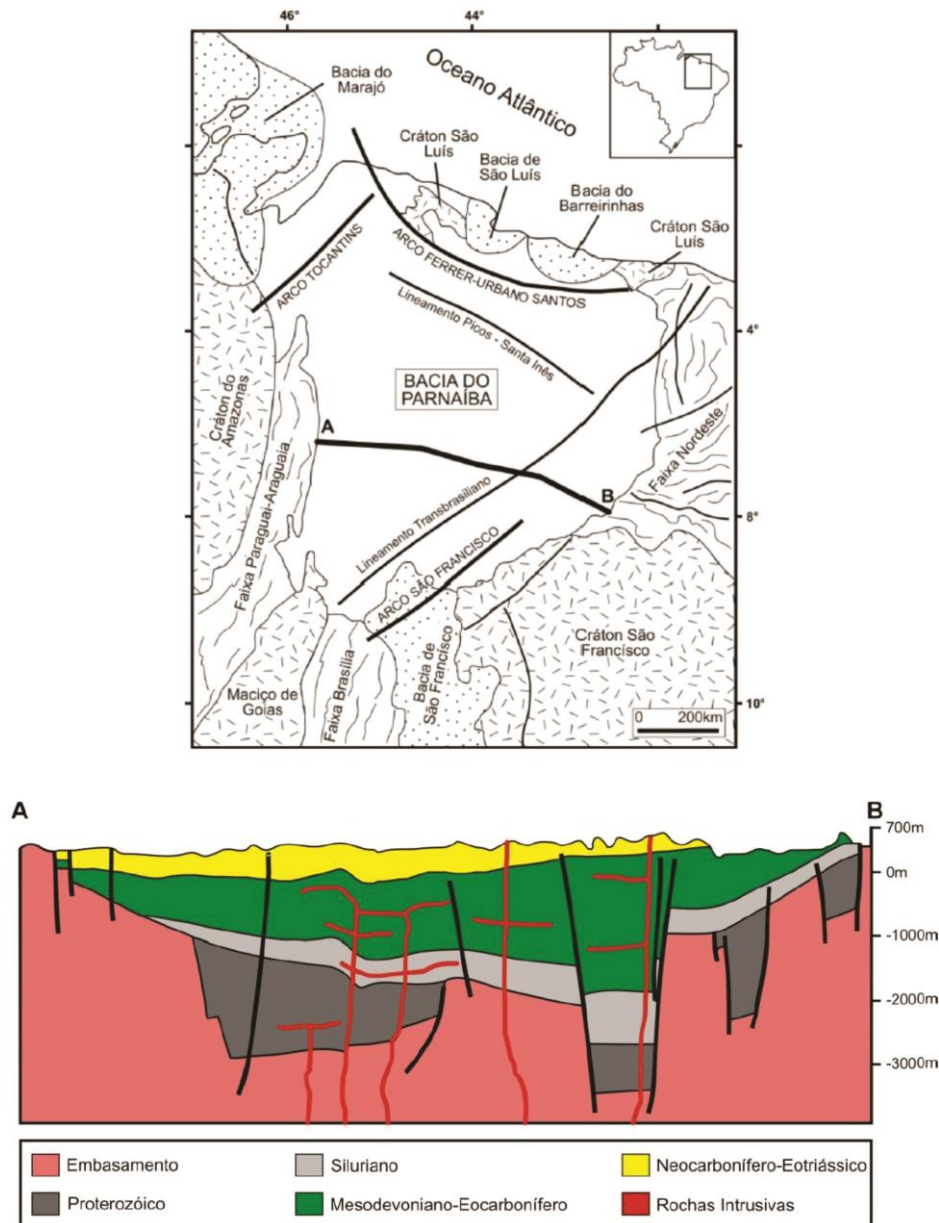
reflexo, sobretudo, de variações eustáticas que atingiram a área da Província Parnaíba, o que facilita o entendimento de sua evolução.

Figura 2 - Província Parnaíba no nordeste brasileiro com a divisão das quatro bacias deposicionais que a compõem.



Fonte: Silva *et al.* (2003) modificado de Góes (1995).

Figura 3 - Localização geográfica das principais feições estruturais herdadas do embasamento da Bacia do Parnaíba. Seção geológica da Bacia do Parnaíba A-B com espessuras e disposições aproximadas das seqüências sedimentares controladas pela estruturação do embasamento.



Fonte: Barbosa (2014) modificado de Cunha (1986) e Góes; Souza; Teixeira (1990).

### 3.2 O GRUPO CANINDÉ

O Grupo Canindé compõe a segunda grande seqüência sedimentar da Bacia do Parnaíba e suas unidades representam alternâncias de ciclos transgressivos e regressivos (CUNHA, 1986). O Grupo Canindé corresponde à seqüência devoniana de Góes e Feijó (1994) e à seqüência mesodevoniana-eocarbonífera de Vaz *et al.* (2007) (Figuras 4 e 5). Ocorre sobrejacente e de forma discordante ao Grupo Serra Grande, que corresponde à seqüência siluriana, e subjacente ao Grupo Balsas, que

compreende a sequência neocarbonífera-eotriássica, também em contato discordante.

Durante a sedimentação do Grupo Canindé, os condicionamentos regionais foram controlados pelos lineamentos Transbrasiliano e Picos-Santa Inês (CUNHA, 1986), com os depocentros localizados na região da atual borda leste da bacia (SANTOS; CARVALHO, 2009) e é possível que a sedimentação da unidade tenha sido consequência da carga sedimentar pré-existente que promoveu um progressivo aumento da rigidez flexural, causando subsidência e expansão da bacia, o que resultou em novo ciclo transgressivo-regressivo (GÓES; FEIJÓ, 1994).

O Grupo Canindé é composto pelas formações: Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti, aflorantes nas porções leste e oeste da bacia (VAZ *et al.*, 2007; SANTOS; CARVALHO, 2009) com sedimentação relacionada ao retrabalhamento de clásticos continentais depositados em ambientes litorâneos e marinhos pouco profundos (CUNHA, 1986).

O termo Itaim foi definido por Kegel (1953, *apud* SANTOS; CARVALHO, 2009), em referência a afloramentos próximos à cidade Itainópolis, Piauí (SANTOS; CARVALHO, 2009) e estabelecido como membro da Formação Pimenteiras. Posteriormente foi definida a Formação Itaim, estratigraficamente sotoposta à Formação Pimenteiras. A Formação Itaim é formada predominantemente por arenitos finos a médios com grãos subarredondados, bem selecionados e com grande esfericidade. Subordinadamente na base desta unidade ocorrem intercalações de folhelhos bioturbados (SILVA *et al.*, 2003; VAZ *et al.*, 2007). Estes depósitos tem sua gênese associada a ambientes deltaicos e de plataforma rasa (SILVA *et al.*, 2003) dominados por correntes induzidas por ações de marés e tempestades no Eifeliano (GÓES; FEIJÓ, 1994). De acordo com Santos e Carvalho (2009), os depósitos da Formação Itaim foram acumulados pelo aumento da lâmina d'água quando foi formada uma plataforma marinha proximal sob ação de tempestades.

A Formação Pimenteiras foi descrita pela primeira vez por Small (1914 *apud* COLARES; NASCIMENTO, 1984) para designar camadas de folhelhos aflorantes na então Vila de Pimenteira, Piauí. Plumer *et al.* (1948 *apud* SANTOS; CARVALHO, 2009) mantiveram a mesma denominação, porém considerando que a unidade seria mais antiga que os estratos do Grupo Serra Grande (LIMA; LEITE, 1978), o que foi revisto por trabalhos posteriores.

A Formação Pimenteiras consiste principalmente de folhelhos cinza-escuros a pretos, esverdeados e arroxeados, em parte bioturbados (AGUIAR, 1971; LIMA; LEITE, 1978; VAZ *et al.*, 2007). Estes são radioativos, ricos em matéria orgânica e representam a ingressão marinha mais importante da bacia (VAZ *et al.*, 2007). Ocorrem intercalações de siltitos e arenitos muito finos e a unidade apresenta idade eifeliana-frasniana (SANTOS; CARVALHO, 2009). A sedimentação aconteceu em ambiente de plataforma rasa dominada por tempestades (SILVA *et al.*, 2003; VAZ *et al.*, 2007). Para Santos e Carvalho (2009), seus depósitos perfazem plataformas terrígenas com barras costa afora dominadas por tempestades. As feições grafoelétricas indicam ciclicidade deposicional, e uma mudança de tendência transgressiva para regressiva na passagem que seria gradacional para os estratos sobrepostos da Formação Cabeças (DELLA FÁVERA, 1990 *apud* VAZ *et al.*, 2007).

A Formação Cabeças foi definida originalmente por Plumer *et al.* (1946 *apud* LIMA; LEITE, 1978) para caracterizar arenitos aflorantes nas vizinhanças da então Vila Cabeças, próximo a Picos, Piauí. Esta unidade possui idade givetiana-frasniana (GÓES; FEIJÓ, 1994). É composta predominantemente por arenitos médios a grossos, intercalados com siltitos e folhelhos. Diamictitos ocorrem com maior frequência no membro superior da unidade (VAZ *et al.*, 2007) e apresentam clastos estriados, polidos e facetados em virtude da abrasão, que evidenciam ambiente glacial (CAPUTO, 1984; CUNHA, 1986), e por isto podem ser chamados de tilitos (CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005). Arenitos maciços e deformados sindeposicionalmente ocorrem amplamente e são uma característica da unidade (CAPUTO, 1984). Ambientes plataformais com grande influência de correntes de marés e oceânicas, ambientes fluviais e deltaicos também são interpretados para a unidade (GÓES; FEIJÓ, 1994; SANTOS, 2005; BARBOSA, 2014).

A Formação Longá foi proposta por Albuquerque e Dequech (1946 *apud* LIMA; LEITE, 1978) para folhelhos cinza-escuros aflorantes no vale do rio Longá, próximo a Campo Maior, Piauí. Esta unidade é bem individualizada em superfície e também em perfis elétricos (AGUIAR, 1971) e é composta principalmente por folhelhos cinza-escuros a pretos até arroxeados e siltitos laminados e bioturbados (LIMA; LEITE, 1978), sobrepostos aos arenitos da Formação Cabeças, o que marca uma abrupta mudança litológica (SANTOS; CARVALHO, 2009). Em sua porção média, a Formação Longá possui pacotes de arenitos e siltitos laminados (VAZ *et al.*, 2007) e apresenta contato gradacional com os estratos subjacentes da

Formação Poti. Seus depósitos indicam sedimentação em ambiente plataformal dominado pela ocorrência de tempestades, de idade fameniana (GÓES; FEIJÓ, 1994) e representam elevação do nível do mar epicontinental no fim da glaciação (SANTOS; CARVALHO, 2009).

O termo Poti foi usado por Lisboa (1914 *apud* LIMA; LEITE, 1978) para designar folhelhos expostos no vale do Rio Poti, Piauí, e posteriormente o termo foi utilizado para designar o pacote sedimentar situado estratigraficamente entre as formações Longá e Piauí. A Formação Poti pode ser dividida em duas porções, a inferior, composta por arenitos em maior proporção e raras intercalações de siltitos, e a superior formada por arenitos com intercalações de siltitos e folhelhos (AGUIAR, 1971; VAZ *et al.*, 2007). É composta predominantemente por arenitos com estratificação cruzada, micáceos, carbonáticos e por siltitos subordinados (LIMA; LEITE, 1978; CUNHA, 1986). Ocasionalmente ocorrem conglomerados e lâminas de carvão na porção superior da sucessão (LIMA; LEITE, 1978; CUNHA, 1986). A deposição desta unidade ocorreu em deltas e planícies de maré, associada com esporádicas tempestades no Eocarbonífero (GÓES; FEIJÓ, 1994).

O término da sedimentação do Grupo Canindé (sequência mesodevoniana-ocarbonífera) na Bacia do Parnaíba provavelmente está relacionado com o soerguimento provocado pela Orogenia Eo-Herciniana (GÓES; SOUZA; TEIXEIRA, 1990; GÓES; FEIJÓ, 1994; VAZ *et al.*, 2007), indicado por uma discordância erosiva de escala regional que marca o contato entre a Formação Poti e a Formação Piauí, que lhe é sobreposta (LIMA; LEITE, 1978).

Figura 4 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba. Destaque para o Grupo Canindé em vermelho.

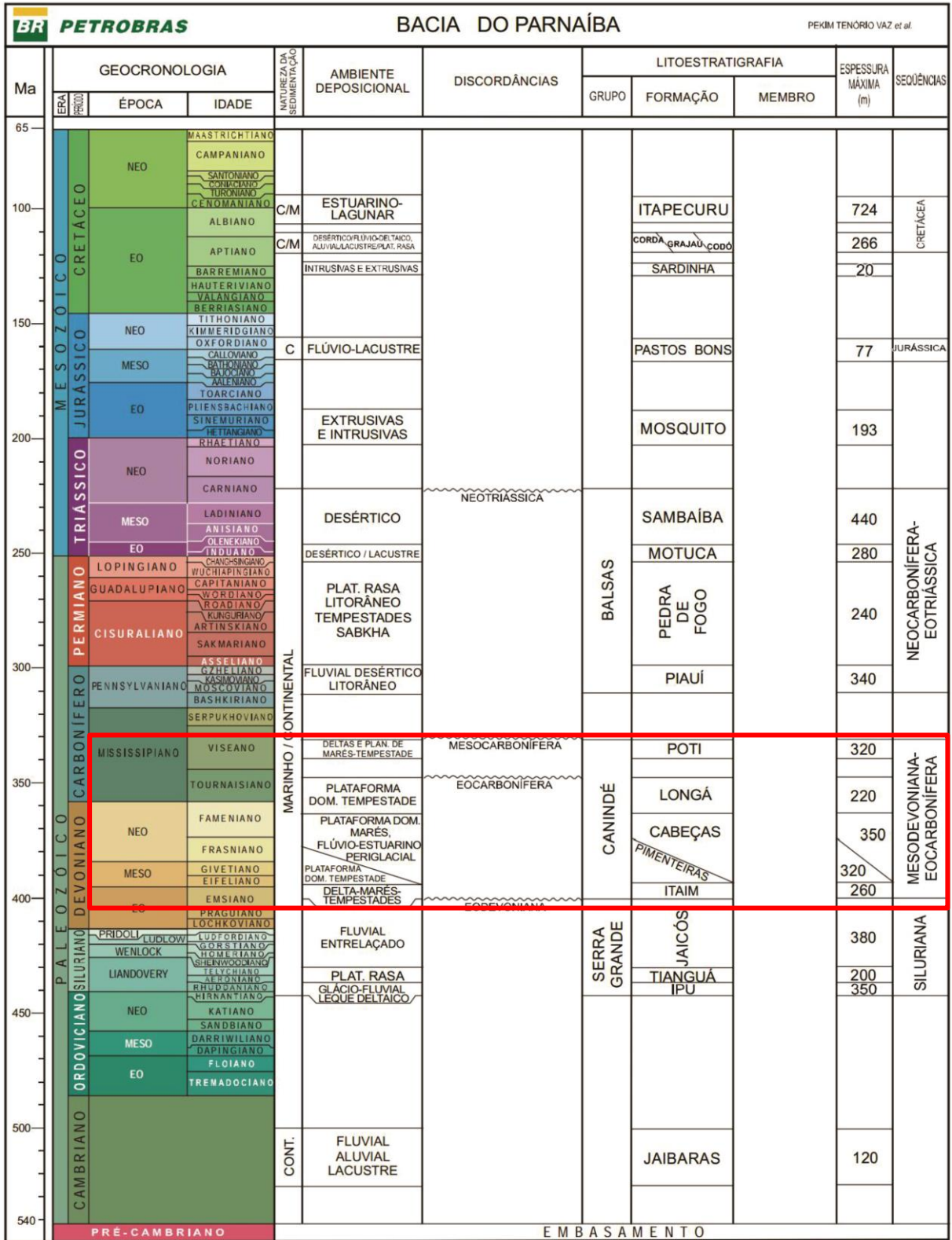
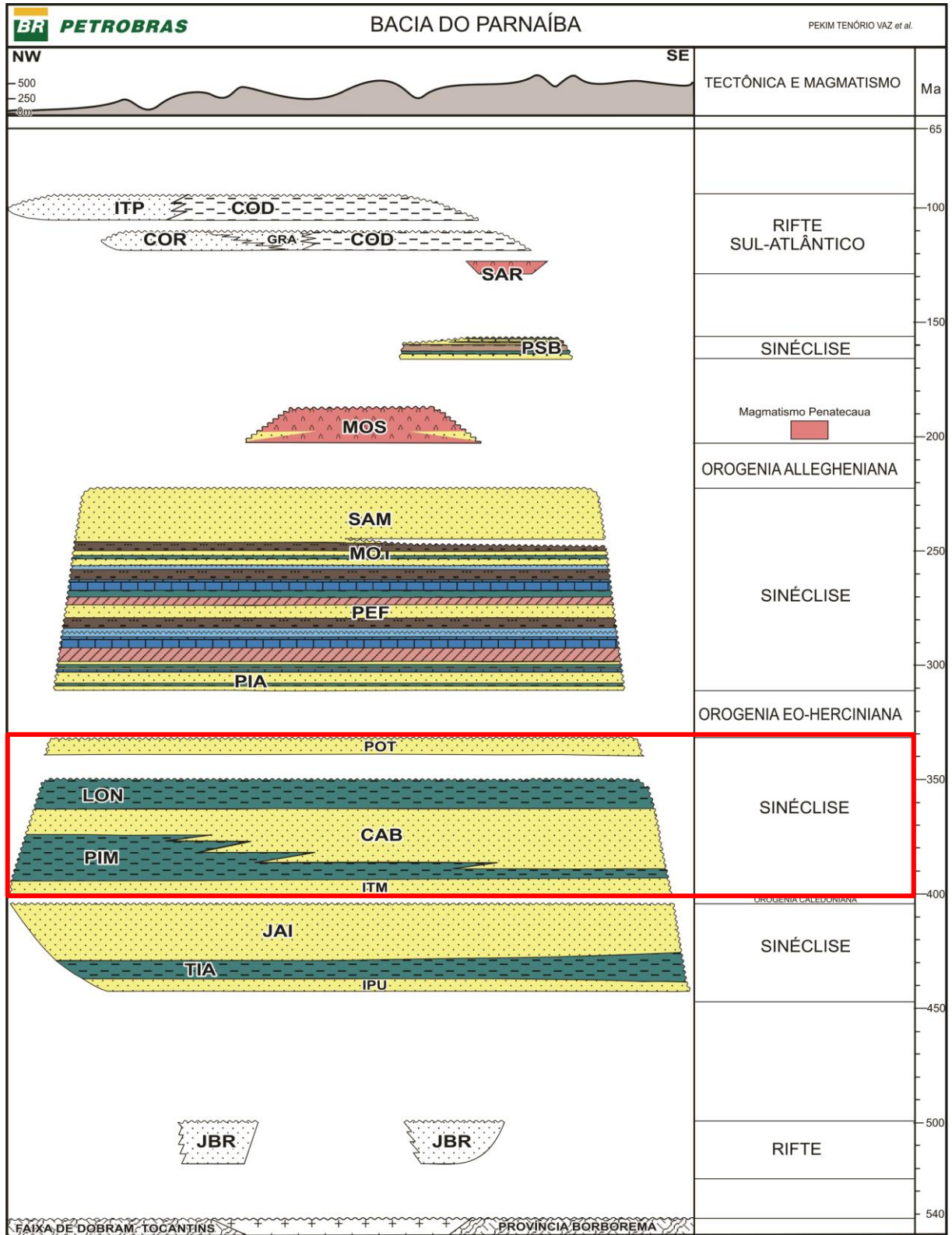


Figura 5 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba (continuação). Destaque para o Grupo Canindé em vermelho.



Fonte: Vaz et al. (2007).

### 3.3 ASPECTOS PALEOGEOGRÁFICOS E PALEOCLIMÁTICOS DO DEVONIANO

No Devoniano existiam dois supercontinentes, Laurentia e Gondwana. A Bacia do Parnaíba fazia parte do supercontinente Gondwana (Figura 6), formado no fim do Proterozoico e que no Paleozoico colidiu com o supercontinente Laurentia e a Sibéria, compondo o supercontinente Pangeia. Gondwana representou em sua máxima extensão mais de 70% da área continental da Terra (SCOTESE; BOUCOT; MCKERROW, 1999), compreendendo áreas atuais da Austrália, Índia, China, Antártica, África, América do Sul, dentre outras (SCOTESE, 2001).

Durante este vasto intervalo de tempo e devido sua grande extensão, já que o supercontinente se estendia desde o pólo sul até o equador, implicou que suas diferentes regiões simultaneamente apresentaram condições climáticas distintas, desde polares e temperadas até subtropicais e equatoriais (SCOTESE; BOUCOT; MCKERROW, 1999).

No Paleozoico o movimento das placas tectônicas provocou mudanças nas condições climáticas e nos ambientes deposicionais em todo o mundo. No contexto global do Siluriano ao Neodevoniano ocorreram grandes alterações na configuração dos continentes, com extensos espalhamentos oceânicos (JOHNSON *et al.*, 1985 *apud* SANTOS, 2005). A consequência disto foi a alteração no pólo sul que migrou do sul da América do Sul para o centro da África (VAN DER VOO, 1988 *apud* SANTOS, 2005).

No Mesodevoniano o planeta apresentava médias de temperaturas consideradas elevadas, onde não havia cobertura de gelo permanente nos pólos denominado de condições de "*Hot House*". Neve e gelo sazonal eram raros ou inexistentes (SCOTESE; BOUCOT; MCKERROW, 1999). A temperatura global média num mundo "*Hot House*" pode chegar a 18-22°C e os pólos podem ser tão quentes quanto 14°C (WORSLEY *et al.*, 1994). Embora sem a existência de gelo permanente no Mesodevoniano, faunas de água fria que existiram próximas do pólo sul sugerem uma extensa área de clima temperado a frio que se estendia desde o pólo sul até latitudes médias (SCOTESE; BOUCOT; MCKERROW, 1999).

No Neodevoniano o planeta passou para condições de "*Ice House*", porém a camada de gelo formada foi de extensão geográfica limitada. Tais condições são momentos em que uma ou ambas as regiões polares são cobertas por gelo permanente. A temperatura global média durante períodos de "*Ice House*" é de aproximadamente 12-14°C (WORSLEY *et al.*, 1994).

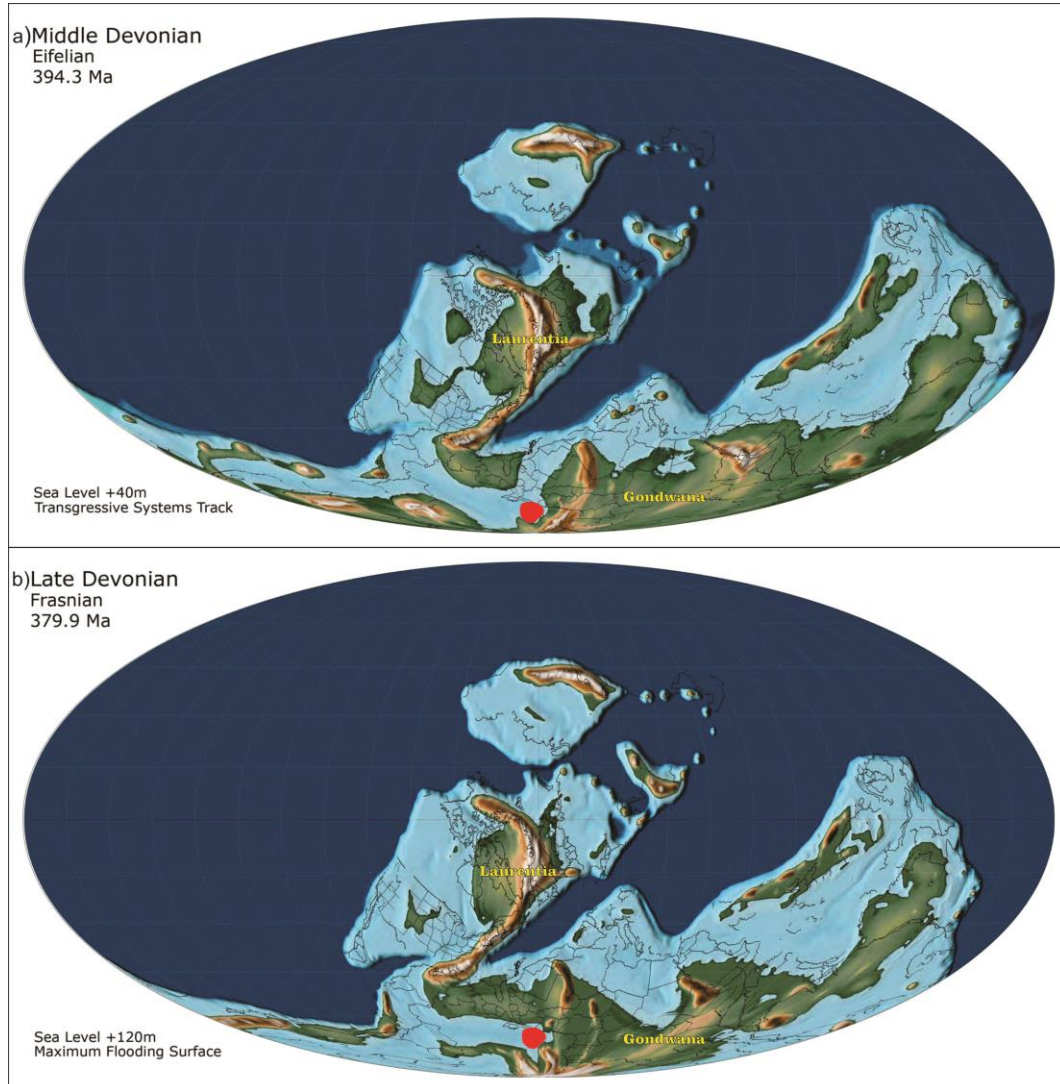
A Bacia do Parnaíba inserida neste contexto durante o Devoniano ocupou porções de altas latitudes no oeste de Gondwana (Figura 6). A retomada da sedimentação na bacia é atribuída a uma transgressão marinha por elevação do nível do mar que ocorreu no Mesodevoniano (SANTOS; CARVALHO, 2009).

Scotese (2014) compara o nível médio do mar nos dias atuais com o nível médio do mar ao longo do Devoniano através de mapas paleogeográficos. Entre o Eifeliano e o Frasniano (intervalo das idades atribuídas à Formação Pimenteiras) ocorreu um aumento de aproximadamente 80 m no nível médio do mar em decorrência de transgressões de caráter global no Mesodevoniano e que duraram até o Neodevoniano (Figura 6).

No Eifeliano, a área da bacia estava localizada em altas latitudes, próxima ao pólo sul, onde vigorava baixas temperaturas, quando teve início a deposição dos sedimentos que deram origem à Formação Pimenteiras (Figura 7 a). No Givetiano, a área da bacia havia se distanciado ligeiramente do pólo sul. Nesta idade a temperatura média global se elevou e pode ter provocado uma transgressão de caráter global (Figura 7 b) relacionada ao derretimento de camadas de gelo de regiões próximas aos pólos. Scotese (2015) afirma que as temperaturas médias alcançaram pouco mais de 25°C no “*Hot House*” mesodevoniano, o que surge como indicador para as ocorrências de transgressões (Figura 7 c).

Desta forma, a deposição de sedimentos clásticos na bacia durante o Devoniano ocorreu em condições climáticas temperadas a frias nas proximidades de geleiras em ambientes litorâneos e marinhos pouco profundos (CUNHA, 1986). Para Caputo (1984) a ausência de indicadores climáticos sedimentares de clima quente, como carbonatos e evaporitos no Devoniano da Bacia do Parnaíba, sugere que a deposição ocorreu predominantemente em clima frio.

Figura 6 - Configuração paleogeográfica global no Mesodevônico e início do Neodevônico. Em a) o mundo no Eifeliano e em b) no Frasniano. Neste intervalo ocorre o registro dos efeitos de uma provável transgressão representada pela Formação Pimenteiras na Bacia do Parnaíba. Notar o significativo avanço das águas dos mares e oceanos sobre as linhas de costa entre as duas idades. A área em vermelho corresponde à porção aproximada que a bacia ocupava no oeste de Gondwana.



Fonte: Adaptado de Scotese (2014).



## 4 ANÁLISE DE FÁCIES E GEOMETRIA DEPOSICIONAL

### 4.1 ASPECTOS GERAIS

A sucessão siliciclástica da Formação Pimenteiras aflora principalmente em cortes de estradas, drenagens e em encostas de morros na borda leste da Bacia do Parnaíba, próximo aos municípios de Pimenteiras e Picos (Piauí). Nos sete pontos de estudo as espessuras dos afloramentos variam entre cerca de 7,5 a 57 m e com extensão lateral de até poucas centenas de metros.

Para cada ponto foi elaborado um perfil estratigráfico (Figura 9). Seções panorâmicas foram confeccionadas a partir dos afloramentos mais representativos, considerando a continuidade vertical e lateral dos estratos, de suas superfícies limitantes e as variações nos padrões de empilhamento. Com o auxílio destes foram individualizadas sete fácies sedimentares (Tabela 1), reunidas em duas associações de fácies (Tabela 2), e propostos três elementos arquiteturais (Tabela 3) para a Formação Pimenteiras.

As fácies pelíticas e arenosas possuem variações entre as cores: marrom claro a escuro, vermelho, e cinza claro a escuro. As estruturas sedimentares predominantes são as laminações plano-paralela, ondulada e cruzada e a estratificação cruzada *hummocky*. Em determinadas fácies é possível reconhecer traços fósseis.

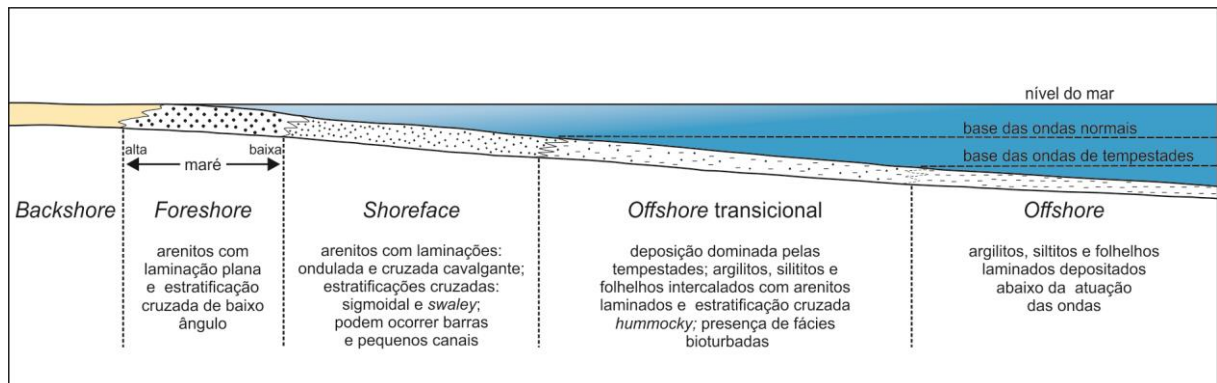
Os paleoambientes deposicionais interpretados são marinhos plataformais: *offshore* e *offshore* transicional. As características destes paleoambientes sugerem que as condições deposicionais no mar Pimenteiras foram influenciadas por constantes eventos de tempestades. As grandes tempestades têm um impacto muito grande em ambientes marinhos rasos e processos de sedimentação relacionados. Registros de tempestades são dominantes na maioria das plataformas e mares epicontinentais paleozoicos (NICHOLS, 2009).

O mar Pimenteiras compreendia um mar epicontinental, que representa grandes áreas da crosta continental cobertas pela água do mar, limitadas principalmente por massas de terra, parcialmente fechadas e ligadas por estreitos com os oceanos (JOHNSON; BALDWIN, 1996; NICHOLS, 2009).

A sedimentação em águas agitadas sob ação de ondas de tempestades era constante no mar Pimenteiras, porém alternada com sedimentação em águas tranquilas. Assim, a profundidade de atuação das ondas exerceu grande influência nas suas condições deposicionais.

Ocorre significativo aumento nas condições de energia na medida em a lâmina d'água se torna mais rasa em decorrência da atuação mais intensa das correntes e ondas que movimentam o fundo marinho. Neste trabalho foi adotada a divisão dos ambientes marinhos plataformais baseada em Reading e Collinson (1996) e Nichols (2009) (Figura 8).

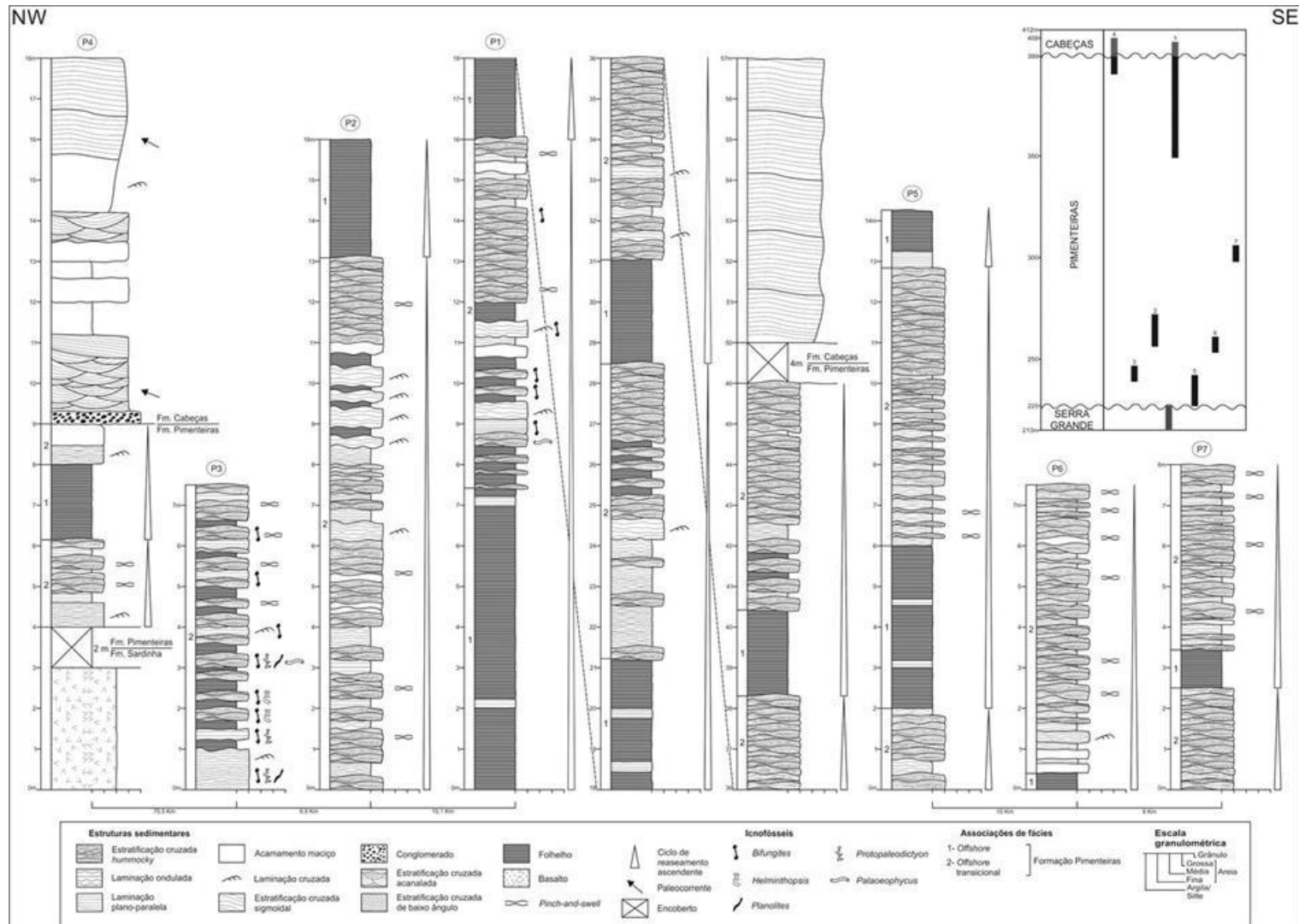
Figura 8 - Perfil esquemático de mar raso plataformais com as zonas de atuação das ondas de tempo normal e de tempestades. A profundidade de atuação das ondas delimita os ambientes deposicionais.



Fonte: Modificado de Nichols (2009).

Em dois pontos de estudo (1 e 4), o contato entre as formações Pimenteiras e Cabeças indica forte mudança litológica, marcado por fácies com origens bastante distintas. Foi observado também basalto próximo às rochas da Formação Pimenteiras, referente provavelmente à Formação Sardinha (Ponto 4).

Figura 9 - Perfis estratigráficos elaborados para a Formação Pimenteiras, borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí. O quadro à direita apresenta o posicionamento estratigráfico dos perfis, plotados de acordo com as suas cotas.



Fonte: Do autor.

Tabela 1 - Fácies da Formação Pimenteiras, borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí.

<b>Fácies</b>	<b>Descrição</b>	<b>Processo</b>
Folhelho (F)	Camadas de folhelhos lateralmente contínuas. Apresenta fissilidade.	Deposição por decantação de sedimentos finos e matéria orgânica em condições de baixa energia.
Siltito com laminação plano-paralela (Sp)	Camadas contínuas lateralmente de siltitos com laminação plano-paralela. Em raras porções a laminação grada lateralmente para ondulada.	Deposição por decantação de sedimentos finos em condições de baixa energia.
Siltito com laminação ondulada (So)	Camadas contínuas lateralmente de siltito com laminação ondulada.	Deposição por decantação de sedimentos finos em condições de baixa energia sob ação de correntes em regime de fluxo inferior.
Arenito maciço (Am)	Camadas lenticulares de arenitos muito finos a finos com acamamento maciço, ausente de estruturas internas.	Deposição de sedimentos em condições de moderada/alta energia ou posterior obliteração das estruturas primárias por processos pós-depositivos (liquefação, e/ou bioturbação).
Arenito com laminação plano-paralela (Ap)	Arenitos muito finos a finos com laminação plano-paralela. Presença de lineação de partição. Bioturbação rara.	Deposição de sedimentos por ação de fluxo unidirecional trativo em regime de fluxo superior.
Arenito com laminação ondulada e cruzada (Aoc)	Camadas de arenitos muito finos a finos contínuas lateralmente com laminação ondulada e cruzada gerada por ação de onda. Em determinadas porções ocorrem bioturbações.	Deposição de sedimentos por tração sob ação de fluxo combinado e/ou oscilatório com migração de formas de leito onduladas de pequeno porte produzida por ação de correntes/ondas.
Arenito com estratificação cruzada hummocky (Ah)	Camadas tabulares e subordinadamente lenticulares de arenitos muito finos a finos com estratificação cruzada hummocky. Possui topo e base suavemente ondulados e laminações internas onduladas com truncamentos de baixo ângulo. Espessamento vertical e adelgaçamento lateral que forma o padrão <i>pinch-and-swell</i> . Lateralmente contínuas. Topo de determinadas camadas densamente bioturbados.	Deposição de sedimentos por correntes trativas sob ação de fluxo combinado (unidirecional e oscilatório), durante ação de ondas/correntes de tempestades de grande escala em condições de alta energia, alternando-se com alta taxa de deposição de sedimentos finos por decantação relacionada ao declínio das tempestades.

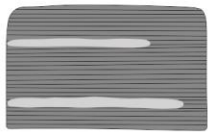
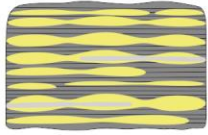
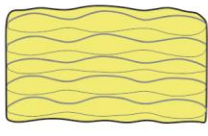
Fonte: Do autor.

Tabela 2 - Associações de fácies propostas para a Formação Pimenteiras, borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí.

Associação de Fácies- AF	Fácies	Descrição
Offshore (AF1)	F; Sp	Espessos estratos compostos majoritariamente por folhelhos. De forma restrita ocorrem siltitos com laminação plano-paralela e arenitos com estratificação cruzada <i>hummocky</i> .
Offshore transicional (AF2)	F; Sp; So; Am; Ap; Aoc; Ah	Folhelhos e siltitos (laminados e ondulados) intercalados com arenitos finos com acamamento maciço, laminação plano-paralela, laminação ondulada e cruzada e estratificação cruzada <i>hummocky</i> . Camadas de arenitos com bioturbação.

Fonte: Do autor.

Tabela 3 - Sumário dos elementos arquiteturais propostos para a Formação Pimenteiras, borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí.

Elemento arquitetural	Fácies	Descrição	Espessura relativa (%)	Espessura (m)	Extensão lateral (m)	Geometria
Conjunto tabular de folhelhos (C1)	F, Sp	Estratos tabulares de folhelhos predominantes. Siltitos lenticulares são pontuais. Limitado por superfícies planas.	30	0,4 - 8,5	40 - 200	
Conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados (C2)	F, Sp, So, Ap, Aoc, Ah	Estratos tabulares e lenticulares de folhelhos, siltitos e arenitos intercalados. Limitado por superfícies planas e onduladas.	46	0,5 - 7,5	50 - 220	
Conjunto tabular de arenitos (C3)	So, Am, Aoc, Ah	Estratos tabulares de arenitos predominantes. Siltitos são lenticulares. Limitado por superfícies planas e onduladas.	24	0,3 - 4,3	50 - 220	

Fonte: Do autor.

## 4.2 ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIS

As análises fácies e de elementos arquiteturais consistem em procedimentos que se complementam para o entendimento das relações genéticas entre as fácies sedimentares, além de fornecer informações para se analisar a geometria dos depósitos.

### 4.2.1 *Offshore* (AF1)

A associação de *offshore* (AF1) é composta pelas fácies: Folhelho (F) e Siltito com laminação plano-paralela (Sp). Os depósitos de *offshore* alcançam até 8,5 m de espessura nos afloramentos estudados. A AF1 forma exposições lateralmente contínuas de até pelo menos 200 m, onde predomina a fácies F, com níveis estratigráficos restritos em que ocorrem intercalações desta com a fácies Sp (Pontos 1 e 5).

As fácies F e Sp foram depositadas em condições de baixa energia, em águas tranquilas no ambiente de *offshore*, situado na porção da plataforma abaixo do nível base das ondas de tempestades (READING; COLLINSON, 1996; NICHOLS, 2009). O ambiente de *offshore* é predominantemente uma região de deposição de argilas (NICHOLS, 2009).

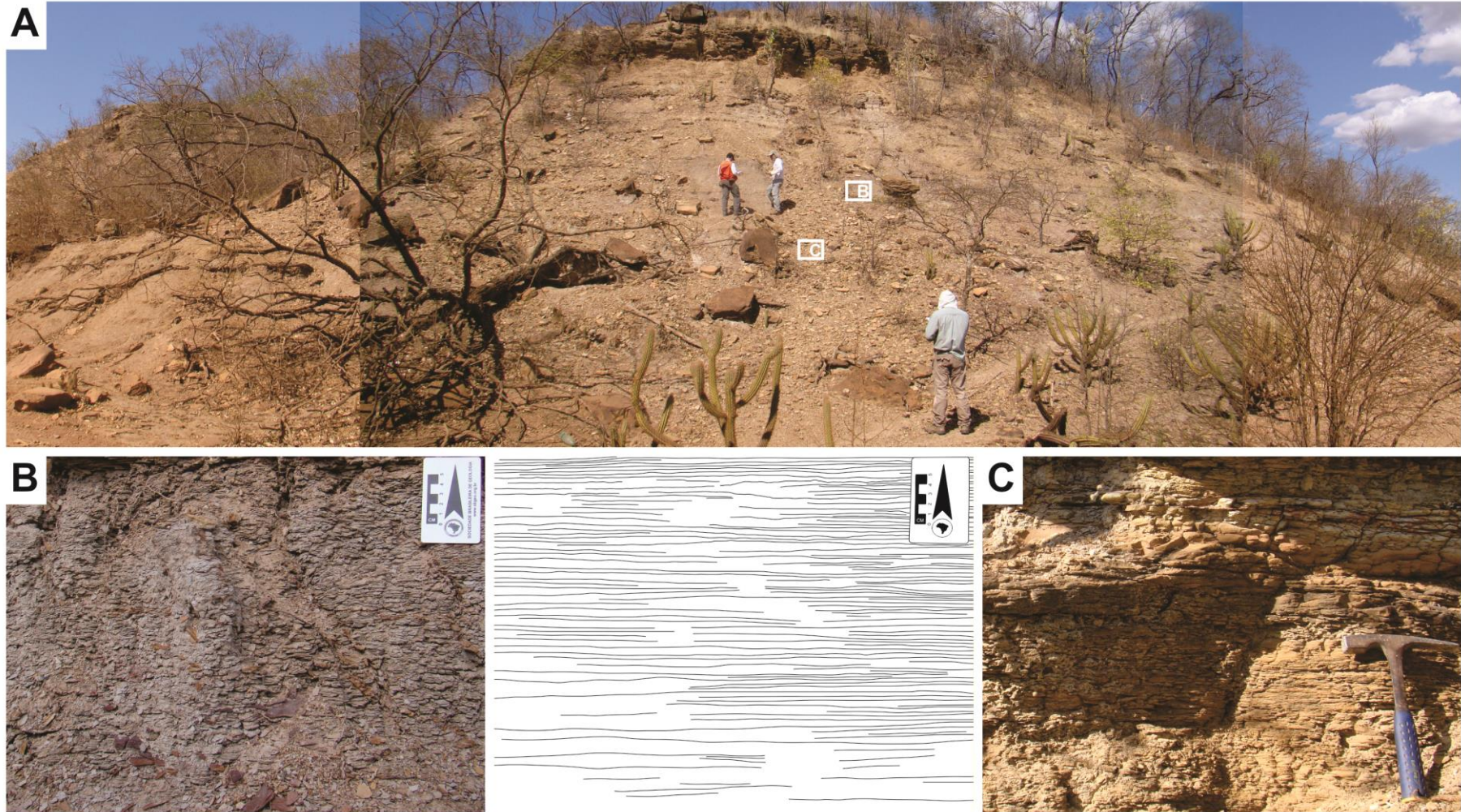
Na AF1, a deposição em caráter de baixa energia de sedimentos finos e matéria orgânica ocorreu em águas tranquilas e relativamente profundas. Os folhelhos de cor cinza sugerem a presença de matéria orgânica que foi depositada junto com as argilas, em virtude desta porção do leito marinho ter sido relativamente pouco oxigenada, o que é uma característica do *offshore* plataformal (NICHOLS, 2009).

Os depósitos de *offshore* possuem grande continuidade lateral relacionada aos folhelhos, que são dominantes (Figura 10 A e B). Os siltitos ocorrem como lentes nos folhelhos e possuem extensão lateral limitada a cerca de 30 m (Figura 10 C). A AF1 marca o início dos ciclos de raseamento ascendente e ocorre em contato com a associação de *offshore* transicional (AF2) no ponto 5 (Figura 11).

Considerável intervalo de tempo com estabilidade hidrodinâmica em condições de baixa energia no mar Pimenteiras se fez necessário para a acumulação de sedimentos finos e matéria orgânica precursores dos folhelhos e siltitos. Isto implicava em certa manutenção na profundidade da lâmina d'água para que não ocorressem perturbações no leito do mar em decorrência de atuação de

fluxos trativos gerados por tempestades. Johnson e Baldwin (1996) afirmam que no registro geológico marinho raso as fácies características de *offshore*, como argilitos e folhelhos, se preservaram em grandes áreas epicontinentais em resposta a aumentos eustáticos no nível do mar.

Figura 10 - Depósitos de *offshore* da Formação Pimenteiras. A) Porção de afloramento em encosta de morro (Ponto 1) composto por espessas camadas tabulares de folhelhos e camada lenticular de siltito; B) Fácies folhelho com cor cinza que indica matéria orgânica preservada. Ao lado destaque para as laminações contínuas e descontínuas desta fácies; C) Detalhe da fácies siltito com laminação plano-paralela.



Fonte: Do autor.

Figura 11 - Porção de afloramento em encosta de morro (Ponto 5) que exhibe o contato (linha tracejada) entre os depósitos de *offshore* (AF1) e de *offshore* transicional (AF2).



Fonte: Do autor.

#### 4.2.1.1 Conjunto tabular de folhelhos (C1)

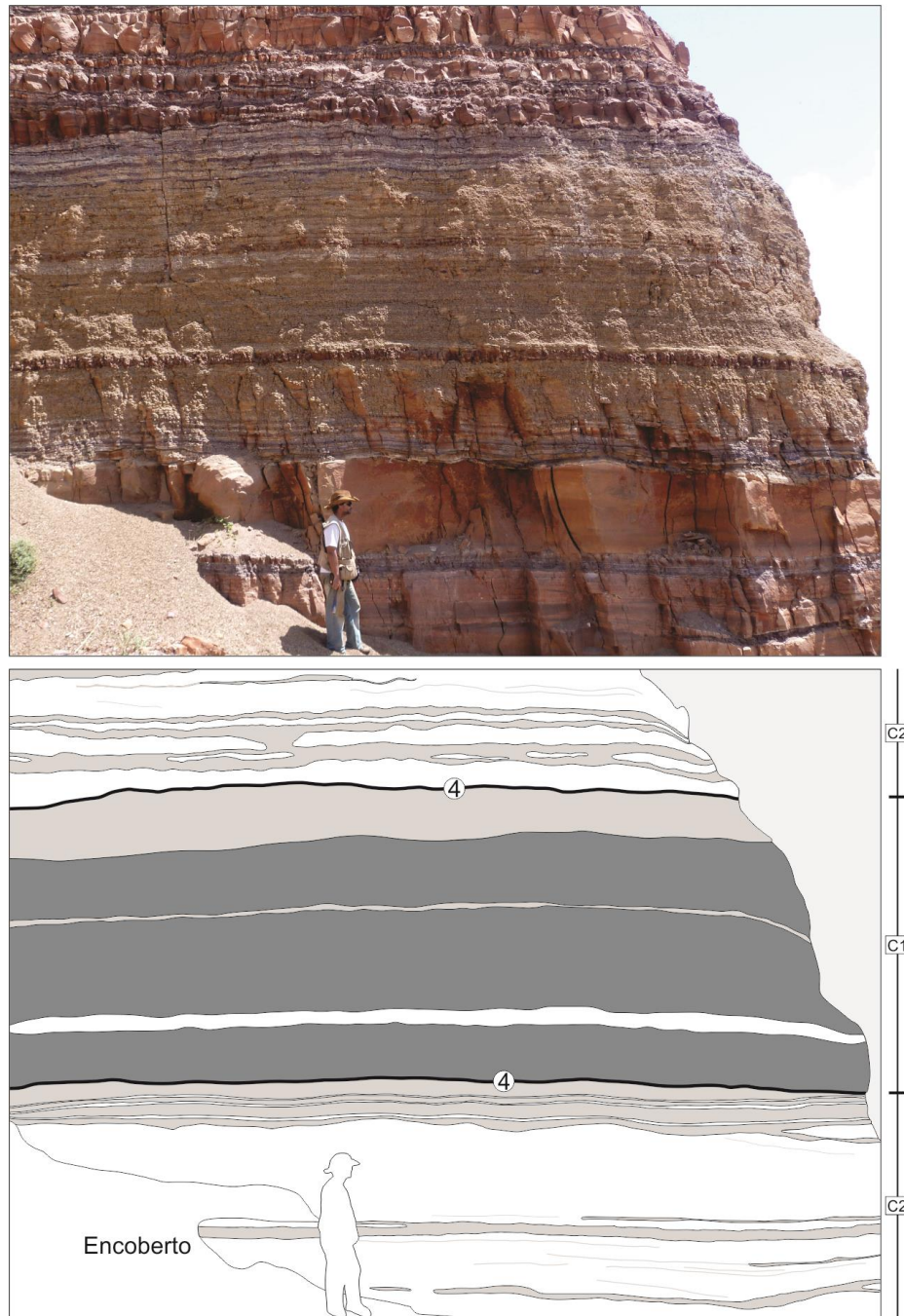
Na análise dos elementos arquiteturais as superfícies limitantes dos estratos foram interpretadas como de 3ª e 4ª ordens. As superfícies de 3ª ordem representam mudanças na velocidade do fluxo, separando camadas que se acumularam durante poucos anos até poucas dezenas de anos. As superfícies de 4ª ordem representam os limites dos elementos arquiteturais definidos, os separando acima e abaixo delas, indicando que o crescimento da forma terminou devido a mudanças no ambiente deposicional.

A associação de *offshore* perfaz o elemento arquitetural conjunto tabular de folhelhos (fácies F e Sp), com espessura em torno de 0,4 - 8,5 m. Em termos litológicos apresenta cerca de 96% de folhelhos e 4% de siltitos. O elemento C1 representa aproximadamente 30% da espessura relativa total da sucessão sedimentar estudada da Formação Pimenteiras. Ele é formado sobretudo por estratos da fácies F com geometria tabular. Em porções localizadas apresenta estratos com geometria lenticular da fácies Sp.

Os limites inferior e superior do elemento são definidos por superfícies de 4ª ordem com geometria plana (Figura 12). Tais superfícies possuem extensão lateral que podem atingir 200 m e delimitam os contatos com os demais elementos. As superfícies de 3ª ordem possuem geometria plana e levemente ondulada, com

extensão lateral de algumas dezenas de metros. Estas exibem os contatos entre as camadas das fácies F e Sp.

Figura 12 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras. Afloramento em encosta de morro (Ponto 5) com o elemento arquitetural conjunto tabular de folhelhos - C1 - limitado por superfícies de 4ª ordem (4) nas porções inferior e superior do elemento arquitetural conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2.



Fonte: Do autor.

#### 4.2.2 *Offshore* transicional (AF2)

A associação de *offshore* transicional (AF2) é constituída pelas fácies: Folhelho (F), Siltito com laminação plano-paralela (Sp), Siltito com laminação ondulada (So), Arenito maciço (Am), Arenito com laminação plano-paralela (Ap), Arenito com laminação ondulada e cruzada (Aoc) e Arenito com estratificação cruzada *hummocky* (Ah). A AF2 atinge até cerca de 7,5 m de espessura e é contínua lateralmente até aproximadamente 220 m nos afloramentos estudados. Na AF2 ocorre expressiva intercalação entre as fácies pelíticas e arenosas, muitas das quais com poucos centímetros de espessura (Figura 13).

Os depósitos plataformais de *offshore* transicional se situam abaixo do nível base de atuação das ondas normais e acima do nível base de atuação das ondas de tempestades (READING; COLLINSON, 1996; NICHOLS, 2009). A sedimentação é fortemente influenciada por fluxos de alta energia e também por sedimentação por decantação em águas tranquilas. Nos períodos entre os eventos de tempestades, a zona de *offshore* transicional é uma área de deposição de argilas a partir de suspensão (NICHOLS, 2009).

As fácies F, Sp, So foram depositadas em condições de baixa energia pela decantação de sedimentos finos e matéria orgânica em águas tranquilas. As fácies Am, Ap, Aoc e Ah (Figura 14) foram depositadas em condições de moderada a alta energia, associadas à ação de fluxos unidirecionais e oscilatórios trativos gerados por ondas/correntes de tempestades (JOHNSON; BALDWIN, 1996). Oito medidas de paleocorrentes foram obtidas a partir da inclinação das laminações cruzadas da fácies Aoc e apresentam sentido para NW (moda de 280° Az).

A ocorrência de eventos de tempestades é indicada principalmente pela presença da fácies Ah (gerada por fluxo combinado), que ocorre com frequência na AF2. Em determinados níveis estratigráficos a fácies Ah predomina e representa a maior proporção da sucessão sedimentar (Figura 15 A), com as fácies Am e Aoc ocorrendo subordinadamente e a fácies So ocorrendo em delgadas camadas, geralmente recobrando as camadas da fácies Ah (Figuras 15 B e C).

Os limites de *sets* em determinadas porções estão obliterados pela amalgamação das camadas de arenitos (Figuras 15 D e 16), que consiste na superposição de camadas formadas em diferentes eventos (DELLA FÁVERA, 2008), o que é comum em paleoambiente de *offshore* transicional (JOHNSON; BALDWIN, 1996). As fácies Am e Ah exibem espessamento e adelgaçamento lateral que

compõe o padrão do tipo *pinch-and-swell*, que é característico da atuação oscilatória de ondas (DE RAFF; BOERSMA; GELDER, 1977).

As condições de fluxo combinado variam durante as tempestades em sentido e em energia de suas componentes oscilatória e unidirecional e tais características podem ter gerado a fácies Aoc associada com a diminuição da energia do fluxo combinado e predominância do fluxo oscilatório durante o declínio de energia das ondas nos momentos finais das tempestades e a fácies Ap relacionada à predominância do fluxo unidirecional (MYROW; SOUTHARD, 1996). A fácies Am está relacionada possivelmente com rápida sedimentação de areias.

As fácies pelíticas são predominantemente tabulares e em menor proporção ocorrem como lentes. As fácies arenosas ocorrem da mesma forma, em estratos tabulares e em menor proporção lenticulares (Figura 17).

Traços fósseis foram observados nos depósitos de *offshore* transicional e reconhecidos nas fácies Ap, Aoc e Ah. Os cinco icnogêneros: *Bifungites*, *Helminthopsis*, *Protopaleodictyon*, *Palaeophycus* e *Planolites* (Figura 18) foram identificados a partir da comparação com trabalhos recentes (AGOSTINHO; VIANA; FERNANDES, 2004; AGOSTINHO *et al.*, 2012; SILVA; DOMINATO; FERNANDES, 2012; CUNHA, 2015), ambos realizados em afloramentos da Formação Pimenteiras na mesma região deste trabalho. O traço mais frequente nos pontos estudados é o *Bifungites*, que é sempre associado a ambiente marinho raso (RODRIGUEZ; GUTSCHICK, 1970 *apud* AGOSTINHO *et al.*, 2012).

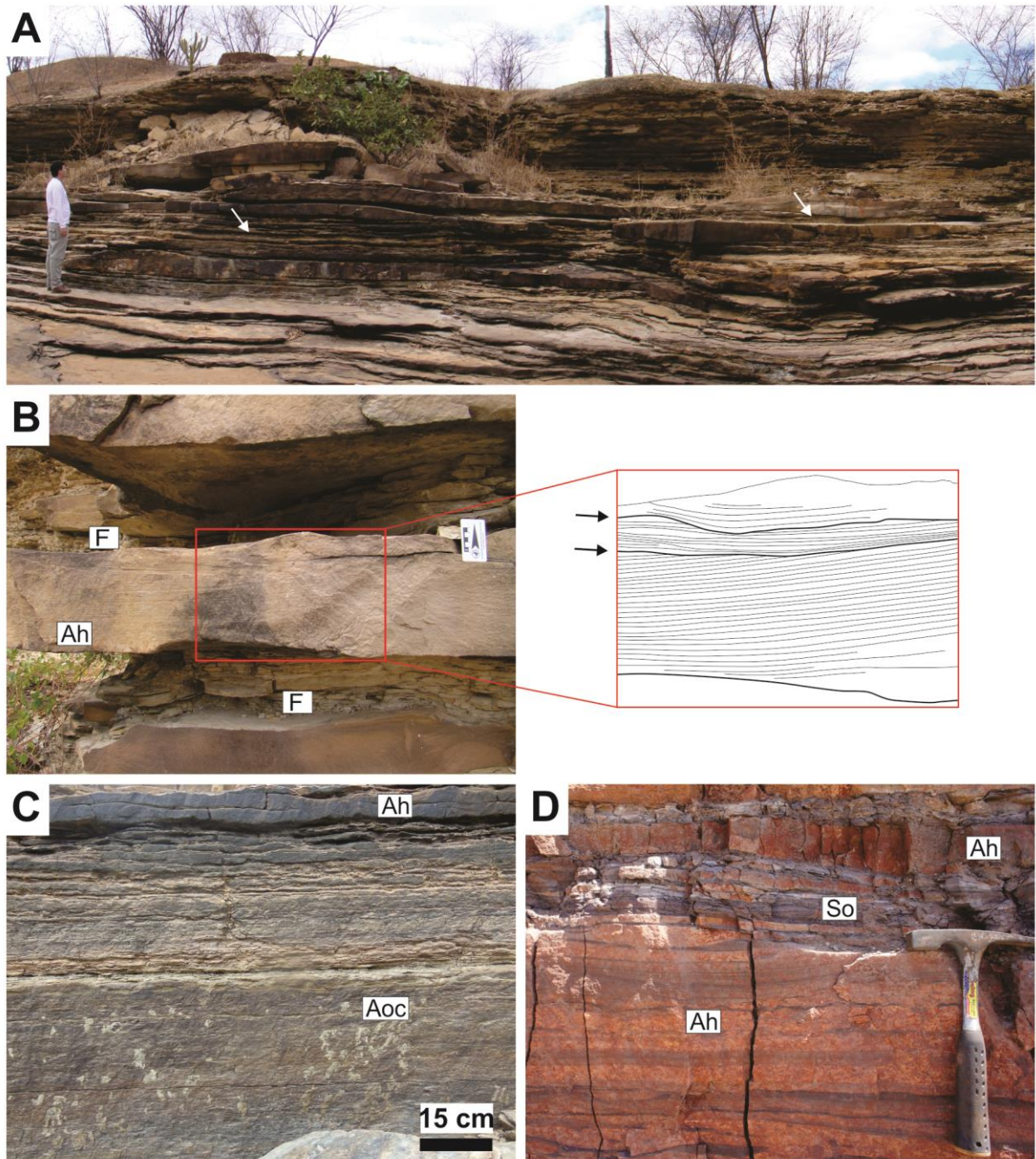
O trabalho de Cunha (2015) classifica quinze icnogêneros e entre eles os cinco aqui citados. O *Bifungites* é atribuído à icnofácies *Skolithos*, que corresponde a ambientes marinhos rasos de alta energia dominados por ondas. Os icnogêneros *Planolites*, *Palaeophycus*, *Helminthopsis* e *Protopaleodictyon* são associados à icnofácies *Cruziana*, relacionada a ambientes litorâneos e marinhos rasos a profundos. Estes icnogêneros são posicionados a partir de suas respectivas icnofácies na porção plataformal de *offshore* transicional (CUNHA, 2015). Tais características contribuem para a melhor definição do paleoambiente de *offshore* transicional, com icnofósseis característicos da transição entre condições de mar raso a profundo.

Desta forma, os depósitos de *offshore* transicional são caracterizados por variações nas condições ambientais entre baixa e alta energia (JOHNSON; BALDWIN, 1996). Períodos de alta energia são relacionados com a deposição de

areias em eventos de tempestades, que geraram ondas/correntes e afetaram o leito marinho a grandes profundidades. De acordo com Nichols (2009), as ondas de tempestades poderiam originar a estratificação cruzada *hummocky* em profundidades de 20 a 50 m ou mais. Os períodos de baixa energia são referentes aos momentos de paradas das tempestades durante o tempo normal, em condições de estabilização hidrodinâmica no mar Pimenteiras, que favoreceram a deposição de sedimentos finos em águas tranquilas. A alternância entre tais condições de energia deposicional define o paleoambiente de *offshore* transicional, o que é registrado na constante repetição vertical entre as fácies pelíticas e arenosas.

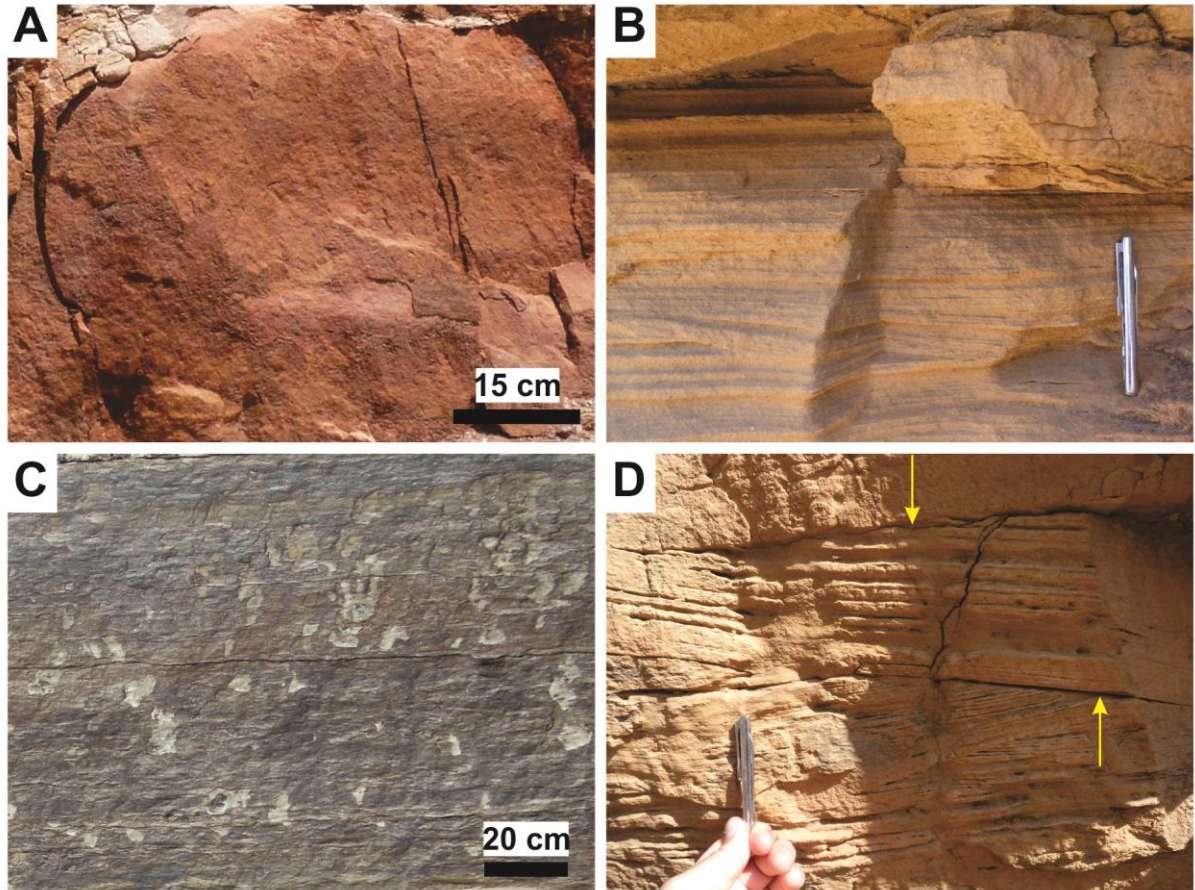
A presença das bioturbações nos arenitos da AF2 indica que o substrato do mar Pimenteiras apresentava níveis oxigenados, com nutrientes capazes de manter a vida de organismos. As bioturbações evidenciam também períodos de pausa nas tempestades, onde a energia no ambiente marinho diminuía, assim como as taxas de sedimentação, o que possibilitou a proliferação de determinados traços fósseis (GINGRAS; MACEACHERN; DASHTGARD, 2011).

Figura 13 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) Afloramento na margem do rio Sambito (Ponto 3) composto por intercalações de camadas tabulares das fácies F, Ap, Aoc e Ah. Setas indicam camadas da fácies Folhelho (F) intercaladas aos arenitos sensivelmente mais espessos que se estendem lateralmente por até 200 m; B) Fácies (F) intercalada com a fácies Arenito com estratificação cruzada *hummocky* (Ah). Detalhe à direita das laminações internas levemente onduladas da fácies Ah com setas indicando porções onde ocorrem truncamentos com ângulos menores do que aproximadamente  $10^\circ$ ; C) Fácies arenito com laminação ondulada e cruzada (Aoc) associada com a fácies Ah (Ponto 3); D) Fácies Ah associada com a fácies siltito com laminação ondulada (So) (Ponto 5).



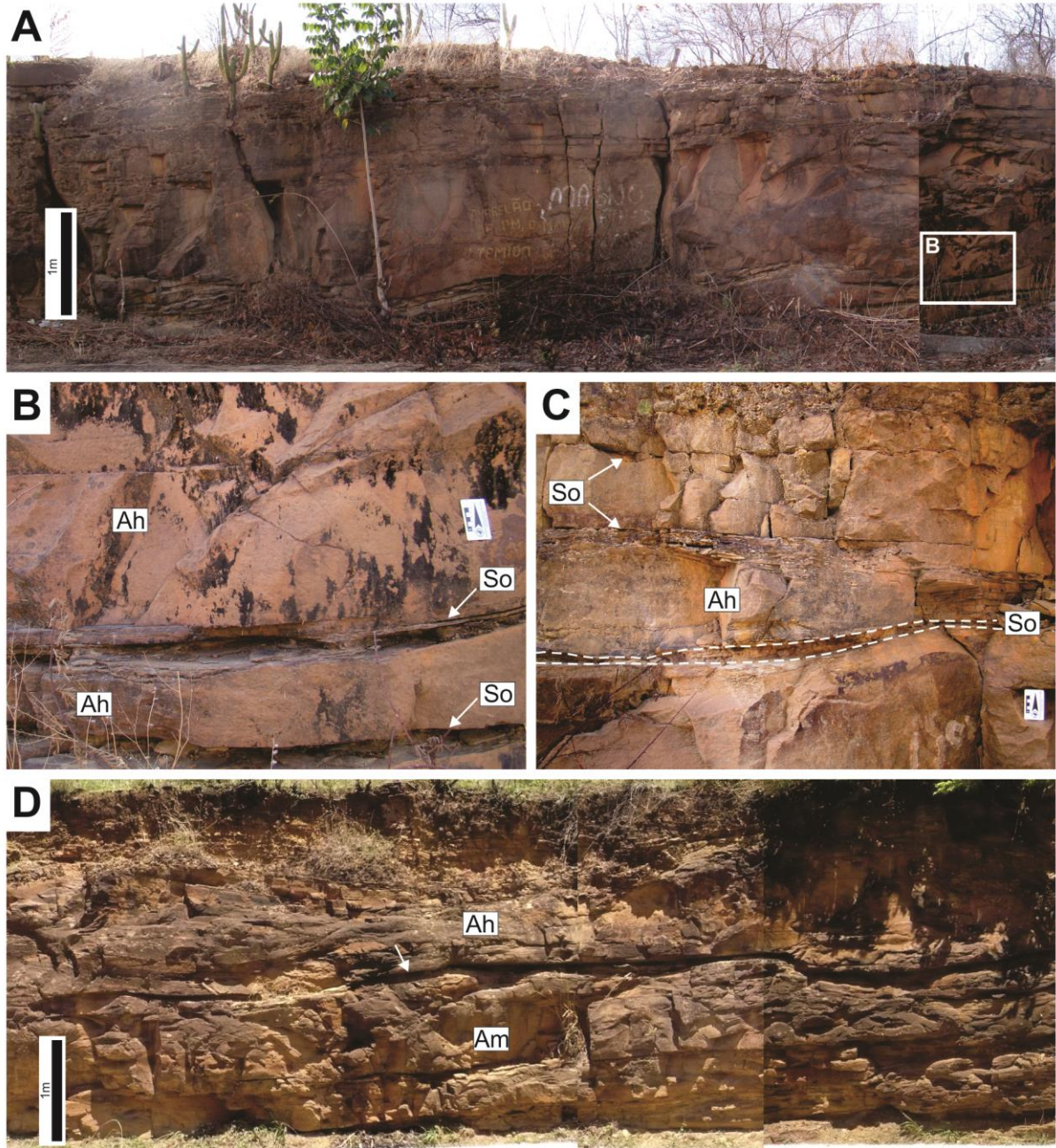
Fonte: Do autor.

Figura 14 - Fácies dos depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) Arenito maciço; B) Arenito com laminação plano-paralela; C) Arenito com laminação ondulada e cruzada; D) Arenito com estratificação cruzada hummocky com laminações internas truncantes e mergulhos suaves indicadas pelas setas.



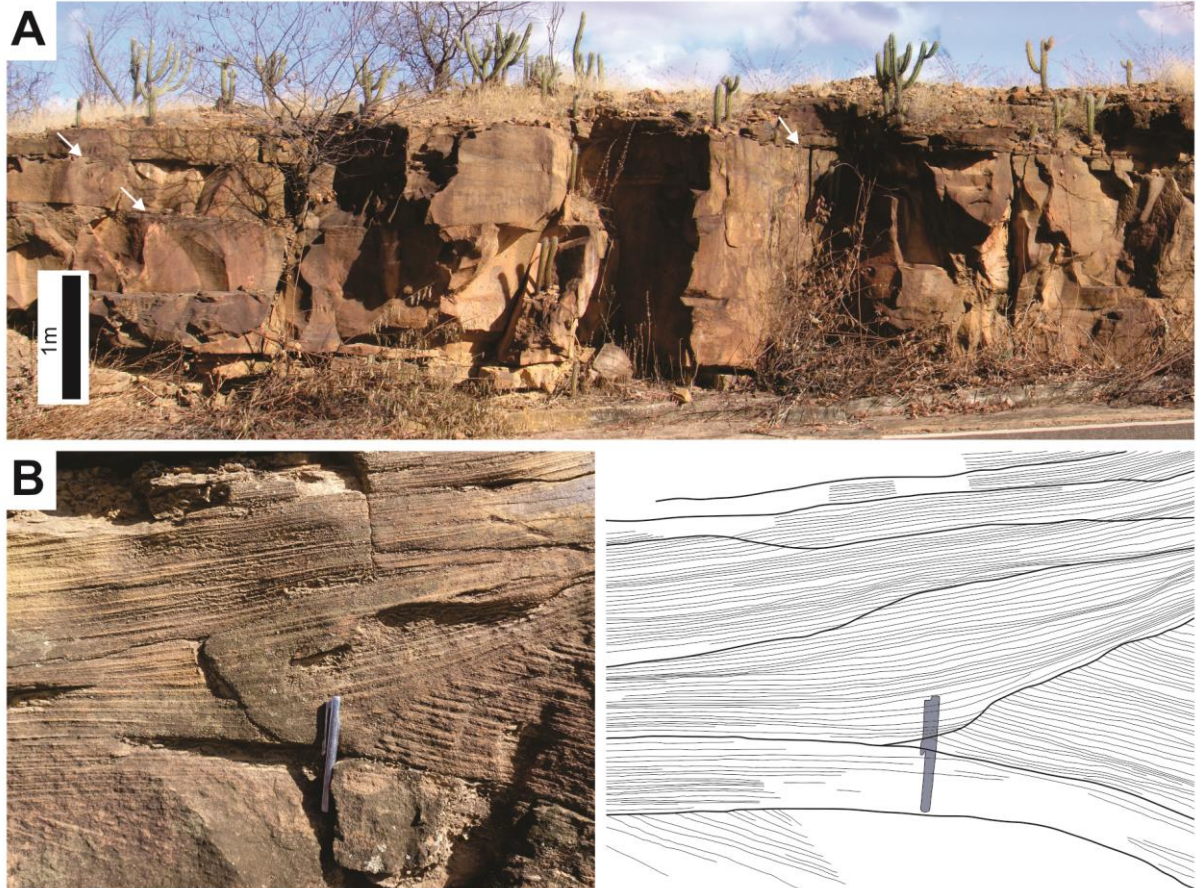
Fonte: Do autor.

Figura 15 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) Afloramento em corte de estrada com espessos estratos da AF2 com predominância da fácies Arenito com estratificação cruzada *hummocky* (Ah) (Ponto 2); B) e C) Detalhes das delgadas camadas da fácies Silito com laminação ondulada (So) (setas) intercaladas à fácies Ah; D) Porção de afloramento em corte de estrada (Ponto 7) com camadas bastante amalgamadas das fácies Ah e Arenito maciço (Am). Setas indicam recobrimento pela fácies So.



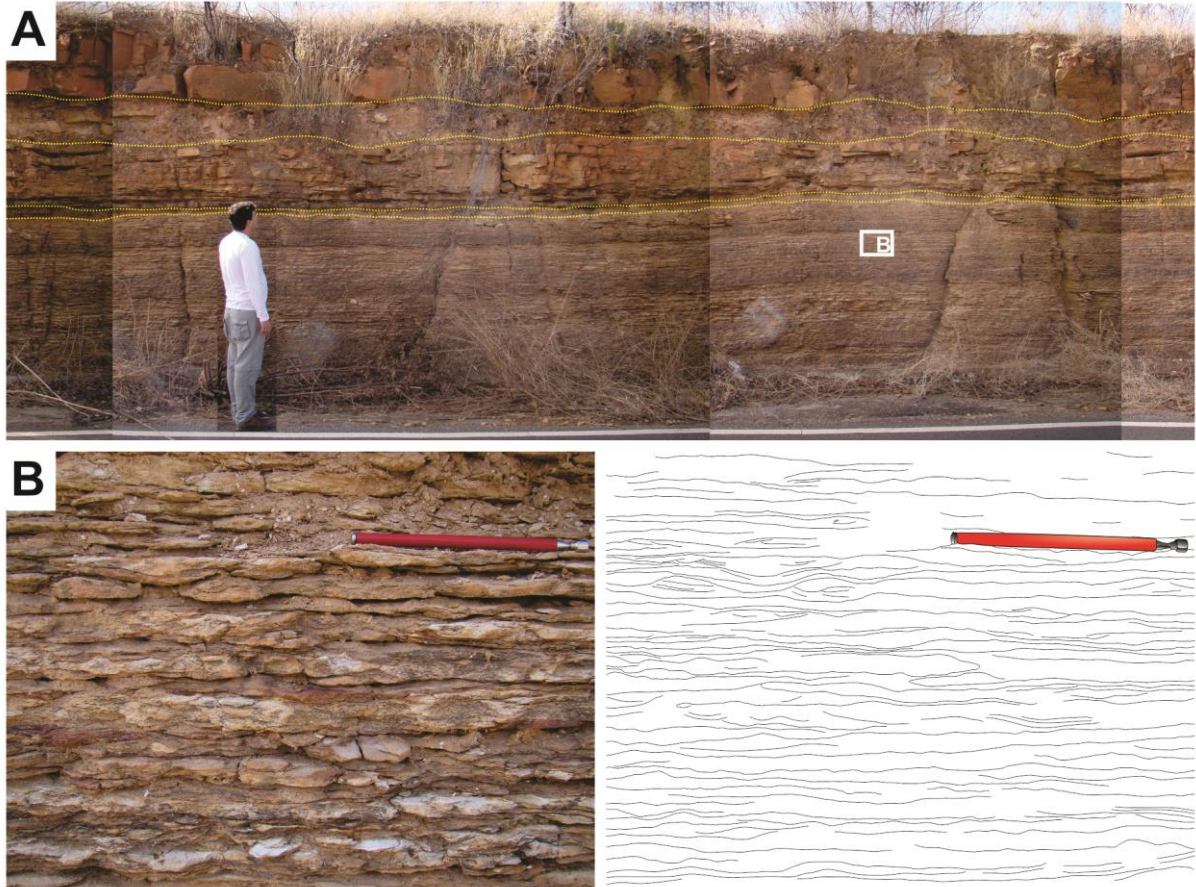
Fonte: Do autor.

Figura 16 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras (continuação). A) Afloramento em corte de estrada (Ponto 2) com camadas intensamente amalgamadas das fácies Ah e Am. Setas indicam delgadas camadas da fácies So; B) Fácies arenito com estratificação cruzada *hummocky* e ao lado destaque das laminações internas que apresentam mergulhos suaves. Em diversas porções ocorrem os característicos truncamentos e terminações de baixo ângulo entre as laminações.



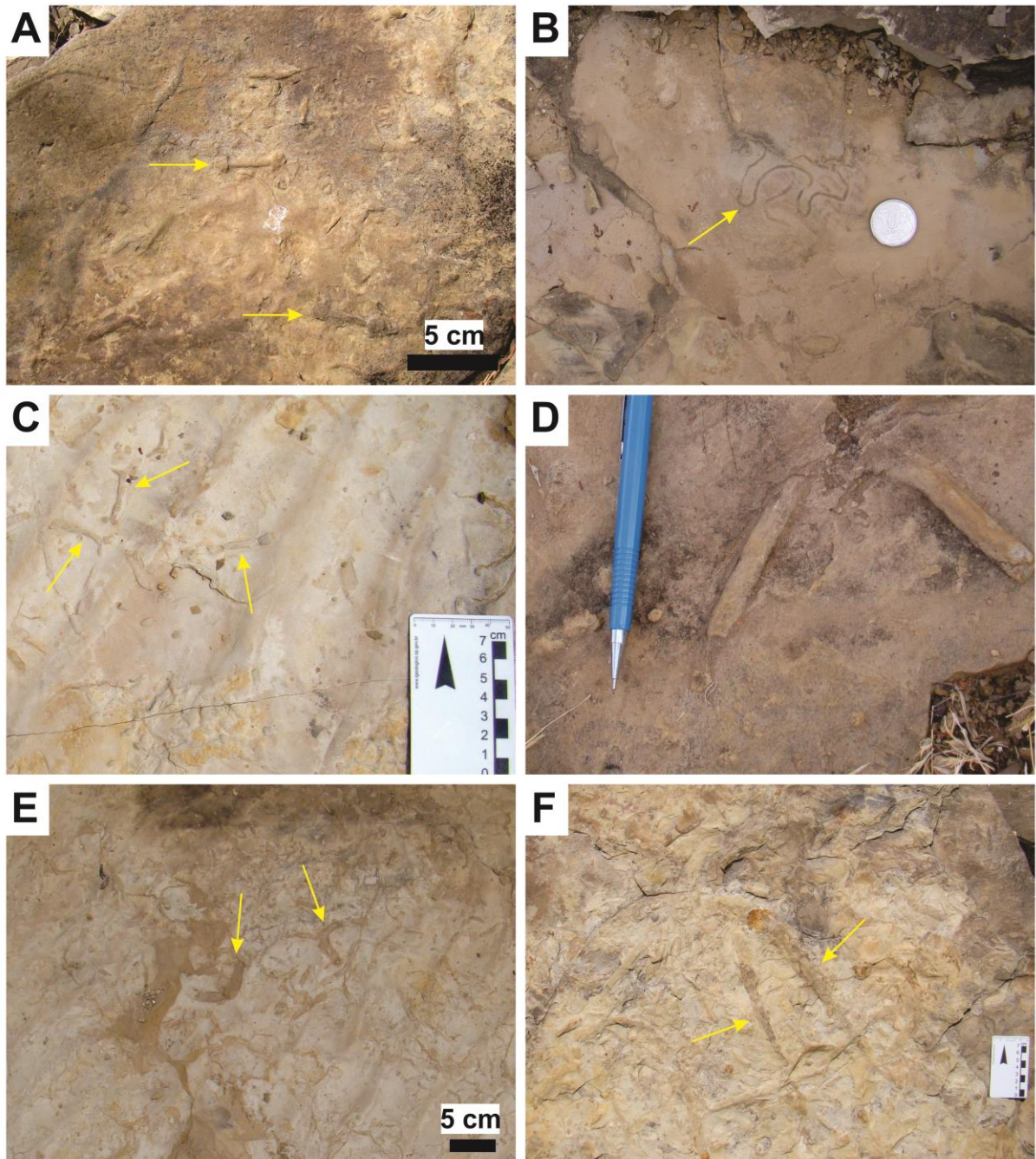
Fonte: Do autor.

Figura 17 - Depósitos de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras (continuação). A) Afloramento em corte de estrada (Ponto 2) com camadas tabulares da fácies Ah associadas com camadas também tabulares da fácies So, algumas destas delimitadas por linhas tracejadas; B) Detalhe da fácies Ah com comprimento de onda de poucos centímetros, intercalada continuamente com delgadas camadas da fácies So.



Fonte: Do autor.

Figura 18 - Icnogêneros identificados na associação de *offshore* transicional da Formação Pimenteiras. A) *Bifungites* indicados pelas setas com corpos retilíneos e extremidades com terminações globulares na fácies Ah; B) *Helminthopsis* com traço meandrante irregular (seta) de preenchimento maciço e parede externa lisa na fácies Ah; C) *Protopaleodictyon* com traços em meandros de primeira e segunda ordem em epirrelevo positivo indicados pelas setas na fácies Aoc; D) Traço cilíndrico com preenchimento maciço associado ao icnogênero *Palaeophycus* na fácies Ah; E) Traços em forma de escavações meandrantas indicados pelas setas com tonalidade diferente da cor da fácies Aoc e paredes lisas, atribuídos ao icnogênero *Planolites*; F) Escavações retilíneas e paredes lisas na fácies Ah relacionadas ao icnogênero *Planolites* (setas).



Fonte: Do autor.

#### 4.2.2.1 Conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados (C2)

A associação de *offshore* transicional compreende o elemento arquitetural conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados ( fácies: F, Sp, So, Ap, Aoc e Ah). Este elemento possui aproximadamente entre 0,5 - 7,5 m de espessura. Litologicamente é formado por cerca de 45% de arenitos, 30% de siltitos e 25% de folhelhos. Representa em torno de 46% da espessura relativa total da sucessão sedimentar da Formação Pimenteiras, composto por estratos com geometria tabular e lenticular de folhelhos, siltitos e arenitos, ambos intercalados.

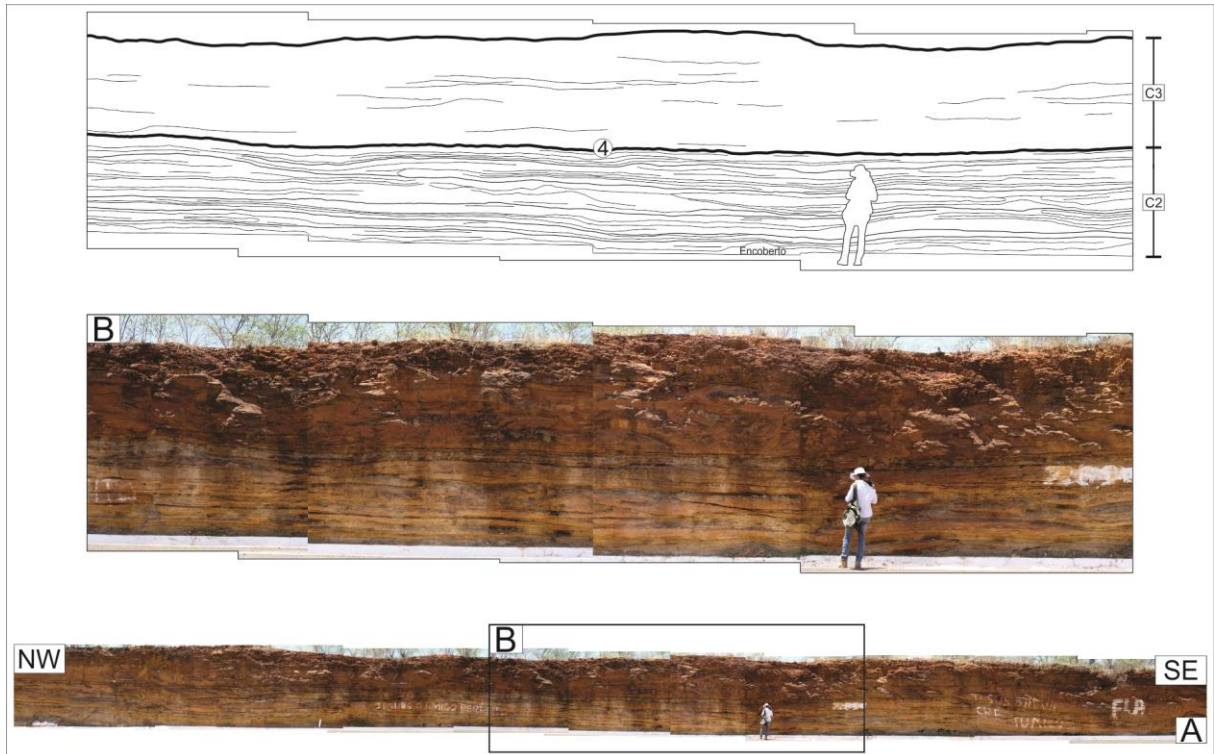
O elemento C2 possui os limites inferior e superior com os demais delimitados por superfícies de 4ª ordem com geometria plana e ondulada (Figuras 19 e 20). A geometria plana destas superfícies ocorre limitando a porção superior do elemento realizada pela fácies F, já a geometria ondulada ocorre quando o elemento é limitado pelas fácies So e Ah. As superfícies de 4ª ordem são extensas lateralmente por até cerca de 220 m. As superfícies limitantes de 3ª ordem possuem as geometrias plana e ondulada. A extensão lateral destas é de poucos metros quando limitam lentes das fácies pelíticas e arenosas (geometria ondulada), e até em torno de 200 m quando limitam as camadas tabulares destas fácies (geometria plana).

#### 4.2.2.2 Conjunto tabular de arenitos (C3)

A associação de *offshore* transicional inclui também o elemento arquitetural conjunto tabular de arenitos ( fácies: So, Am, Aoc e Ah), com aproximadamente 0,3 - 4,3 m de espessura. Em relação à litologia possui em média 94% de arenitos e 6% de siltitos. O elemento C3 representa cerca de 24% da espessura relativa total da sucessão sedimentar da Formação Pimenteiras. Ele é formado principalmente por estratos com geometria tabular.

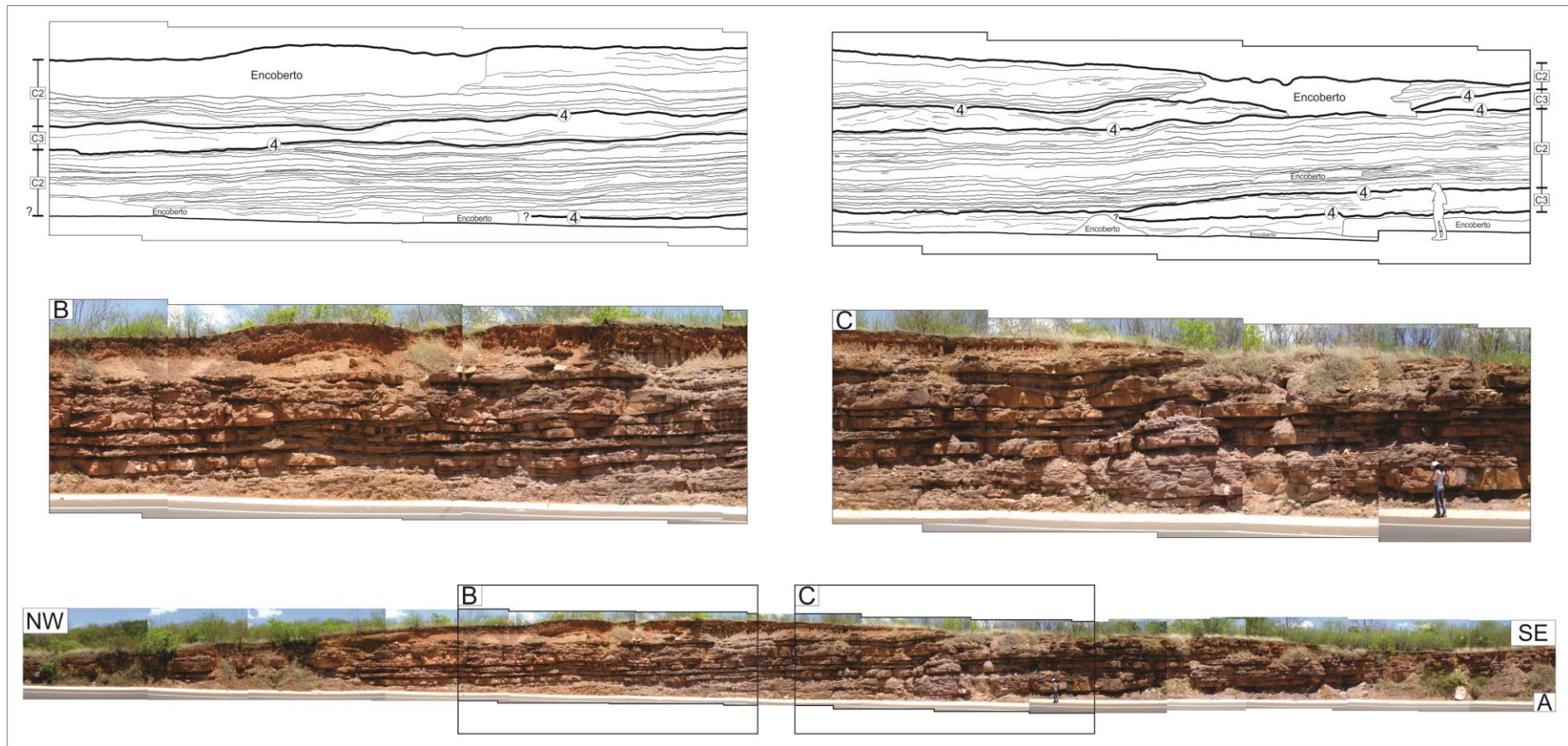
As superfícies de 4ª ordem delimitam o elemento C3 nas porções inferior e superior (Figuras 19, 20 e 21). Estas superfícies apresentam geometria plana e ondulada e ocorrem nos limites do elemento marcado pela fácies Ah em vários níveis estratigráficos. Tais superfícies são extensas lateralmente por até cerca de 220 m. As superfícies limitantes de 3ª ordem possuem geometria irregular (bastante descontínuas), restritas em extensão lateral a poucas dezenas de metros e delimitam as camadas da fácies So, Am e Aoc. Estas superfícies ocorrem em proporção muito menor quando se compara sua ocorrência neste e nos demais elementos arquiteturais. Isto sugere poucas variações nas condições ambientais.

Figura 19 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras. A) Seção panorâmica em afloramento de corte de estrada (Ponto 7); B) Depósitos de *offshore* transicional com os elementos arquiteturais: conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2 - e conjunto tabular de arenitos - C3. Estes são separados por uma superfície de 4ª ordem (4) e as superfícies limitantes internas de cada um são de 3ª ordem.



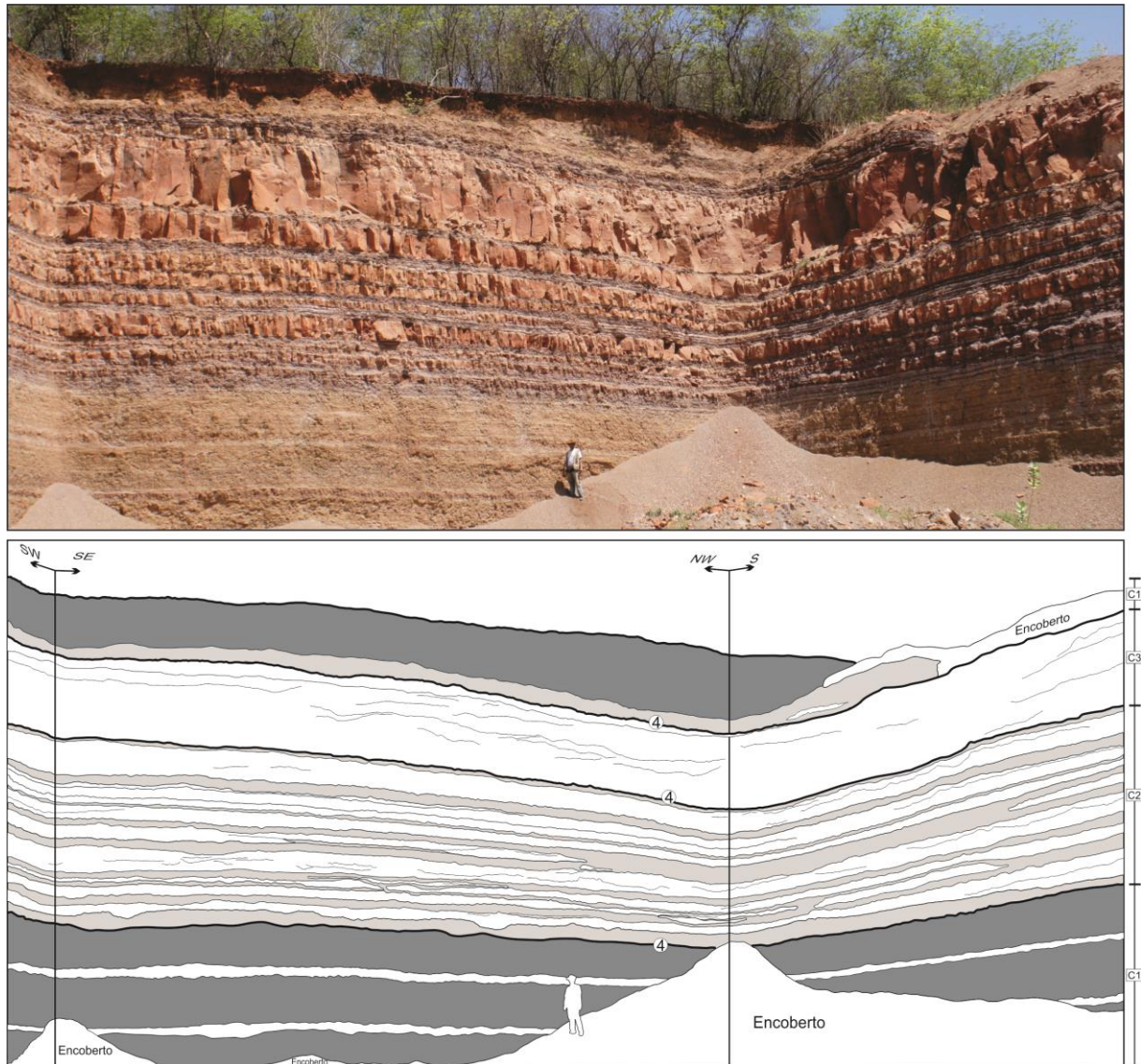
Fonte: Do autor.

Figura 20 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras (continuação). A) Seção panorâmica em afloramento de corte de estrada (Ponto 6); B) e C) Porções mais representativas das quais foram extraídas e hierarquizadas as superfícies limitantes e delimitados os elementos arquiteturais. Estas porções compõem os elementos arquiteturais da associação de *offshore* transicional: conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2 - e conjunto tabular de arenitos - C3. Estes são separados por superfícies de 4ª ordem (4) e as superfícies limitantes internas de cada um são de 3ª ordem.



Fonte: Do autor.

Figura 21 - Geometria deposicional da Formação Pimenteiras (continuação). Afloramento em encosta de morro (Ponto 5) com excelentes exposições dos elementos arquiteturais e associações de fácies definidas. Estes compõem um ciclo de raseamento ascendente completo, que da base para o topo apresenta: conjunto tabular de folhelhos - C1, conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados - C2, e conjunto tabular de arenitos - C3. O ciclo se reinicia para o topo da seção panorâmica com os depósitos de *offshore* - C1. Os elementos arquiteturais são separados por superfícies limitantes de 4ª ordem (4). As superfícies internas de cada elemento são de 3ª ordem.



Fonte: Do autor.

## 5 PALEOAMBIENTE E MODELO DEPOSICIONAL

A Formação Pimenteiras é interpretada como paleoambiente de plataforma rasa dominada por tempestades por diversos autores (LIMA; LEITE 1978; CUNHA, 1986; GÓES; FEIJÓ, 1994; SILVA *et al.*, 2003; VAZ *et al.*, 2007; SANTOS; CARVALHO, 2009), entretanto propostas de definições de paleoambientes mais precisos do mar plataformar com o uso da metodologia de análise de fácies são raros (DENCK, 2009; CUNHA, 2015).

As análises de fácies e de elementos arquiteturais permitiram as definições de sete fácies sedimentares para a Formação Pimenteiras, reunidas nas associações de: *offshore* (AF1) e *offshore* transicional (AF2), que compõem os depósitos do mar epicontinental (Figura 22).

O aumento médio das temperaturas no início do Mesodevoniano possivelmente provocou eventos transgressivos de caráter global com o derretimento do gelo dos pólos e próximos a estes e influenciou a sedimentação no supercontinente Gondwana. A deposição no sistema marinho plataformar que se instalou na Bacia do Parnaíba entre o Mesodevoniano e início do Neodevoniano ocorreu provavelmente em águas frias, sob clima temperado a frio e em altas latitudes no oeste de Gondwana, que se localizava próximo ao pólo sul (SCOTSE, 2014).

No Mesodevoniano, o evento transgressivo provavelmente foi o responsável por provocar variações relativas no nível do mar e conseqüentemente nas condições de energia do mar Pimenteiras, que propiciou a deposição de sedimentos em águas profundas e tranquilas, assim como em águas mais rasas e sob ação intensa de fluxos combinados gerados por tempestades (DENCK, 2009). Altas taxas de sedimentação estão associadas aos fluxos combinados de alta energia. Quando a energia do ambiente diminuía durante as paradas das tempestades, em condições de tempo normal, a taxa de sedimentação também decrescia e predominava a decantação de finos.

Modificações no nível relativo do mar geram efeitos sobre a sedimentação em uma plataforma rasa. Nichols (2009) considera que um aumento no nível relativo do mar em torno de 20 m perto da costa resultaria em uma mudança de deposição em *shoreface* influenciado por ondas de tempestades para sedimentação em *offshore* transicional. Por outro lado, uma queda no nível relativo do mar na zona de *offshore*

transicional poderia ter o efeito oposto e resultar em águas mais rasas, e esta passaria a ser uma zona de *shoreface*.

Então, as variações relativas no nível do mar provavelmente geraram a ciclicidade verificada nos estratos da Formação Pimenteiras, que registra um padrão de empilhamento retrogradante-progradante. Este padrão compõe ciclos de raseamento ascendente (*shallowing upward*) e cada um destes representa uma parassequência. As parassequências correspondem a ciclos de 4ª ordem (VAN WAGONER *et al.*, 1987, *apud* SEVERIANO RIBEIRO, 2001) com duração de até 1 milhão de anos. O início de cada parassequência no sentido de Posamentier *et al.* (1988, *apud* WALKER, 1992) corresponde a uma superfície de inundação marinha, que sugere abrupto aumento da profundidade do mar.

De acordo com Walker e Plint (1992) e Nichols (2009) caso ocorra um fornecimento constante de sedimentos para a plataforma, estes se acumulam em camadas sobre o leito do mar e a água se torna rasa. Assim, porções da plataforma que anteriormente estavam abaixo da base das ondas de tempestades (*offshore*) experimentam os efeitos destas e tornam-se parte da zona de *offshore* transicional. Da mesma forma a adição de sedimentos no fundo do mar na zona de *offshore* transicional transforma o leito do mar em zona de *shoreface* e uma sucessão vertical de fácies de raseamento ascendente é progressivamente construída (WALKER; PLINT, 1992; NICHOLS, 2009).

Tal configuração que corresponde ao preenchimento do espaço de acomodação pode ter representado certo controle na ocorrência dos ciclos de raseamento ascendente no mar plataformal. Porém, isto é difícil de ser deduzido em virtude de não existirem registros de paleoambientes na unidade que poderiam fornecer indícios do aporte sedimentar oriundo do continente para o mar Pimenteiras, quer seja pela erosão costeira ou transporte flúvio-deltaico.

Os ciclos de raseamento ascendente são evidenciados pela repetição na passagem das associações de fácies, observáveis a partir da avaliação dos perfis estratigráficos de afloramentos. Na base do ciclo ocorre a associação de *offshore* (AF1) e em seguida a associação de *offshore* transicional (AF2). Oito ciclos completos foram identificados com espessuras entre aproximadamente 3 a 16 m e outros seis ciclos incompletos com espessuras que variam entre cerca de 1,5 a 13 m também foram observados. Estes ciclos reforçam a ocorrência de variações relativas no nível do mar e de que estas apresentaram diferentes intensidades, o que é

sugerido pelas espessuras distintas de cada ciclo. Medidas de paleocorrente para NW foram obtidas na fácies arenito com laminação ondulada e cruzada e indicam o sentido da componente unidirecional dentro do fluxo combinado.

As características de cada elemento arquitetural corroboram a interpretação de mar plataformar para a Formação Pimenteiras. Os eventos de tempestades, que foram frequentes no ambiente marinho e representaram movimentações de grandes volumes de sedimentos por prolongados períodos de tempo, influenciaram principalmente na formação dos elementos arquiteturais conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados e conjunto tabular de arenitos da AF2, que apresentam superfícies limitantes de 3ª e 4ª ordens, o que corresponde aos grupos 5 e 6 de Miall (1991, 2006), que indicam depósitos formados em um ano até poucas dezenas de anos (Grupo 5) e depósitos acumulados em centenas até poucos milhares de anos (Grupo 6).

A Formação Pimenteiras ocorre próxima ou em contato com duas outras unidades. No ponto 4 foram identificados basaltos em sua proximidade, possivelmente da Formação Sardinha, de idade eocretácea (AGUIAR, 1971; GÓES; FEIJÓ, 1994). Este magmatismo básico é relacionado ao processo de abertura do Oceano Atlântico Sul (MILANI; THOMAZ FILHO, 2000 *apud* VAZ *et al.*, 2007). Estas rochas ígneas são interpretadas como a possível fonte de calor para a maturação da matéria orgânica e geração de hidrocarbonetos na sequência mesodevoniana-eocarbonífera (GÓES; SOUZA; TEIXEIRA, 1990). O contato entre a Formação Pimenteiras e a Formação Cabeças foi descrito no ponto 1.

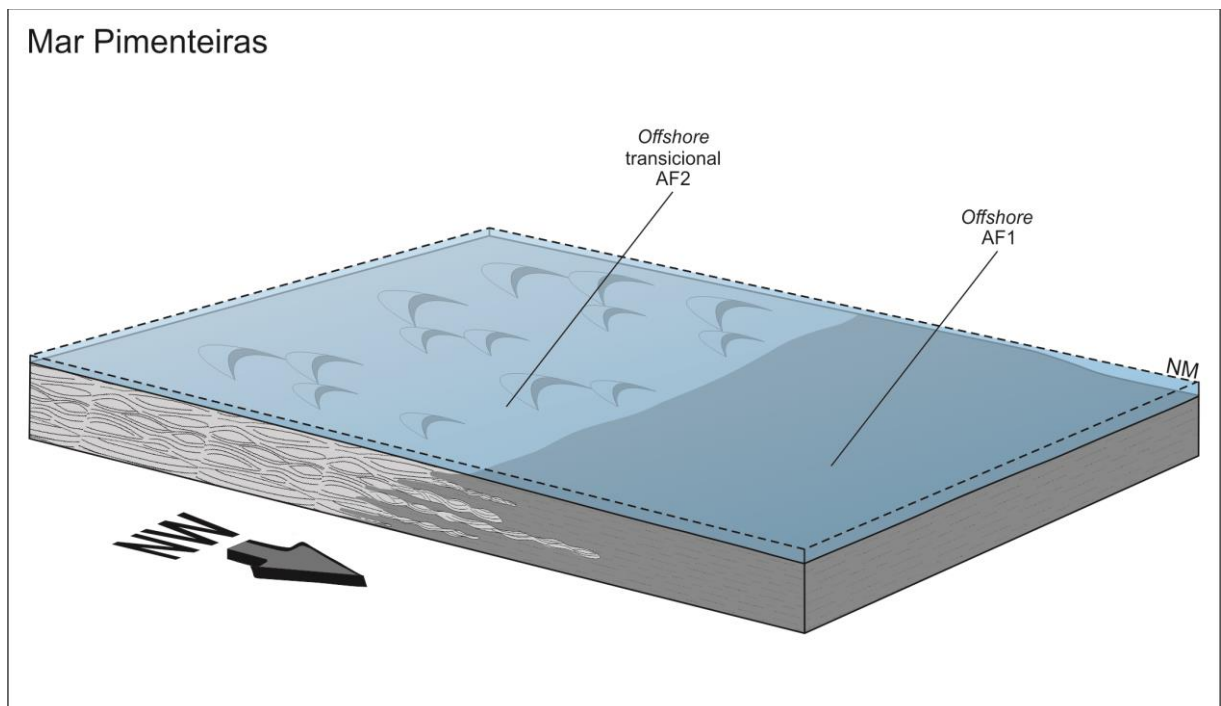
A natureza deste contato entre as duas unidades é geralmente interpretada como concordante e gradacional (AGUIAR, 1971; VAZ *et al.*, 2007), inclusive na região do município de Pimenteiras (LIMA; LEITE, 1978). Porém, Barbosa (2014) interpreta que a Formação Cabeças recobre discordantemente folhelhos da Formação Pimenteiras na borda leste da bacia.

O contato observado na área de estudo entre as formações Pimenteiras e Cabeças se dá com brusca mudança litológica. Depósitos de *offshore* transicional (folhelhos e arenitos finos) são sobrepostos por depósitos deltaicos (arenitos grossos e conglomerado), limitados por uma superfície subhorizontal com extensão lateral de aproximadamente 180 m. Esta superfície de caráter discordante é marcada por uma camada contínua de conglomerado com clastos de siltitos e arenitos dispersos numa matriz argilosa. Todavia, esta relação pode não configurar

uma discordância, pois pode ser local e representar a proximidade com o sistema fluvial alimentador. Medidas de paleocorrentes para NW foram obtidas a partir de estratos cruzados da Formação Cabeças e estas podem indicar o sentido da declividade principal da plataforma marinha.

Os depósitos deltaicos da Formação Cabeças se estabeleceram de forma localmente discordante sobre os marinhos da Formação Pimenteiras, representando deposição em ambiente costeiro, sendo assim, em águas mais rasas como resultado de possível queda do nível relativo do mar relacionada ao início de uma regressão no Neodevoniano da Bacia do Parnaíba. De acordo com Barbosa (2014) o delta Cabeças era dominado por processos fluviais e com subordinada influência de maré. Este delta progritava para NW sobre uma plataforma costeira de lâmina d'água rasa dominada por ondas de tempestades e com paleocosta orientada para NNE-SSW (BARBOSA, 2014).

Figura 22 - Modelo deposicional elaborado para a Formação Pimenteiras na borda leste da Bacia do Parnaíba, Piauí. Mar Pimenteiras e seus paleoambientes de *offshore* e *offshore* transicional. NM: Nível do mar.



Fonte: Do autor.

## 6 CONCLUSÃO

O registro sedimentar do Mesodevoniano e início do Neodevoniano na Bacia do Parnaíba é marcado por variações relativas do nível do mar relacionadas ao final de um intervalo transgressivo e início de um intervalo regressivo.

No Mesodevoniano, as variações relativas do nível do mar geraram um padrão de empilhamento retrogradante-progradante que indicam ciclos de raseamento ascendente referentes a um paleoambiente marinho plataformal raso a profundo dominado por tempestades correspondente aos depósitos da Formação Pimenteiras, associados ao final de um intervalo transgressivo.

No fim do Mesodevoniano e início do Neodevoniano é registrada a passagem do paleoambiente marinho plataformal para paleoambiente de sedimentação deltaica, referente à Formação Cabeças. Os depósitos deltaicos progradaram para NW sobre os depósitos de ambiente marinho, formando um contato localmente discordante. Esta mudança no ambiente deposicional está associada à queda no nível relativo do mar e provável início de um intervalo regressivo.

Os dados de campo revelaram que a Formação Pimenteiras possui sete fácies sedimentares, reunidas em duas associações de fácies: *offshore* (AF1) e *offshore* transicional (AF2). Estas associações compreendem três elementos arquiteturais.

O paleoambiente de *offshore* é caracterizado por lâmina d'água relativamente profunda e com baixa energia, onde ocorreu a deposição de argilas e matéria orgânica. A AF1 corresponde ao elemento arquitetural conjunto tabular de folhelhos.

O paleoambiente de *offshore* transicional é marcado por sedimentação influenciada por eventos de tempestades, que originaram principalmente arenitos com estratificação cruzada *hummocky* e laminação ondulada e cruzada. Pelitos em grandes proporções sugerem que ocorreram prolongados períodos de intervalos entre as tempestades em condições de tempo normal predominantes. A alternância entre estágios de baixa e alta energia era constante no paleoambiente de *offshore* transicional. A AF2 compreende os elementos arquiteturais conjunto tabular de pelitos e arenitos intercalados e conjunto tabular de arenitos.

A ocorrência dos ciclos de raseamento ascendente na sucessão sedimentar da Formação Pimenteiras reforça o entendimento de seu padrão deposicional relacionado a variações relativas do nível do mar. Neste sentido, os arenitos dos topos destes ciclos, que perfazem o elemento arquitetural conjunto tabular de

arenitos (depósitos da AF2), se destacam como os mais prováveis níveis estratigráficos capazes de compor rochas reservatório na Formação Pimenteiras, no contexto do sistema petrolífero proposto para a sequência mesodevoniana-eocarbonífera da Bacia do Parnaíba (GÓES; SOUZA; TEIXEIRA, 1990; SANTOS; LIMA FILHO; NEUMANN, 2007; ABELHA, 2013). Este elemento possui grande extensão lateral e destacada predominância de arenitos (cerca de 94%), além de ocorrer em contato direto com as potenciais rochas geradoras (folhelhos da AF1), o que pode ter favorecido a migração e acumulação de hidrocarbonetos. O conjunto tabular de arenitos ocorre nos topos dos ciclos de raseamento ascendente interpretados para a unidade.

A reconstituição paleoambiental das rochas da Formação Pimenteiras contribui com o conhecimento a respeito de sua gênese e geometria deposicional. Para avanços na pesquisa são necessários estudos mais refinados em testemunhos de sondagens complementares aos de Young e Borghi (2003), Young (2006) e Denck (2009), visando a identificação de níveis estratigráficos em subsuperfície que indiquem de forma mais precisa e em outra escala de observação os ciclos de raseamento ascendente.

O passo seguinte seria realizar análises petrográficas nos arenitos que compõem os topos dos ciclos, avaliando suas características permo-porosas para obtenção de dados mais concretos a respeito da capacidade destes representarem rochas reservatório. Os folhelhos também precisam ser mais bem avaliados, o que pode ser realizado através de análises de carbono orgânico total (COT), de pirólise e petrografia orgânica, tendo em vista a determinação quantitativa e qualitativa da matéria orgânica preservada, desta forma indicando com maior precisão a capacidade de constituírem rochas geradoras.

## REFERÊNCIAS

- ABELHA M. **12° Rodada de Licitações de petróleo e gás - ANP. Bacia do Parnaíba.** 2013. Disponível em: <[http://www.brasil-rounds.gov.br/arquivos/Seminarios\\_R12/apresentacao/r12\\_04\\_parnaiba.pdf](http://www.brasil-rounds.gov.br/arquivos/Seminarios_R12/apresentacao/r12_04_parnaiba.pdf)>. Acesso em: 4 fev. 2016.
- AGOSTINHO, S.; BATISTA, Z. V.; BARROS, C. L.; GOMES, C. R.; SANTOS, C. A. Icnofósseis devonianos da Formação Pimenteira, Estado do Piauí, e suas aplicações paleoambientais e paleogeográficas. **Estudos Geológicos**, v. 22, n. 1, 2012.
- AGOSTINHO, S.; VIANA, M. S. S.; FERNANDES, A. C. S. Duas novas Icnospécies de *Bifungites* desio, 1940 na Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Brasil. **Arquivos do Museu Nacional**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 4, p. 519-530, out./dez. 2004.
- AGUIAR, G. A. Revisão geológica da Bacia Paleozóica do Maranhão. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Geologia**, v. 3, p. 113-122. São Paulo: SBG, 1971.
- ALMEIDA F.F.M.; CARNEIRO C.D.R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO V.; BARTORELLI A.; CARNEIRO C.D.R.; BRITO-NEVES B.B. (Ed.), **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flavio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004.
- ANGELIM, L. A. A.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, J. R. C.; WANDERLEY, A. A.; FORGIARINI, L. L.; MEDEIROS, M. F. Folha Jaguaribe SB-24. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO R.; MATOS, G. M. M.; VIDOTTI, R. M.; RAMOS, M. A. B. (Ed.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil**. Brasília: CPRM, 2004. CD-ROM.
- BARBOSA, R. C. M. **Paleoambiente e proveniência da Formação Cabeças da Bacia do Parnaíba: evidências da glaciação fameniana e implicações na potencialidade do reservatório.** 2014. 124f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2014.
- BOUCOT, A. J.; XU, C.; SCOTSE, C. R.; MORLEY, R. J. **Phanerozoic paleoclimate: an atlas of lithologic indicators of climate.** SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology n. 11: Map Folio. Tulsa, Oklahoma, 2013.
- CAPUTO, M. V. Glaciação Neodevoniana no Continente Gondwana Ocidental. **Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia**, v. 2, p. 725-739. Rio de Janeiro: SBG, 1984.
- CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. Bacia sedimentares brasileiras, Bacia do Parnaíba. **Phoenix**, Aracaju, n. 81, p. 1-6, 2005.

COLARES, J. Q. S.; NASCIMENTO, F. M. **Léxico Estratigráfico do Brasil**. CPRM, 1984. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/bases/lexico/frame.htm>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

CUNHA, F. M. B. **Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 1986.

CUNHA, L., N. **Paleoambiente e icnofósseis da Formação Pimenteiras, Devoniano da Bacia do Parnaíba, regiões de Valença do Piauí e Pimenteiras, Piauí**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2015.

DALRYMPLE, R. W. Interpreting sedimentary successions: facies, facies analysis and facies models. In: JAMES, N. P.; DALRYMPLE, R. W. (Ed.). **Facies Models 4**. Geological Association of Canada. Geotext 6, 2010.

DE RAFF, J.F.M.; BOERSMA J.R.; GELDER, V.A. Wave generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. **Sedimentology**, v. 4, p. 1-52, 1977.

DELLA FÁVERA, J. C. Ambientes marinhos rasos. In: SILVA A.J.C.L.P.; ARAGÃO M.A.N.F.; MAGALHÃES A.J.C. (Ed.). **Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Editora Beca, 2008.

DENCK, T. **Gearquitectura deposicional e correlação estratigráfica de corpos de arenito da Formação Pimenteira (Devoniano) na borda leste da Bacia do Parnaíba**. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2009.

FORTES, F. P. Geologia estrutural e tectônica da Bacia Sedimentar do Meio-norte do Brasil. **Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia**, v. 1, p. 321-332. Recife: SBG, 1978.

GINGRAS, M.K.; MACEACHERN, J.A.; DASHTGARD, S.E. Process ichnology and the elucidation of physic-chemical stress. **Sedimentary Geology**, n. 237, p. 115-134, 2011.

GÓES, A.M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. 1995. 171 f. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1995.

GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 57-67, 1994.

GÓES, A.M.O.; SOUZA, J.M.P.; TEIXEIRA, L.B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 55-64, 1990.

JOHNSON, H.D.; BALDWIN, C.T. Shallow clastic seas. In: Reading, H.G. (Ed.). **Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**. 3 ed. Oxford: Blackwell, p. 232-277, 1996.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J.F. **Projeto estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia sedimentar do Parnaíba: relatório final da etapa III**. Recife: CPRM. Superintendência Regional de Recife, 1978. v. 2.

MIALL, A. D. **The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology**. 4 ed. Berlin: Springer, 2006.

MIALL, A. D. Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks and their relationship to sedimentation rate. In: MIALL, A.D.; TYLER, N. (Ed.) **The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery**. Tulsa, SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology, n. 3, p. 6-12, 1991.

MYROW, P. M.; SOUTHARD, J. B. Tempestite deposition. **Journal of Sedimentary Research**, n. 5, v. 66, p. 875-887, 1996.

NICHOLS, G. **Sedimentology and Stratigraphy**. 2 ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2009.

READING, H. D.; COLLINSON, J. D. Clastic coasts. In: Reading, H.G. (Ed.). **Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**. 3 ed. Oxford: Blackwell, p. 154-228, 1996.

SANTOS, M.E.; CARVALHO, M.S. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís. Rio de Janeiro: CPRM, 2009.

SANTOS, V. H. **Sequências siluro-devoniana e eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, Brasil, como análogos para a exploração de hidrocarbonetos**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de tecnologia e geociências, Recife, 2005.

SANTOS, V.H.; LIMA FILHO, M.F.; NEUMANN, V.H. Quais as possibilidades de um sistema petrolífero na Bacia do Parnaíba?. **Resumos expandidos do 4° PDPETRO**, Campinas, p. 1-10, 2007.

SCOTESE, C.R. **Atlas of Devonian Paleogeographic Maps**. PALEOMAP Atlas for ArcGIS, volume 4, The Late Paleozoic, Maps 65-72. Mollweide Projection, PALEOMAP Project. Evanston, IL, 2014.

SCOTESE, C. R. **Atlas of Earth History**. PALEOMAP Project. University of Texas, Arlington, 2001.

SCOTESE, C.R. **Phanerozoic Temperature Curve**. PALEOMAP Project, Evanston, IL, 2015.

SCOTESE, C.R.; BOUCOT, A.J.; MCKERROW, W.S. Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology. **Journal of African Earth Sciences**, v. 28, n. 1, p. 99-114, 1999.

SEVERIANO RIBEIRO, H. J. P. (Ed.). **Estratigrafia de Sequências**. São Leopoldo: Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2001.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R B. C. Bacias Sedimentares Paleozoicas e Meso-Cenozoicas Interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Ed.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.

SILVA, R. C.; DOMINATO, V. H.; FERNANDES, A.C.S. Novos registros e aspectos paleoambientais dos icnofósseis da Formação Pimenteira, Devoniano da Bacia do Parnaíba, Piauí, Brasil. **Journal of geoscience**, v. 8, n. 1, p. 33-41, jan/jun. 2012.

VASCONCELOS, A. M.; RIBEIRO, J. A. P.; COLARES, J. Q. S.; GOMES, I. P.; FORGIARINI, L. L.; MEDEIROS, M. F. Folha Teresina SB-23. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; VIDOTTI, R. M.; RAMOS, M. A. B.; JESUS, J. D. A. de. (Ed.). **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil**. Brasília: CPRM, 2004. CD-ROM.

VAZ, P.T.; REZENDE; N.G.A.M.; WANDERLEY FILHO, J.R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.

WALKER, R.G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R.G.; JAMES, N.P. (Ed.). **Facies Models - Response to Sea Level Change**. Geological Association of Canada, Ontario, p. 1-14, 1992.

WALKER, R.G.; PLINT A.G. Wave-and storm-dominated shallow marine systems. In: WALKER R.G.; JAMES N.P (Ed.). **Facies Models - Response to Sea Level Change**. Geological Association of Canada, Ontario, p. 219-239, 1992.

WIZEVIC, M.C. Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques. In: MIAL, A.D; TYLER, N. (Ed.) **The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery**. Tulsa, Society for Sedimentary Geology/SEPM. p.22-24 (Concepts in Sedimentology and Paleontology, 3). 1991.

WORSLEY, T.R.; MOORE, T.L.; FRATICELLI, C.M.; SCOTESE, C.R. Phanerozoic CO<sub>2</sub> levels and global temperatures inferred from changing paleogeography. In: Klein, G.D. (Ed.). Pangea: paleoclimate, tectonics, and sedimentation during accretion, zenith and breakup of a supercontinent. Geological Society America, **Special Paper**, v. 288, p. 57-73, 1994.

YOUNG, C.G.K. **Estratigrafia de alta-resolução da Formação Pimenteira (Devoniano, Bacia do Parnaíba)**. 2006. 170f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia, Rio de Janeiro, 2006.

YOUNG, C. G. K.; BORGHI, L. Pimenteira Formation (Devonian, Parnaíba Basin): a new prospect for hydrocarbon reservoirs. **Resumos expandidos do 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás**, Rio de Janeiro, 2003.

## ANEXO

## PONTOS DE ESTUDO DA FORMAÇÃO PIMENTEIRAS.

Pontos	Coordenadas geográficas	Toponímia	Tipo de afloramento	Elevação (m)
P- 1	S 06° 17' 43.6" W 041° 22' 45.8"	Rodovia BR-407 (estrada de terra), aproximadamente a 11 km ao sul do município de Pimenteiras.	Encosta de morro e corte de estrada	349 m
P- 2	S 06° 16' 33.7" W 041° 28' 07.4"	Rodovia PI- 120 km 32, entre os municípios de Valença do Piauí e Pimenteiras, região sudoeste do município de Pimenteiras.	Corte de estrada	256 m
P- 3	S 06° 15' 47.2" W 041° 32' 53.7"	Rio Sambito, próximo à estrada de terra distante cerca de 7 km da Rodovia PI-120, em sua margem esquerda no sentido Valença do Piauí-Pimenteiras, no povoado de Oiti, município de Pimenteiras.	Leito e margem de rio	239 m
P- 4	S 06° 06' 20.9" W 042° 12' 42.5"	Margem esquerda da Rodovia BR- 316, no sentido Passagem Franca do Piauí-Elesbão Veloso, próximo à localidade Batal, norte do município de Elesbão Veloso.	Corte de estrada	390 m
P- 5	S 07° 04' 39.10" W 041° 29' 5.83"	Margem esquerda da Rodovia BR- 316, no sentido Picos-Geminiano, km 308, porção sudoeste do município de Picos.	Encosta de morro e corte de estrada	227 m
P- 6	S 07° 5' 19.16" W 041° 23' 56.61"	Margem esquerda da Rodovia BR-316, km 318, na saída do município de Picos em direção ao município de Geminiano.	Corte de estrada	253 m
P- 7	S 07° 51' 54.54" W 041° 20' 46.69"	BR-316, km 324, na porção norte do município de Geminiano.	Corte de estrada	300 m