



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

EVERSON MOURA DE ARAÚJO

**EVENTOS DE SEDIMENTAÇÃO E PALEOCLIMÁTICOS NA TRANSIÇÃO
CARBONÍFERO-PERMIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, REGIÃO DE
TERESINA (PI)**

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM – PARÁ
2016

EVERSON MOURA DE ARAÚJO

**EVENTOS DE SEDIMENTAÇÃO E PALEOCLIMÁTICOS NA TRANSIÇÃO
CARBONÍFERO-PERMIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, REGIÃO DE
TERESINA (PI)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. Em cumprimento as 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/UFPA

Araújo, Everson Moura de, 1989-
Eventos de sedimentação e paleoclimáticos na transição
Carbonífero-Permiano da bacia do Parnaíba, região de Teresina (PI) /
Everson Moura de Araújo. – 2016.
57 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.

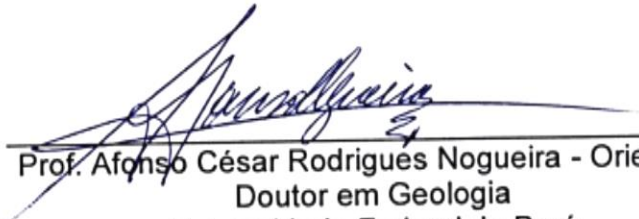
1. Rochas sedimentares - Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA). 2.
Formações (Geologia) - Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA). 3. Fácies
(Geologia) - Parnaíba, Rio, Bacia (PI e MA). 4. Geologia
estratigráfica – Carbonífero. 5. Geologia estratigráfica – Permiano.
I. Título.

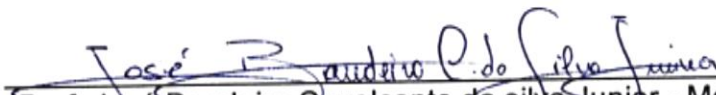
EVERSON MOURA DE ARAÚJO

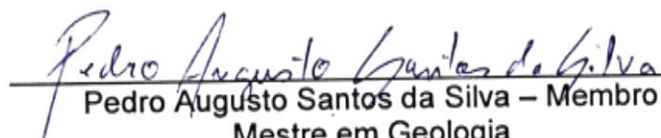
**EVENTOS DE SEDIMENTAÇÃO E PALEOCLIMÁTICOS NA TRANSIÇÃO
CARBONÍFERO-PERMIANO DA BACIA DO PARNAÍBA, REGIÃO DE
TERESINA (PI)**

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

Data da aprovação: 25 / 02 / 2016
Conceito: Excelente
Banca Examinadora:


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


Prof. José Bandeira Cavalcante da Silva Junior - Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará


Pedro Augusto Santos da Silva - Membro
Mestre em Geologia
Universidade Federal do Pará

*Dedico este trabalho a minha família,
fonte de motivação.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar forças para vencer os obstáculos em momentos difíceis ao longo da minha vida!

A toda minha família, especialmente meus pais (Maria Edileuza e João Alberto) e meu irmão (Emerson Araújo) que sempre me ajudaram, incentivaram e fizeram o possível e o impossível para minha formação, e principalmente pelo apoio e carinho ao longo desses anos.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Afonso Nogueira pela oportunidade, orientação, paciência, confiança, e discussões geológicas que enriqueceram este trabalho.

Ao amigo Roberto Araújo (*Bob*) pelas discussões que foram indispensáveis ao longo deste trabalho, através de críticas e valiosas sugestões que aprimoraram o trabalho.

Ao geólogo Raphael Neto pelas valiosas sugestões, as quais permitiram redirecionar parte deste estudo.

Aos amigos e colegas do curso de graduação que me acompanharam nesta jornada.

Aos colegas e amigos do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED/UFGA) Francisco Romério, Renato Sol e Raiza Santos pelo auxílio na obtenção de dados e materiais bibliográficos. Ao Geólogo Luiz Saturnino pelas sugestões que aprimoraram e complementaram os conteúdos dos assuntos aqui tratados; e em especial aos meus amigos, Alexandre Castelo, Antônio Neto e Junior Moura, muito obrigado pelos incentivos e por todo apoio concedido ao longo deste trabalho.

Aos membros de minha banca de qualificação, Prof. Dr. José Bandeira (JB) e ao geólogo Pedro Augusto pelas observações e sugestões, as quais permitiram aprimorar o trabalho.

A minha sincera gratidão a todos que contribuíram direta e indiretamente para a viabilização deste trabalho, e por tolerarem meus descuidos enquanto procurava por inspiração.

RESUMO

As Formações Piauí e Pedra de Fogo correspondem ao Grupo Balsas, e registram eventos de sedimentação na transição do Carbonífero ao Permiano, na Bacia do Parnaíba, na região de Palmeiras, Piauí. Este intervalo foi marcado por mudanças paleogeográficas e paleoclimáticas, associadas as colisões continentais que culminaram com o desenvolvimento do supercontinente Pangea e com implantação de um sistema desértico a lacustre. A análise de fácies da sucessão estudada permitiu a individualização de 11 fácies sedimentares agrupadas em 4 associações de fácies (AF): AF1 e AF2, relacionadas aos depósitos da Formação Piauí; e AF3 e AF4, pertinentes aos depósitos da Formação Pedra de Fogo. As associações AF1- Campo de dunas e AF2-Lençol de areia são formadas, predominantemente, por fácies arenosas, como arenitos finos a médios com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte, laminação cruzada cavalgante transladante e plano-paralela, além de arenitos com marcas de aderência e pelitos maciços. A associação de fácies AF3- *Sabkha* continental é caracterizada pela ocorrência de arenitos finos com níveis silicificados, arenitos e pelitos laminados. A associação AF4- Lacustre raso consiste em arenitos muito finos a finos com laminação cruzada cavalgante, intercalados por siltitos, com laminação ondulada a levemente plano-paralela. O empilhamento destes depósitos de até 300 m de espessura e 26 m de altura são compostos por fácies que formam um conjunto de camadas tabulares.

Palavras-chave: Formação Piauí; Formação Pedra de Fogo; Bacia do Parnaíba; Análise de fácies.

ABSTRACT

The Piauí and Pedra de Fogo formations correspond to the Balsas Group, and record events of sedimentation in the transition from Carboniferous to Permian, in the Parnaíba Basin, Palmeiras region, Piauí. This break was marked by paleogeographic and paleoclimatic changes associated with the continental collisions that resulted to the development of the Pangea supercontinent, and implementation of a desert lacustrine system. By the facies analysis of the studied succession was possible the individualization of 11 sedimentary facies grouped in 4 sedimentary facies associations (FA): FA1 and FA2, related to deposits of Piauí Formation; and FA3 and FA4, relevant to deposits of the Pedra de Fogo Formation. The associations FA1- Field of dunes and FA2- Sand sheet are formed predominantly by sandy facies as fine to medium sandstones with tangential cross bedding of small to medium size, climbing ripple lamination translent and plane-parallel, and sandstones with adhesion structures and massive mudstones. The facies association FA3 - continental Sabkha is characterized by the occurrence of fine sandstones with silicified levels, sandstones and laminated mudstones. The association FA4 – shallow Lacustrine consists of very fine to fine sandstones with climbing ripple lamination, interspersed with siltstones with wavy lamination to plane-parallel. These deposits of rocky stacking have 300 m thick and 26 m long are made by facies that form a set of tabular layers.

Keywords: Piauí Formation; Pedra de Fogo Formation; Parnaíba Basin; Facies analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Geologia e localização da área de estudo, região de Palmeirais (PI), porção leste da Bacia do Parnaíba. 13
- Figura 2 - Mapa simplificado da Bacia do Parnaíba, com destaque para localização da área de estudo 16
- Figura 3 - Carta estratigráfica da Bacia do Parnaíba, com destaque para as formações Piauí (em amarelo) e Pedra de Fogo (em vermelho). 17
- Figura 4 - Paleogeografia global durante a Transição do Pensilvaniano ao Permiano inferior, com ênfase na colisão entre os continentes Laurásia e Gondwana que deram origem ao supercontinente Pangea. Em vermelho possível localização da Bacia do Parnaíba.....21
- Figura 5- principais zonas climáticas durante a transição do Carbonífera para o Permiano e seus respectivos indicadores climáticos.23
- Figura 6 - Perfil Estratigráfico da zona de contato entre as formações Piauí e Pedra de Fogo, próximo à Vila Castelhana, município de Palmeirais (PI).....25
- Figura 7- Aspectos faciológicos das fácies At e Alt, constituintes dos depósitos de Campo de dunas (AF1) da Formação Piauí. A) Fácies arenito com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte, com detalhes das estruturas sedimentares; B-C) Arenito com laminação cruzada cavalgante transladante (Alt), com destaque para as laminações cruzada cavalgante.....28
- Figura 8- Fácies representativas da Formação Piauí, associação de fácies AF2- Lençol de areia. A) Aspecto geral da associação AF2, com destaque para as fácies Amd e Ap; B-C) Arenitos com *adhesion ripples* e *adhesion warts* (Amd). D) Arenitos com estratificação plano paralela (Ap).....29
- Figura 9- Aspectos faciológicos das fácies PI e Ac, com destaque para: A) *tepee*, B) Bioturbações na fácies Ac.....30

Figura 10- Associação AF2- *Sabkha* Continental. A) Características gerais entre as fácies PI e Ac, e geometria tabular das camadas; B) Detalhes da fácies Pelito laminado (PI); C) Características da fácies arenito com laminação ondulada (Ao), com destaque para as laminações onduladas com eventuais nódulos de sílica e os truncamentos.....31

Figura 11- Associação AF3- *Sabkha* continental. A) Arenito com concreções silicosas (Acs); B) Níveis silicificados, pertencente a fácies Acs. C) Nódulos silicificados “bolacha de sílex”; D) Moldes evaporíticos completamente silicificados (*popcorns*); E) Contato entre as fácies Ac e Alc pertencente a associação AF4- lacustre raso.....32

Figura 12- Aspectos gerais das Associações AF1 e AF3, das Formações Piauí e Pedra de Fogo; A-B) Fácies pelito maciço; C-D) Fácies arenito e pelito laminado com destaque para o padrão “*pinch-and-swel*”.....33

Figura 13- Seção panorâmica do contato entre as formações Piauí e Pedra de Fogo (linha tracejada), com destaque para as estruturas presentes nas associações Campo de Dunas (AF1), Lençol de areia (AF2) e *Sabkha* Continental (AF3).....38

Figura 14- Diagrama triangular de Folk (1968), com a composição detrítica dos arenitos da Formação Piauí (em branco), e da Formação Pedra de Fogo (em cinza).....39

Figura 15- Aspectos petrográficos dos arenitos da Associação AF1- Campo de Dunas, Formação Piauí. A e B) Fotomicrografias dos quartzarenitos, com destaque para os contatos pontuais (círculo verde), retos (círculo preto) e contatos côncavo-convexo (círculo vermelho), além da presença de óxido e hidróxido Fe. C e D) Feldspato alterado (F) e quartzo fraturado (seta amarela). D) (Fotos A e C com N//; B e D com Nx). (Quartzo policristalino-Qtzp; quartzo monocristalino-Qtz).....40

Figura 16- Fotomicrografia dos arenitos da Associação AF1, Formação Piauí. A, B, C e D) aspectos gerais dos fragmentos de rocha (Fr) (contorno tracejado em amarelo), com detalhes dos poros intergranulares (Pi) e das cutículas de argila (setas vermelhas) nas bordas e no interior dos poros (Fotos A, C e D com N//; B com Nx).....41

Figura 17- Aspecto geral das lâminas do arenito da Associação AF1- campo dunas. A e B) Fotomicrografia de quartzarenito, com destaque para o sobrecrecimento sintaxial de quartzo (seta amarela) e a presença de argila em forma de cutículas (setas vermelhas), que estão envolta dos grãos de quartzo (Qtz) e dos poros. C e D) poros agigantados (Pa) e poros intergranulares (Pi). E e F) poros móldicos contornados por cimento de oxido e hidróxido de ferro (Oxi) (Fotos A, B, C e E com N//; D e F com Nx)42

Figura 18- Aspecto geral da lâmina de arenito da associação AF3-*Sabkha* continental, Formação Pedra de Fogo. A e B) Fotomicrografia de quartzarenito, com destaque para o sobrecrecimento sintaxial de quartzo (seta amarela) e detalhes dos contatos pontuais (círculo verde) reto (círculo preto) e côncavo-convexo (círculo vermelho). Há também a ocorrência de poros intergranulares (Pi) e eventuais poros móldicos (Pm) e poros agigantados (Pa). C e D) Ocorrência de quartzo (Qtz), muscovita (círculo amarelo) e fragmento de rocha (Fr), além de oxido/hidróxido de ferro presentes nas bordas, sobre os grãos e preenchendo poros (Fotos A e C com N//; D e D com Nx).....44

Figura 19- Aspecto geral da lâmina de pelitos da associação AF2-*Sabkha* continental, e Lacustre marginal-AF4, Formação Pedra de Fogo. A) Fotomicrografia das feições gerais dos pelitos, com destaque para as laminações (separada pelo tracejado amarelo); B) Muscovita (círculos vermelhos) e grãos de quartzo (Qtz); C) Aspectos gerais dos nódulos de sílica (cherts); D) Poros presente no quartzo calcedônico-Qtz (c); E e F) detalhes do quartzo calcedônico com presença de quartzo microcristalino preenchendo poros (MQtz) (Fotos A e E com N//; B, C, D e F com Nx).46

Figura 20- Modelo deposicional da passagem entre as formações Piauí e Pedra de Fogo. Região de Palmeiras, Piauí.....49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	APRESENTAÇÃO.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	13
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
2.1	ANÁLISE DE FÁCIES.....	14
2.2	ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	14
3	BACIA DO PARNAÍBA.....	15
3.1	ASPECTOS GERAIS.....	15
3.2	GRUPO BALSAS.....	18
3.2.1	Formação Piauí.....	18
3.2.2	Formação Pedra de Fogo.....	19
3.3	EVENTOS GLOBAIS DURANTE A TRANSIÇÃO DO CARBONÍFERO- PERMIANO.....	20
4	ANÁLISE DE FÁCIES.....	24
4.1	ASPECTOS GERAIS.....	24
4.2	DESCRIÇÕES DAS FÁCIES SEDIMENTARES.....	27
4.2.1	Arenito com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte (At).....	27
4.2.2	Arenito com laminação cruzada cavalgante transladante (Alt).....	27
4.2.3	Arenito com marca de aderência (Amd).....	27
4.2.4	Arenito com estratificação plano paralela (Ap).....	28
4.2.5	Pelito laminado (PI).....	29
4.2.6	Arenito com laminação cruzada (Ac).....	30
4.2.7	Arenito com laminação ondulada (Ao).....	30
4.2.8	Arenito com concreções silicosas (Acs).....	31
4.2.9	Arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc).....	31

4.2.10	Siltito laminado (SI).....	32
4.2.11	Pelito maciço (Pm).....	33
4.3	ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DA FORMAÇÃO PIAUÍ.....	34
4.3.1	Associação de Fácies 1 (AF1) – Campo de dunas.....	34
4.3.2	Associação de Fácies 2 (AF2) – Lençol de areia.....	35
4.4	ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO.....	35
4.4.1	Associação de Fácies 3 (AF3) – <i>Sabkha</i> Continental.....	35
4.4.2	Associação de Fácies 4 (AF4) – Lacustre raso.....	36
5	PETROGRAFIA.....	39
5.1	PETROGRAFIA DOS ARENITOS.....	39
5.1.1	Descrição e classificação dos arenitos.....	39
5.1.2	Arenitos da associação de fácies 1 (AF1) - Campo de dunas.....	39
5.1.3	Arenitos da associação de fácies 3 (AF3) - <i>Sabkha</i> continental.....	43
5.2	PETROGRAFIA DOS PELITOS.....	45
5.2.1	Descrições dos pelitos.....	45
6	PALEOAMBIENTE E MODELO DEPOSICIONAL.....	47
7	EVENTOS DE SEDIMENTAÇÃO NA ZONA DE CONTATO ENTRE AS FORMAÇÕES PIAUÍ E PEDRA DE FOGO.....	50
8	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O intervalo entre os períodos Carbonífero e o Permiano foi marcado por grandes mudanças paleogeográficas e paleoclimáticas, atribuídas a aglutinação de grandes massas de terra que proporcionaram o desenvolvimento e a formação do supercontinente Pangea (GOLONKA; FORD, 2000; FORD; GOLONKA, 2003). Durante esse intervalo o clima mudou rapidamente de um período glacial para interglacial, o que cominou com a implantação de sistemas desérticos no final do Período Carbonífero. Enquanto no início do Permiano ocorreu o desenvolvimento de ambientes lacustres sob condições de crescente aridez (TABOR; POULSEN, 2008). Estes eventos são registrados no Brasil, na região nordeste do país, na Bacia do Parnaíba.

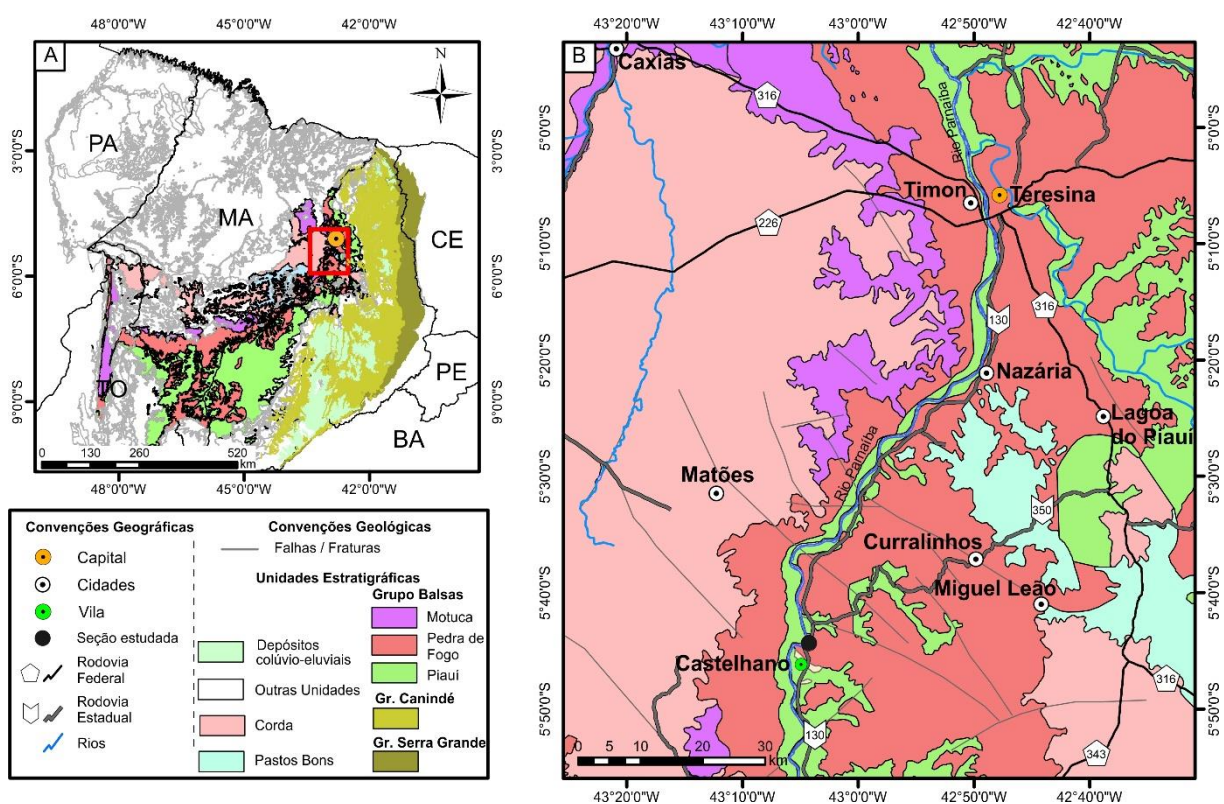
Nesta bacia os eventos de sedimentação na transição do Carbonífero ao Permiano estão registrados no contato entre as Formações Piauí e Pedra de Fogo, pertencentes ao Grupo Balsas. A Formação Piauí (final do Carbonífero) registra o início de um clima semiárido a desértico, com a formação de depósitos de campo de dunas a lençol de areia (LIMA FILHO; ROCHA-CAMPOS, 1992; VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007). Essa formação é composta por uma sequência de arenitos com estratificação de pequeno a médio porte e intercalações de pelitos. Enquanto que a Formação Pedra de Fogo (início do Permiano) está associada as condições climáticas de extrema aridez, com a implantação de uma sedimentação cíclica, formada por arenitos finos a médios, pelitos laminados a maciços, e eventuais níveis silicificados. Os sedimentos dessa formação foram depositados em ambientes lacustre a planícies de *sabkha* continental (GÓES; FEIJÓ, 1994; SANTOS; CARVALHO, 2009; ANDRADE, 2012).

Poucos estudos abordam a ocorrência do contato entre estas duas formações, com exceções dos trabalhos de Abelha (2010), Abelha e Borghi (*no prelo*) em análise estratigráfica do intervalo Carbonífero/Permiano da Bacia do Parnaíba. Porém ainda é necessário um maior detalhamento das fácies sedimentares, bem como a reconstituição do paleoambiente deposicional e a caracterização petrográfica na passagem da Formação Piauí-Pedra de Fogo. Em virtude disso, este trabalho busca

o entendimento da sucessão sedimentar inserida no limite Carbonífero-Permiano da Bacia do Parnaíba, na passagem entre as formações Piauí e Pedra de Fogo.

A área de estudo está localizada no município de Palmeirais, nas proximidades da Vila Castelhana, borda leste da Bacia do Parnaíba, próximo à divisa entre os estados do Piauí e Maranhão, a sudoeste de Teresina (PI). O acesso à região se dá a partir de Teresina, pela rodovia estadual PI-130. O local de estudo, encontra-se em corte de estrada da mesma rodovia (Figura 1).

Figura 1-Geologia e localização da área de estudo, região de Palmeirais (PI), porção leste da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Vasconcelos *et al.* (2004).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi reconstituir e definir o paleoambiente da sucessão sedimentar na passagem entre as formações Piauí e Pedra de Fogo, na porção leste da Bacia do Parnaíba. O estudo também visou inferir as condições paleoclimáticas durante a transição entre os períodos Carbonífero e Permiano.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ANÁLISE DE FÁCIES

Na análise de fácies foi empregada a técnica de modelamento de fácies proposta por Walker (1990), Walker e James (1992) e Miall (1991 e 1994), que consiste basicamente na individualização e descrição de fácies, com objetivo de caracterizar principalmente a composição, geometria, texturas, estruturas sedimentares e padrões de paleocorrentes, além de compreender os processos sedimentares que indicaram como as fácies foram geradas. E por último, a associação de fácies, que agrupa fácies contemporâneas e cogenéticas com o intuito de identificar os diferentes ambientes e sistemas deposicionais. O modelo deposicional proposto é representado em bloco diagrama.

A descrição de fácies foi auxiliada por um perfil estratigráfico e seções panorâmicas, estas últimas obtidas através de fotomosaicos do afloramento conforme a indicação de Wizevic (1991).

2.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA

As amostras coletadas durante o trabalho de campo foram laminadas no Laboratório de Laminação da UFPA. Onde foram confeccionadas 10 lâminas delgadas. Durante a análise petrográfica foram efetuadas as seguintes etapas: classificação dos arenitos segundo Folk (1968), que se baseia na contagem dos grãos de quartzo, feldspato e fragmento de rocha. Foram também contados aproximadamente 300 pontos para a avaliação dos constituintes presentes em cada lâmina petrográfica (TUCKER, 2001); Determinou-se ainda o grau de empacotamento a partir do índice de Kahn (KAHN, 1956); E também foi empregado a técnica de tingimento com alizarina vermelha S, com o intuito de identificar o tipo de cimento carbonático (calcita ou dolomita) presente em cada lâmina (ADAMS; MACKENZIE; GUILFORD, 1984).

3 BACIA DO PARNAÍBA

3.1 ASPECTOS GERAIS

A Bacia do Parnaíba apresenta um formato quase circular, abrangendo uma área de 600.000 km² de extensão, situada no nordeste ocidental do território brasileiro, incluindo parte do estado do Maranhão, Piauí, Tocantins, Pará, Ceará e Bahia (GÓES; FEIJÓ, 1994; PEREIRA *et al.*, 2012). Esta bacia é classificada como intracratônica, sendo constituída por 2.500 m de sedimentos, 500 m de rochas básicas, e seu depocentro apresenta uma espessura total de 3.500 m (CUNHA, 1986; CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005; VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007).

A Bacia do Parnaíba já fez parte da Bacia africana Taoudeni durante o período Paleozoico. Porém, a Ruptura do continente Gondwana proporcionou a separação das bacias. A Bacia do Parnaíba pode ter suas unidades correlacionadas a outras bacias como: Bacia do Jatobá, Amazonas e Solimões, no Brasil, além de algumas bacias do Continente Africano (CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005).

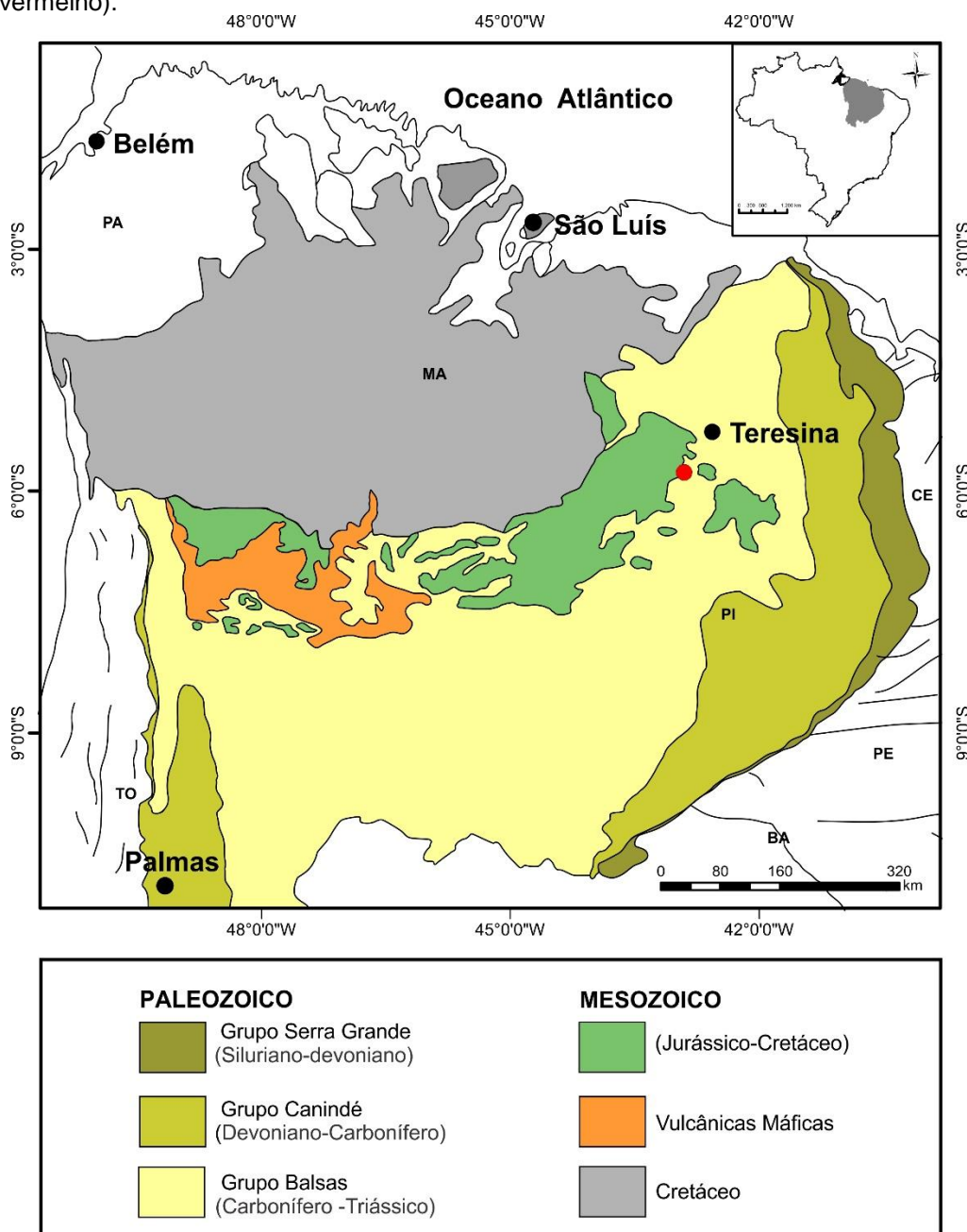
O desenvolvimento da Bacia do Parnaíba está relacionado as estruturas atribuídas aos pulsos terminais do ciclo Brasileiro (500 Ma), responsáveis pelo desenvolvimento dos grábens que estão distribuídos ao longo da bacia, com eixos orientados de nordeste a norte-sul (SANTOS; LIMA FILHO; NEUMANN, 2007).

A Bacia do Parnaíba envolve três grandes ciclos transgressivos-regressivos que ocorreram desde do período Siluriano até o período Triássico, onde houve uma maior continentalização da bacia. Estes ciclos estão representados pelos Grupos Serra Grande, Canindé e Balsas (Figura 2 e 3) (GÓES; FEIJO, 1994; SANTOS; LIMA FILHO; NEUMANN, 2007;).

O primeiro ciclo corresponde ao Grupo Serra Grande (Siluriano-Devoniano Inferior), constituído pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós, que foram depositadas em ambientes glacio-fluvial, plataforma rasa e fluvial entrelaçado (VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007). O segundo ciclo, refere-se ao Grupo Canindé (Devoniano-Carbonífero), composto pelas formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti, cujas deposições se desenvolveram em ambientes de plataforma rasa e deltaico sob influência de tempestades (VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007; PEREIRA *et al.*, 2012). O terceiro ciclo corresponde ao Grupo Balsas (Carbonífero Superior-Triássico), constituído pelas formações Piauí, Pedra de Fogo,

Motuca e Sambaíba. Estas unidades se desenvolveram em ambientes continentais, Litorâneos a continentais desérticos com a presença de depósitos lacustres que estavam sob condições climáticas de severa aridez (VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007; PEREIRA *et al.*, 2012). Essas condições climáticas são atestadas pela implantação de ambientes desérticos e depósitos evaporíticos que se desenvolveram tanto no início quanto no término do ciclo sedimentar (PEREIRA *et al.*, 2012). O término do ciclo está relacionado aos soerguimentos generalizados que foram ocasionados pelas orogenias durante a fase final do processo de aglutinação do Supercontinente Pangea (ZALÁN, 1991).

Figura 2- Mapa simplificado da Bacia do Parnaíba, com destaque para localização da área de estudo (ponto vermelho).



Fonte: Santos; Lima Filho; Neumann. (2007).

3.2 GRUPO BALSAS

O Grupo Balsas corresponde a uma complexa associação clástico-evaporítica formada pelas formações Piauí, Pedra de Fogo, Mutuca e Sambaíba (GÓES; FEIJÓ, 1994; VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007; PEREIRA *et al.*, 2012). O Grupo Balsas está associado ao terceiro grande ciclo sedimentar da Bacia do Parnaíba, que representa a Supersequência Carbonífero-Triássico. Esta Supersequência é marcada por mudanças estruturais e ambientais profundas (GÓES; FEIJO, 1994; SILVA *et al.*, 2003; PEREIRA *et al.*, 2012). As mudanças estruturais são representadas pelos deslocamentos dos eixos deposicionais em direção ao centro da bacia, e as alterações ambientais são marcadas pelas transições de mares abertos com amplas circulações, associados um clima temperado, para mares com circulações restritas influenciados por condições climáticas de aridez (GÓES; FEIJÓ, 1994; PEREIRA *et al.*, 2012). Tais condições climáticas são evidenciadas pela implantação de ambientes desérticos no início do ciclo, (Formação Piauí) e pela deposição de evaporitos (Formação Pedra de Fogo). Sendo estas duas formações alvos de investigação deste trabalho.

3.2.1 Formação Piauí

A designação Piauí surgiu a partir do termo “Série Piauí” utilizado por Small (1914 *apud.* LIMA; LEITE, 1978) para indicar toda sequência Paleozoica da bacia, mas a denominação como Formação Piauí foi posteriormente proposta por Duarte (1936 *apud.* LIMA; LEITE, 1978), Oliveira e Leonardo (1934 *apud.* LIMA; LEITE, 1978) com o objetivo de substituir o termo “Série” e restringir essa formação às camadas Carboníferas do Pensilvaniano.

A Formação Piauí corresponde, no geral, a uma sequência de arenitos, folhelhos, calcários, dolomitos, sílex e lamitos, que são subdivididos em dois membros: O membro Inferior, constituído por arenitos rosa, maciço, com intercalações de folhelhos vermelhos; enquanto que o membro Superior é composto por arenitos vermelhos, amarelos, finos a médios, com intercalações de folhelhos vermelhos, camadas de sílex e calcários esbranquiçados com a presença pontual de fósseis (AGUIAR, 1971; LIMA; LEITE, 1978).

As rochas da Formação Piauí foram formadas em um ambiente fluvial com contribuições eólicas associados a um clima mais árido a desérticos, com incursões marinhas para o membro inferior da formação (MESNER; WOOLDRIGE, 1964, *apud*. RIBEIRO, 2000). Enquanto que a parte superior é marcada por sistemas deposicionais característicos de ambientes desérticos, como os depósitos de campos de dunas e interdunas, além de incursões de sistemas fluviais (*wadis*) (LIMA FILHO; ROCHA-CAMPOS, 1992).

3.2.2 Formação Pedra de Fogo

A denominação da Formação Pedra de Fogo foi proposta por Plummer (1946, *apud*. LIMA; LEITE, 1978) com objetivo de indicar as camadas ricas em *cherts* e fósseis vegetais que afloram próximo a região de Pastos Bons e Nova Iorque.

A Formação Pedra de Fogo, de idade permiana, é caracterizada por uma sequência sedimentar constituída por sílex, calcário oolítico e pisolítico, estromatólitos, intercalados com arenitos finos a médios, folhelhos cinza, siltitos, além de anidrita e dolomito (GÓES; FEIJÓ, 1994). Esta unidade foi subdividida em três membros: o Membro basal, constituído por intercalações de siltitos, folhelhos e bancos dolomíticos com concreções silicosas, além de arenitos finos intercalados com finas camadas de sílex. Já o Membro Médio, é composto por arenitos, siltitos, carbonatos com concreções silicosas (FARIA JR, 1979), há também a ocorrência de horizontes silicificados e algas estromatolíticas que estão sobrepostos aos bancos carbonáticos com gretas de contração (ANDRADE; NOGUEIRA; BANDEIRA, 2014). O Membro Superior é marcado pela ocorrência de intercalações entre bancos dolomíticos, siltitos e folhelhos carbonáticos com nódulos e níveis descontínuos de sílex, além de níveis silicificados com predomínio de fósseis (FARIA JR, 1979).

As rochas da Formação Pedra de Fogo foram formadas em um ambiente marinho raso a litorâneo com planícies de *sabkha*, sob eventuais influências de tempestades; estes ambientes são concordantes com um clima mais árido (GÓES; FEIJÓ, 1994).

3.3 EVENTOS GLOBAIS DURANTE A TRANSIÇÃO DO CARBONÍFERO-PERMIANO.

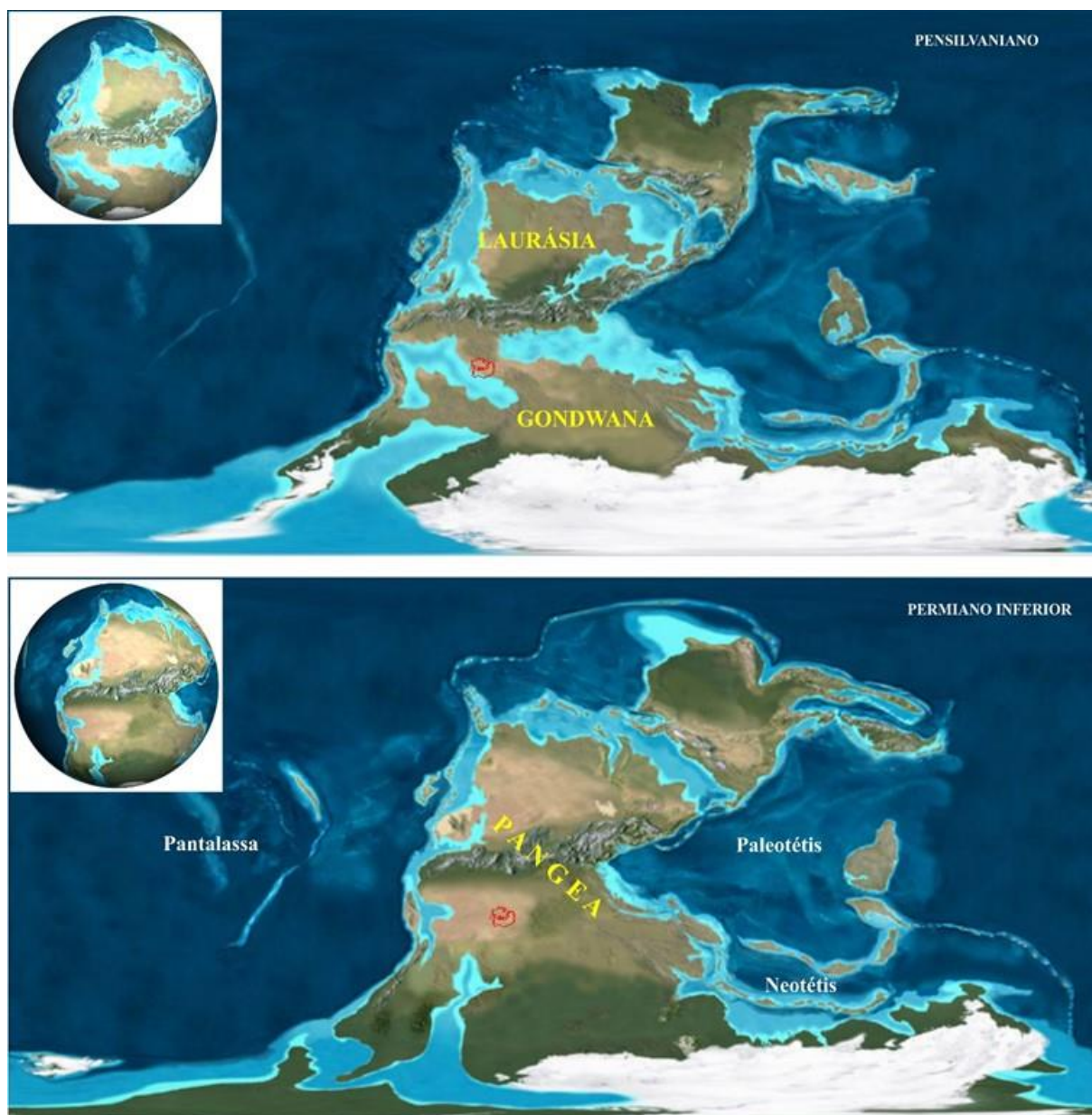
O final do Paleozoico foi marcado por mudanças geológicas e climáticas (TABOR; POULSEN, 2008). Mudanças que incluem desde colisões continentais que começaram no Carbonífero e atingiram o auge no Permiano, como a colisão entre Gondwana e Laurásia, que levou a formação do supercontinente Pangea (FORD; GOLONKA, 2003). Enquanto as alterações climáticas são marcadas pela passagem de um clima glacial para interglacial (TABOR; POULSEN, 2008).

No Período Carbonífero (Pensilvaniano) foi iniciado os movimentos precursores da agregação do supercontinente Pangea após o início da grande colisão continental do Gondwana e Laurásia (Figura 4). Esta colisão levou o continente Gondwana a rotacionar no sentido horário, isso contribuiu para o fechamento da parte remanescente sudoeste do oceano *Rheic*, e a formação do oceano de Paleotétis (GOLONKA; FORD, 2000). Esta colisão também favorece o soerguimento e a formação de cinturões orogênicos nas margens continentais, o que levou a formação de montanhas na América do Sul, África do Sul e Antártica (GOLONKA; FORD, 2000, FORD; GOLONKA, 2003).

Na América do Sul, esses eventos de deslocamento de continentes e fases orogênicas provocaram uma série de eventos transgressivos e regressivos, que possibilitaram expansões e conexões de faunas (SANTOS; CARVALHO, 2009).

As condições climáticas durante o Período Carbonífero (Pensilvaniano) foram caracterizadas com temperaturas amenas, que se estendiam a baixas latitudes (GOLONKA; FORD, 2000; SANTOS; CARVALHO, 2009), onde se formaram camadas de gelo, que se estendiam pelo sul da Austrália, Antártica, sul da Índia e da Arábia, Madagascar, África oriental e meridional, e a parte sudeste da América do Sul (SCOTSE; BOUCOT; MCKERROW, 1999; GOLONKA; FORD, 2000). Enquanto que as condições climáticas para a porção norte da América do Sul (correspondente à Bacia do Parnaíba) eram caracterizadas com temperaturas mais elevadas em latitudes tropicais, essas inferências de mudanças climáticas são indicativas que no Pensilvaniano, o supercontinente Gondwana na rota de deriva em direção ao Equador, já apresentava um distanciamento do pólo (SANTOS; CARVALHO, 2009).

Figura 4- Paleogeografia global durante a Transição do Pensilvaniano ao Permiano inferior, com ênfase na colisão entre os continentes Laurásia e Gondwana que deram origem ao supercontinente Pangea. Em vermelho possível localização da Bacia do Parnaíba.



Fonte: Website Global Paleogeography.

Na transição do final do Carbonífero ao início do Permiano as mudanças climáticas provocaram a implantação de sedimentos químicos na Bacia do Parnaíba, com a formação de carbonatos e evaporitos, e também ocorreu a deposição de arenitos eólicos em sistemas desérticos, o que sugere o início de um clima mais quente à região norte da América do Sul, (CUNHA, 1986; LIMA FILHO, 1992), enquanto outras regiões do planeta ainda se encontravam inseridas em um período glacial (Figura 5) (CHUMAKOV; ZHARKOV, 2002, 2003).

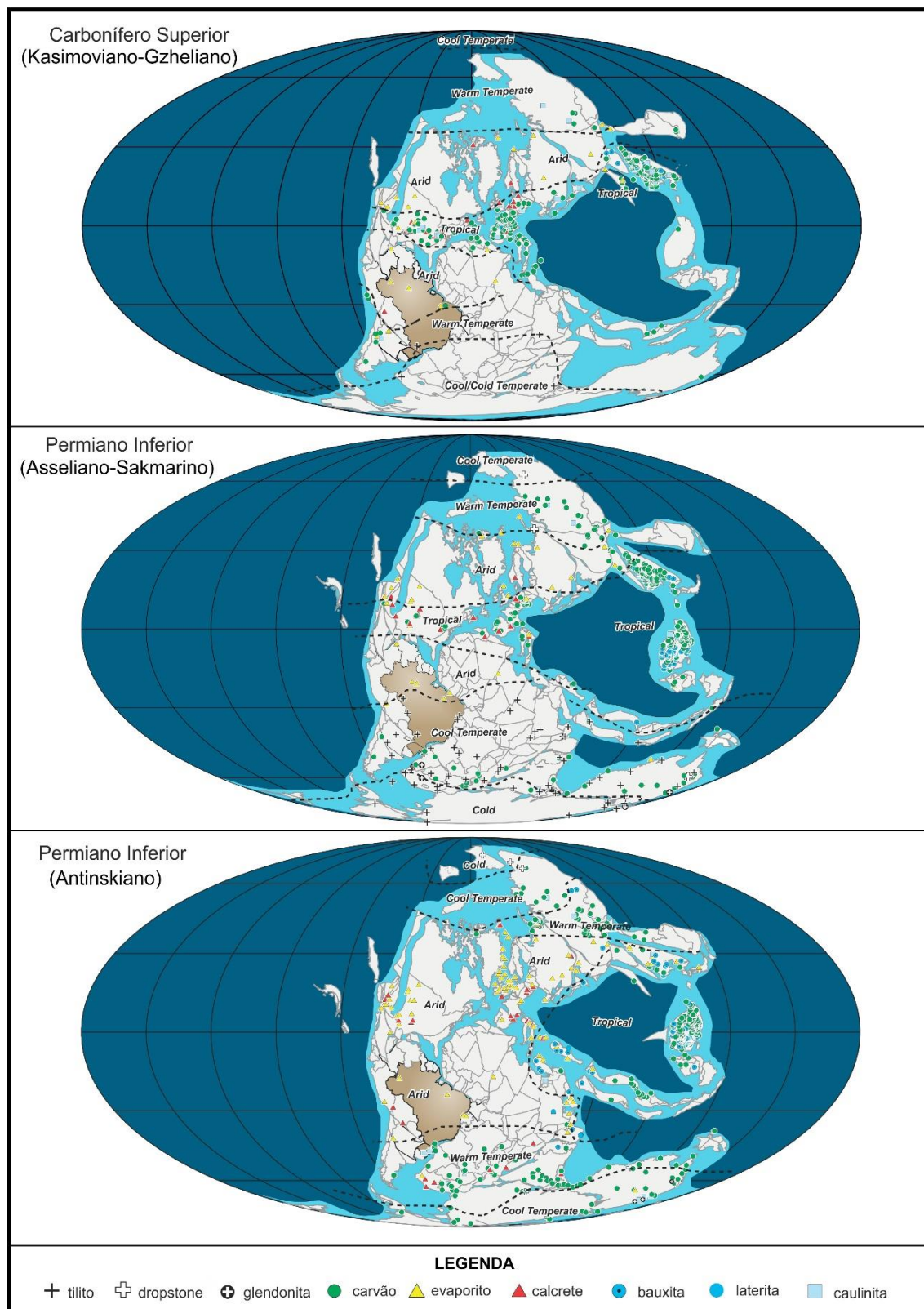
No Permiano o choque entre os continentes Gondwana e Laurásia estava na fase final (FORD; GOLONKA, 2003), nesse período a parte central do supercontinente Pangea estava submetida as ações de expressivos soerguimentos que continuaram a desenvolver cinturões montanhosos que se estendiam por todo o supercontinente (ZIEGLER; HUTVER; ROWLEY, 1997). Essas elevações continuas provocaram o desenvolvimento das drenagens nas partes mais internas do supercontinente e a formação de áreas mais áridas nas porções mais continentais (FORD; GOLONKA, 2003).

A maior parte do supercontinente Pangea permaneceu unida ao longo desse período, porém houve algumas rupturas ao longo das suas margens, a mais significativa ocorreu na parte sudeste do continente Gondwana, onde o oceano de Neotétis se formou (TORSVIK; COCKS, 2013).

O Período Permiano é marcado por mudanças climáticas, iniciando com temperaturas amenas herdadas do final do Carbonífero, que são logo substituídas por condições de aquecimento e aridez, essas mudanças ocorrem devido a expansão do supercontinente Pangea ao longo do Período Permiano (ANDRADE, 2012). Essa tendência do clima se tornar mais árido é caracterizado principalmente pelo forte ressecamento e predomínio de condições continentais, além da formação de depósitos eólicos, evaporitos, lacustres e planície de *sabkha* (SANTOS; CARVALHO, 2009; ANDRADE, 2012).

No final do Permiano a tendência do clima se tornar mais árido foi intensificada devido as erupções vulcânicas ocorridas na Sibéria (SCOTESE, 1999), e este evento pode estar associado a extinção em massa no final do Paleozóico (SCOTESE, 1999).

Figura 5- Principais zonas climáticas durante a transição do Carbonífera para o Permiano e seus respectivos indicadores climáticos.



Fonte: Boucot; Xu; Scotese. (2013).

4 ANÁLISE DE FÁCIES

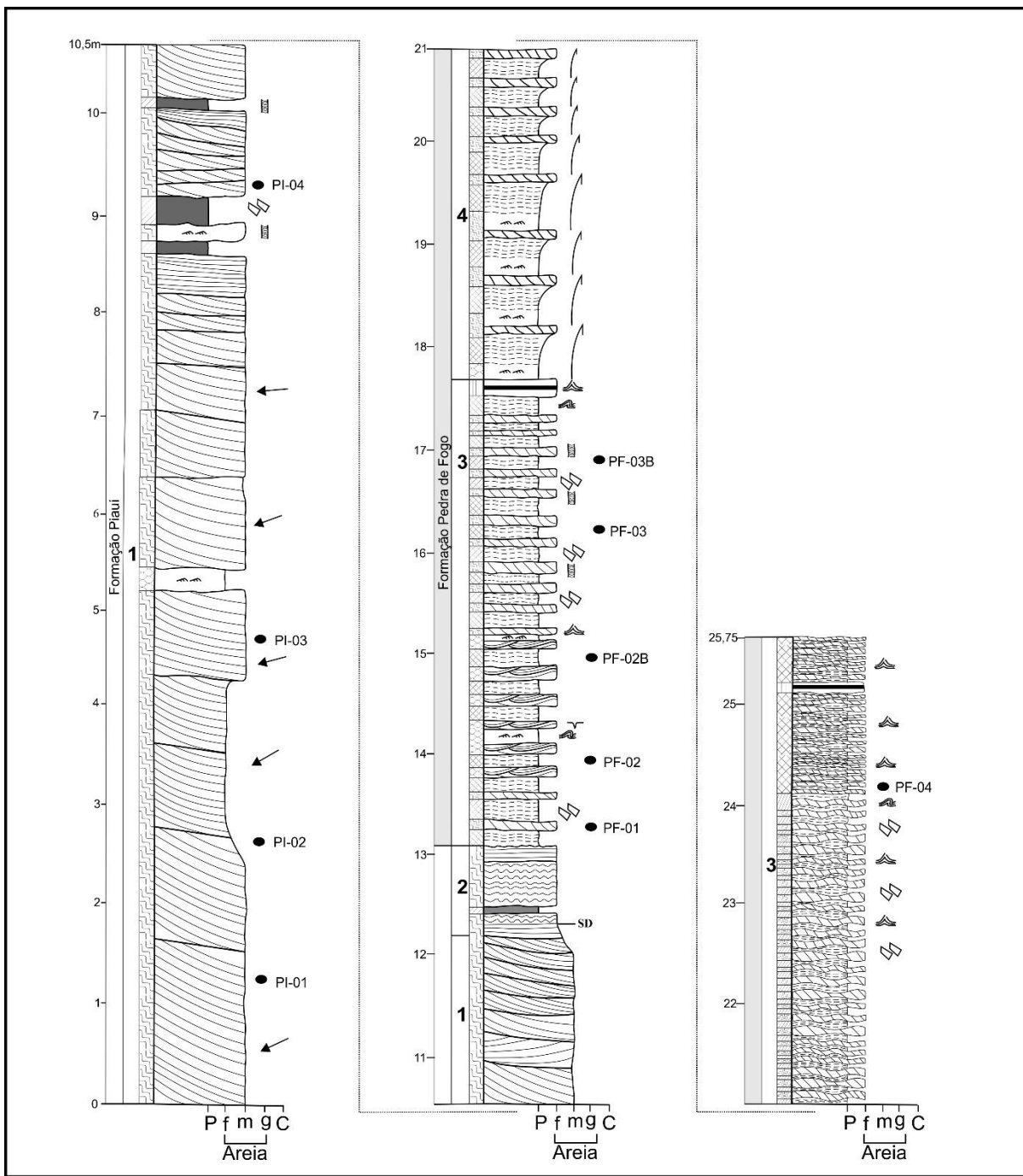
4.1 ASPECTOS GERAIS

A sucessão sedimentar estudada na região de Teresina (PI), é constituída pelas formações Piauí a Pedra de Fogo (Figura 6). Estas duas unidades estão expostas em cortes de estradas (PI-130), na região de Teresina (PI), Onde foi confeccionado um único perfil de 25 m de espessura, com extensão lateral de aproximadamente 300 m.

A Formação Piauí é constituída predominantemente por arenitos finos a médios com estratificação plano-paralela à cruzada de pequeno a médio porte, arenitos com estruturas de adesões, além de pelitos maciços presentes mais ao topo dessa formação. Enquanto a Formação Pedra de Fogo é composta por pelitos laminados de coloração vermelha, e arenitos de granulação fina com níveis silicificados, além da ocorrência de gretas de contração, bioturbações e *tepees*. O contato entre estas duas formações é brusco, passando de arenito de granulação fina com estratificação plano-paralela, da Formação Piauí, a um pelito laminado, da Formação Pedra de Fogo. O contato é marcado pela passagem das associações de fácies: lençol de areia (AF2) para *sabkha* continental (AF3).

A análise de fácies da sucessão estudada possibilitou a identificação e a individualização de 11 fácies sedimentares, agrupadas em 4 associações de fácies. Na Formação Piauí, foi atribuída 2 associações de fácies, interpretadas como Campo de dunas (AF1) e lençol de areia (AF2). Já para a Formação Pedra de Fogo foi atribuída 2 associações de fácies, interpretadas como depósitos *Sabkha* continental (AF3) e Lacustre raso (AF4) (Figura 6; Tabela 1). As deposições dos sedimentos desses ambientes ocorreram no final do Carbonífero (Pensilvaniano) a início do Permiano.

Figura 6- Perfil Estratigráfico da zona de contato entre as formações Piauí e Pedra de Fogo, próximo à Vila Castelhana, município de Palmeiras (PI).



LEGENDA			Granulometria		ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	COR
<ul style="list-style-type: none"> Estratificação cruzada tangencial Laminação ondulada Laminação de adesão Laminação plano-paralela Pelito ondulado Nível de silicificação 	<ul style="list-style-type: none"> Pelito maciço Laminação cruzada cavalgante Direção de migração das dunas Ciclos granocrescentes Gretas de contração Tepee 	<ul style="list-style-type: none"> Moldes evaporíticos SD Superfície de deflação Convolução Bioturbação Amostras 	<ul style="list-style-type: none"> P f m g C 	<ul style="list-style-type: none"> Cascalho Areia Grossa Areia Média Areia Fina Pelito 		

Fonte: Do Autor.

Tabela 1 – Fácies, descrições e processos sedimentares das formações Piauí e Pedra de fogo

Fm	Fácies	Descrição	Processos	Associação de Fácies
PIAUI	Arenito com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte (At)	Arenitos finos a médios, de coloração amarelo esbranquiçado, com grãos bem selecionados, bimodais e bem Arredondados.	Migração de dunas eólicas 2D de pequeno a médio porte e de marcas onduladas formadas pelo vento “ <i>Wind ripples</i> ”.	CAMPO DE DUNAS (AF1)
	Arenito com laminação cruzada cavalgante transladante (Alt)	Arenitos finos, com grãos bem selecionados e bem arredondados, com laminação cruzada cavalgante transladante subcrítica.	Depositados por saltação e arraste de grãos sob condições subaéreas.	
	Pelito maciço (Pm)	Pelito maciço de coloração amarelo avermelhado.	Deposição por suspensão em ambiente de baixa energia.	
	Arenito com marca de aderência (Amd)	Arenitos finos a médios moderadamente selecionado, formando marcas onduladas de adesão “ <i>adhesion ripples</i> ”.	Forma-se pela aderência de grãos de areia transportados pelo vento a uma superfície úmida.	LENÇOL DE AREIA (AF2)
	Arenito com estratificação plano paralela (Ap)	Arenitos finos a médios, de coloração amarelo-amarronzado, com estratificação plano paralela	Migração de formas de leito plana a levemente onduladas (<i>wind ripples</i>) relacionada a um aumento na velocidade do vento.	
PEDRA DE FOGO	Pelito laminado (Pl)	Pelitos de coloração vermelho esbranquiçado, apresentando laminação plano-paralela à levemente ondulada com presença de moldes evaporíticos	Deposição a partir de suspensão	SABKHA CONTINENTAL (AF3)
	Arenito com laminação cruzada (Ac)	Arenitos finos de coloração marrom esbranquiçado, com laminações cruzadas incipiente, além de bioturbação e <i>tepees</i>	Migração de formas de leitos ondulados de pequeno porte. Posterior exposição subaérea	
	Arenito com laminação ondulada (Ao)	Arenitos finos de coloração marrom amarelada com laminação ondulada a levemente trucada	Forma-se a partir de migração de pequenas marcas onduladas em regime de fluxo inferior produzida por ação de pequenas ondas	
	Arenito com concreções silicosas (Acs)	Arenito de coloração cinza amarronzado contendo concreções silicosas, bolacha de sílica e moldes evaporíticos silicificados.	Gerada a partir da saturação e precipitação química de evaporitos e posterior substituição.	
	Arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc)	Arenitos muito finos a finos de coloração rosa esbranquiçada com laminação cruzada cavalgante.	Migração de marcas onduladas com alternância de tração e suspensão.	

PEDRA DE FOGO	Siltito laminado (SI)	Camadas decimétricas a centimétricas, tabulares e lateralmente contínuas	Deposição a partir de suspensão	CONTINUAÇÃO (AF4)
	Arenito com laminação cruzada (Ac)	Descrita na AF3		

Fonte: Do Autor.

4.2 DESCRIÇÕES DAS FÁCIES SEDIMENTARES

4.2.1 Arenito com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte (At)

Esta fácies é constituída por arenitos finos a médios, com grãos bem selecionados e bem arredondados de coloração amarelo esbranquiçado a amarronzado. Possui *sets* de estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte (Figura 7 A), com adelgaçamento ascendente, passando de 1 metro a 30 centímetros. Os *foresets* têm migração preferencial para NE-SW. Esta fácies foi formada a partir da migração de dunas eólicas 2D de pequeno a médio porte, e da migração de marcas onduladas formadas pelo vento “*Wind ripples*”.

4.2.2 Arenito com laminação cruzada cavalgante transladante (Alt)

Esta fácies é composta por arenitos de granulação fina, com grãos bem selecionados e arredondados de coloração amarelo-esbranquiçado a amarronzado. Formam *sets* de laminações cruzadas cavalgante transladante (Figura 7 B e C). A disposição desta fácies no afloramento está em forma de camadas tabulares, lateralmente contínuas por alguns metros com até 25 cm de espessura. Esta fácies foi formada a partir da deposição de grãos através de saltação e arraste sob condições subaéreas.

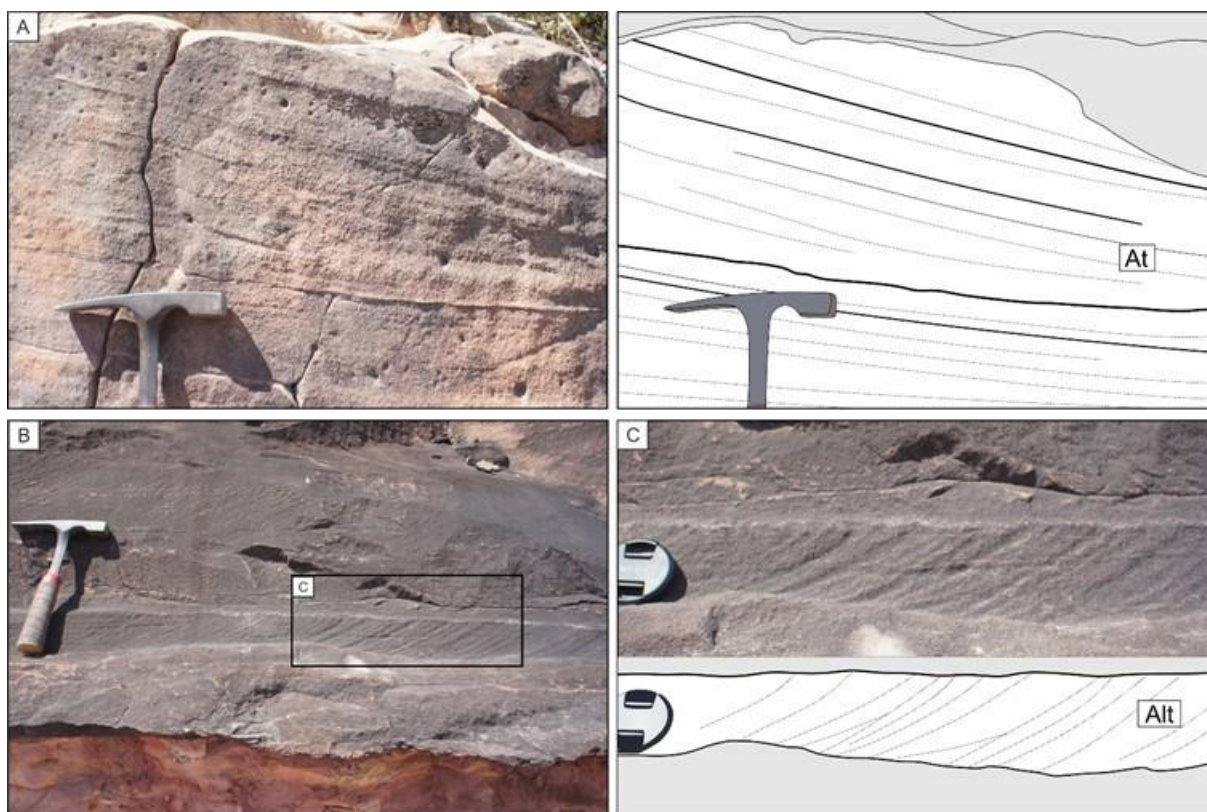
4.2.3 Arenito com marca de aderência (Amd)

Esta fácies é constituída por arenitos finos a médios, moderadamente selecionados e de coloração cinza esbranquiçado. Possui pequenas saliências subparalelas a inclinadas, interpretadas como marcas onduladas de adesão “*adhesion ripples*” e “*adhesion warts*” (Figura 8 B e C). A fácies Amd se formou a partir do transporte por saltação de grãos de areia através de uma superfície úmida, esses grãos ficaram presos pela tensão superficial.

4.2.4 Arenito com estratificação plano paralela (Ap)

Esta fácies é constituída por arenitos finos a médios, com grãos bem selecionados e arredondados de coloração amarelo amarronzado com estratificação plano-paralela (Figura 8 D). Esta fácies está disposta em camadas tabulares decimétricas a métricas (Figura 8 A e D). Sua formação está relacionada a migração de formas de leito planas a levemente onduladas a partir de um aumento na velocidade do vento.

Figura 7- Aspectos faciológicos das fácies At e Alt, constituintes dos depósitos de Campo de dunas (AF1) da Formação Piauí. A) Fácies arenito com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte, com detalhes das estruturas sedimentares; B-C) Arenito com laminação cruzada cavalgante transladante (Alt), com destaque para as laminacões cruzada cavalgante.



Fonte: Do Autor.

Figura 8- Fácies representativas da Formação Piauí, associação de fácies AF2- Lençol de areia. A) Aspecto geral da associação AF2, com destaque para as fácies Amd e Ap; B-C) Arenitos com *adhesion ripples* e *adhesion warts* (Amd). D) Arenitos com estratificação plano paralela (Ap).



Fonte: Do autor.

4.2.5 Pelito laminado (PI)

Esta fácies consiste em pelitos de cor vermelho esbranquiçado, com laminação plano-paralela (Figura 9 A; Figura 10 A e B e Figura 12 D). Esta fácies ocorre como camadas tabulares lateralmente contínuas por alguns metros, com 50 cm de espessura, intercalada com camadas de arenito com laminação cruzada incipiente

(Figura 10 A). Foram observados moldes evaporíticos silicificados como *popcorns* e bolacha de sílex presente no topo desta fácies. A fácies (PI) sugere deposição por suspensão. Os moldes evaporíticos se formaram a partir da saturação e precipitação química de evaporitos com posterior substituição dos sais através dos processos de silicificação.

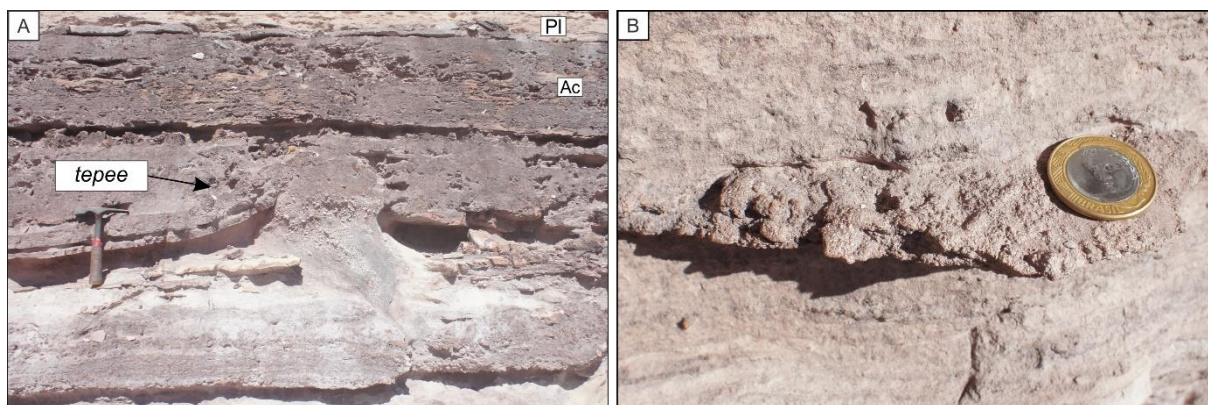
4.2.6 Arenito com laminação cruzada (Ac)

Esta fácies é constituída por arenitos de granulação fina de coloração marrom esbranquiçado, com laminações cruzada incipiente, *tepee* e bioturbação (Figura 9 A e B). Esta fácies compõe camadas tabulares lateralmente contínuas, com 0.5 m a 1 m de espessura, formada a partir da migração de formas de leitos ondulados de pequeno porte.

4.2.7 Arenito com laminação ondulada (Ao)

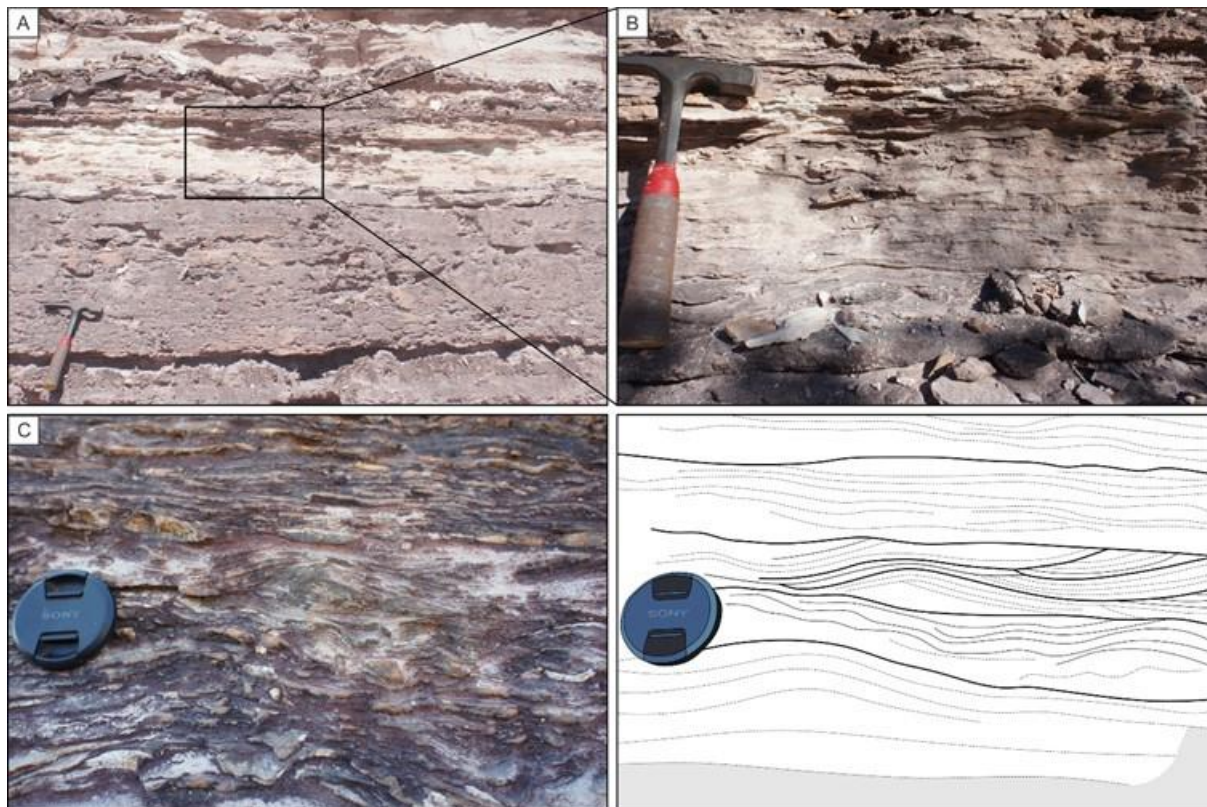
Esta fácies consiste em arenitos finos de coloração branco amarelado, dispostos em camadas decimétricas a centimétricas com laminação ondulada a levemente truncada (Figura 10 C; Figura 12 C), associadas a fácies PI. A fácies Ao é lateralmente continuidade, variando de 2 m a 10 m de extensão. Eventuais concreções silicificadas ocorrem concordantes as laminações onduladas. A fácies Ao se formou a partir da migração de pequenas marcas onduladas em regime de fluxo inferior produzida por ação de pequenas ondas. As concreções silicificadas foram formadas por substituição durante processos digenéticos.

Figura 9- Aspectos faciológicos das fácies PI e Ac, com destaque para: A) *tepee*, B) Bioturbações na fácies Ac.



Fonte: Do autor.

Figura 10- Associação AF3- *Sabkha* Continental. A) Características gerais entre as fácies PI e Ac, e geometria tabular das camadas; B) Detalhes da fácies Pelito laminado (PI); C) Característica da fácies arenito com laminação ondulada (Ao), com destaque para as laminações onduladas com eventuais nódulos de sílica e os truncamentos.



Fonte: Do autor.

4.2.8 Arenito com concreções silicosas (Acs)

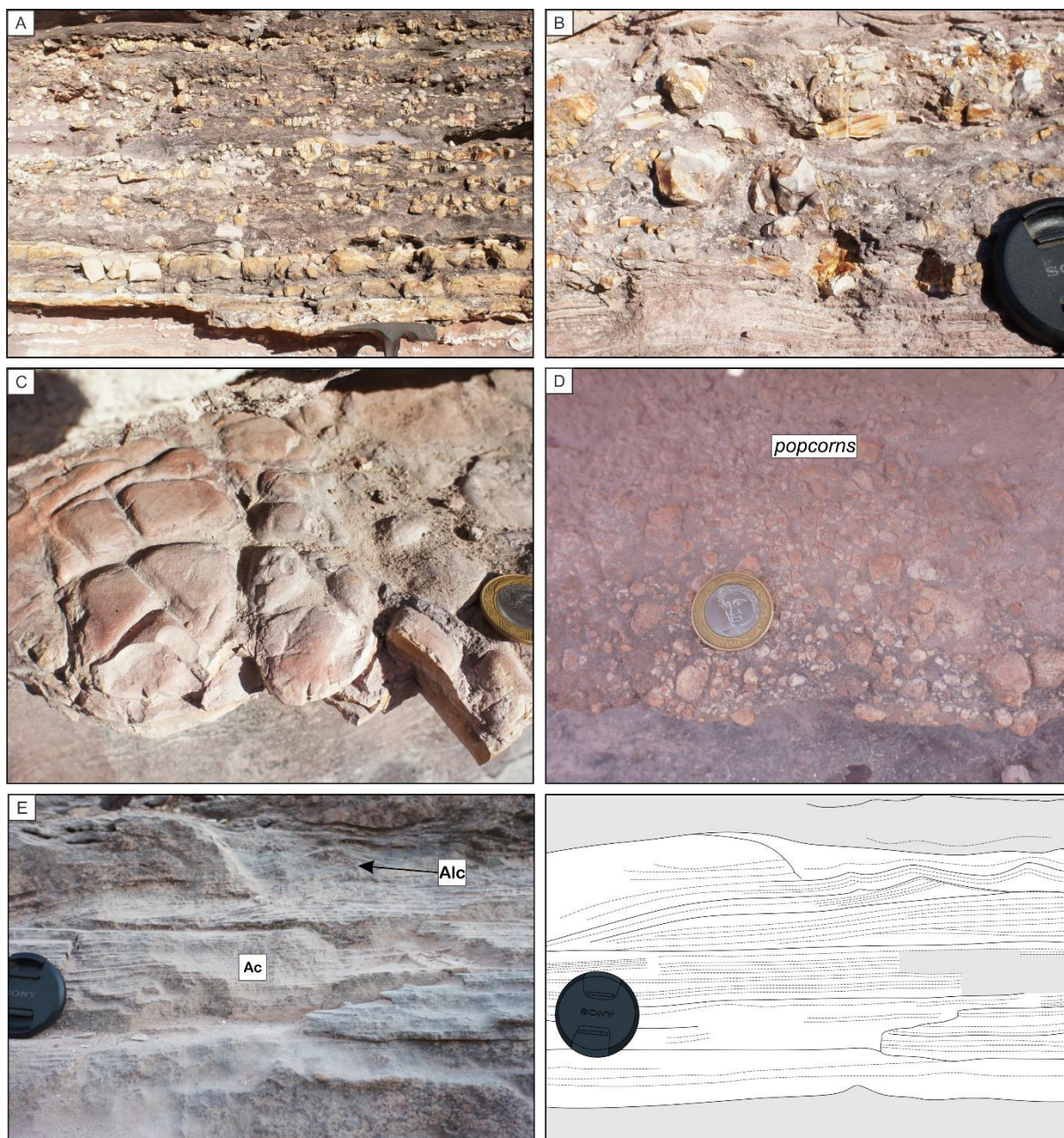
Esta fácies consiste em arenitos finos de coloração cinza amarronzada que formam camadas tabulares decimétricas a centimétricas, lateralmente contínuas, com ocorrência de concreções silicificadas, bolacha de sílica e moldes evaporíticos silicificados (Figura 11 A, B, C e D). Os contatos observados com as fácies adjacentes geralmente são bruscos nas bases e topos das camadas, onde a fácies Acs está em contato com os pelitos Laminados.

4.2.9 Arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc)

Esta fácies é constituída por arenitos finos a muito finos de coloração rosa esbranquiçada com Laminação cruzada cavalgante (Figura 11 E). Nesta fácies ocorre lateralmente laminações planas a levemente onduladas. Forma camadas tabulares com espessuras centimétricas a decimétricas. Esta fácies se formou a partir da

deposição por meio de fluxo oscilatório e combinado sob processos de tração e suspensão.

Figura 11- Associação AF3- *Sabkha* continental. A) Arenito com concreções silicosas (Acs); B) Níveis silicificados, pertencente a fácies Acs. C) Nódulos silicificados “bolacha de sílex”; D) Moldes evaporíticos completamente silicificados (*popcorns*); E) Contato entre as fácies Ac e Alc pertencente a associação AF4- lacustre raso.



Fonte: Do autor.

4.2.10 Siltito laminado (SI)

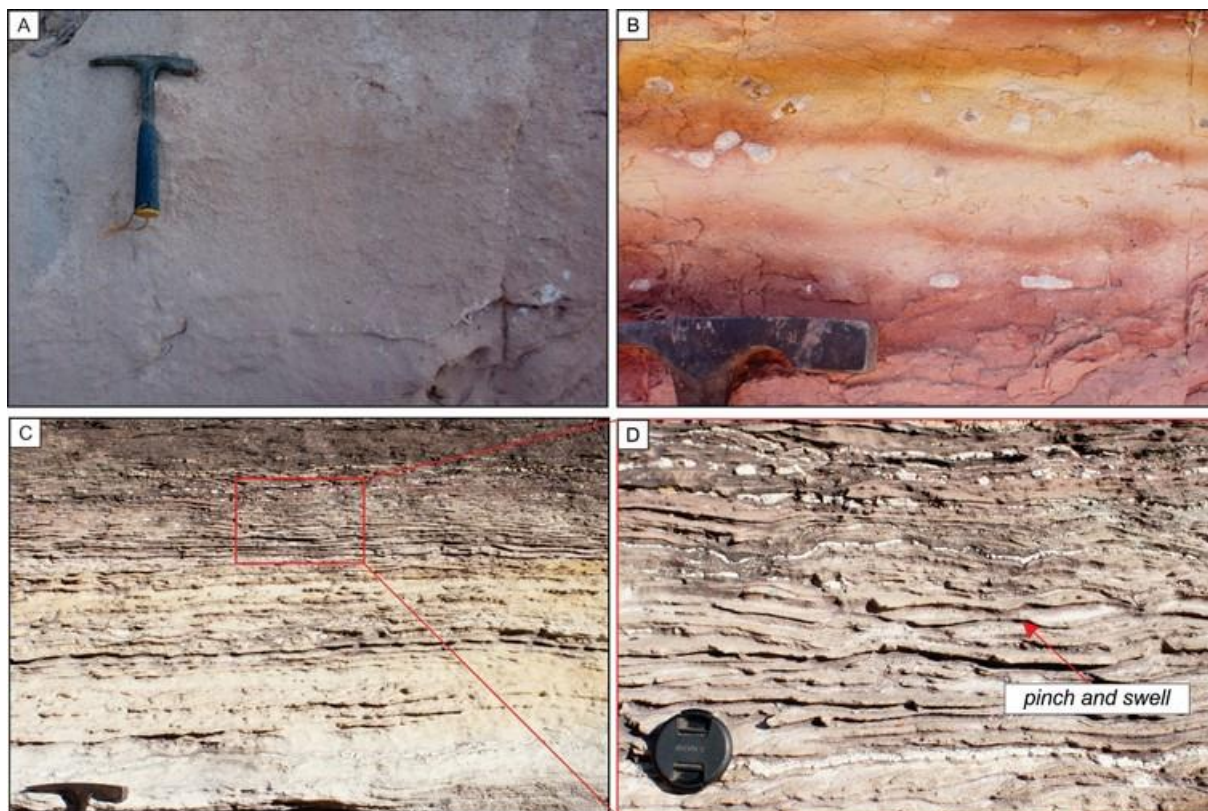
Esta fácies é constituída por siltitos de coloração marrom avermelhado, com laminação ondulada a levemente plano-paralela. Ocorre como camadas tabulares

decimétricas a centimétricas, lateralmente contínuas por alguns metros, com espessura de até 50 cm. A fácies SI é intercalada pela fácies Ac. Esta fácies (SI) sugere deposição por suspensão em períodos de baixa energia.

4.2.11 Pelito maciço (Pm)

Esta fácies é constituída por pelitos maciços de coloração amarelo avermelhado a alaranjado (Figura 12.A e B). Esta fácies está sotoposto a fácies At e sobreposto a fácies Ap. A fácies Pm se formou por deposição por suspensão em ambiente de baixa energia.

Figura 12- Aspectos gerais das Associações AF1 e AF3, das Formações Piauí e Pedra de Fogo; A-B) Fácies pelito maciço; C-D) Fácies arenito e pelito laminado com destaque para o padrão “*pinch-and-swell*”.



Fonte: Do autor.

4.3. ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DA FORMAÇÃO PIAUÍ

4.3.1. Associação de Fácies 1 (AF1) – Campo de dunas

A associação de fácies AF1 está exposta próximo à Vila Castelhana, no município de Palmeiras (PI), na rodovia estadual PI-130, onde aflora a partir de cotas superiores a 190 m de elevação (Figura 01). Esta associação representa uma sucessão de 13 m de espessura, onde as fácies formam um conjunto de camadas tabulares.

A associação (AF1) Campo de dunas é constituída por arenito com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte (At), arenito com laminação cruzada cavalgante transladante (Alt) e pelito maciço (Pm). Os arenitos apresentam granulometria fina a média com grãos bem selecionados e arredondados de coloração amarela esbranquiçada. Formam sets com tendência de adelgaçamento ascendente que migração preferencial para NE-SW.

A fácies arenito com estratificação cruzada tangencial foi gerada pela migração de dunas eólicas 2D de pequeno a médio porte, formadas pelo vento “*Wind ripples*”. Os sets desta fácies apresentam tendência de adelgaçamento ascendente, passando de 1 metro a 30 centímetros de espessura. Enquanto a fácies Alt se desenvolveu a partir da migração de marcas onduladas através de saltação e arraste sob condições subaéreas, gerando sets de laminação cruzada cavalgante transladante (KOCUREK; DOTT, 1981). Já a fácies pelito maciço se desenvolveu a partir de um aumento no nível da lamina d’água, onde foi gerada a partir da deposição por suspensão de sedimentos mais finos. Este aumento da lamina d’água pode estar associado, segundo Kocurek e Havholm (1993); Kocurek (1996); Laity (2008), a subida do lençol freático, esse aumento restringiu o aporte de sedimentos disponíveis na formação de dunas, resultando na diminuição dos sets, como observado na sucessão estuda (Figura 6).

Essa elevação no nível do lençol freático inibiu o desenvolvimento do Campo de dunas, e favoreceu a implantação e o desenvolvimento de um lençol de areia (AF2) nas proximidades do Campo de dunas, sendo muito comum essa relação em um sistema desértico (FRYBERGER; AHLBRANDT; ANDREWS, 1979; KOCUREK, 1996).

4.3.2. Associação de Fácies 2 (AF2) - Lençol de areia

O depósito da associação de fácies AF2 está sobreposto aos sedimentos da associação de fácies AF1- Campo de dunas e sotoposto a associação de fácies AF3- *Sabkha* continental. A associação de fácies Lençol de areia constitui uma sucessão de até 2 m de espessura, composta por camadas tabulares que são lateralmente contínuas por alguns metros.

AF2 consiste nas fácies arenito com estratificação plano paralela (Ap) e arenito com marca de aderência “*adhesion ripples*”, “*adhesion warts*” (Amd). A associação corresponde ao topo da Formação Piauí, onde ocorre o contato com a Formação Pedra de fogo. O contato é marcado pelos arenitos da fácies Ap da associação AF2, com os pelitos laminados da associação AF3- *sabkha* continental.

Esta associação foi depositada em uma ampla área arenosa com predomínio de estratificação plano paralela, com restrições de áreas mais úmidas (KOCUREK, 1996; MOUNTNEY, 2006; PYE; TSOAR, 2009). A fácies arenito com estratificação plano paralela (Ap) foi formada por uma combinação de sedimentação rápida por ventos de alta velocidade, transportando areia de granulação fina a média. Pye e Tsoar (2009) sugeriram que o aumento na velocidade do vento é responsável pelo desenvolvimento da superfície de deflação. Enquanto que as áreas mais úmidas propiciaram o desenvolvimento das estruturas de adesão (*adhesion ripples*).

Conforme Fryberger; Ahlbrandt; Andrews (1979) e Kocurek (1996) o lençol de areia pode se formado nas margens do Campo de dunas, e um dos fatores que contribuíram para o desenvolvimento do lençol de areia próximo a esse ambiente foi a elevação no nível do lençol freático; segundo Kocurek (1996) e Laity (2008), este aumento restringiu o aporte sedimentar disponível para o desenvolvimento de Campo de dunas, e favoreceu o desenvolvimento do lençol de areia e a formação da fácies arenito com marcas de aderência (Amd).

4.4. ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DA FORMAÇÃO PEDRA DE FOGO

4.4.1. Associação de Fácies 3 (AF3) – *Sabkha* Continental

A associação de fácies AF3 está exposta em corte de estrada da rodovia estadual PI-130, nas proximidades da Vila Castelhana. O depósito da associação de fácies AF3 está sobreposto aos sedimentos da associação de fácies AF2 e sotoposto aos sedimentos da associação de fácies AF4. A associação de fácies AF3 consiste

em uma sucessão de camadas tabulares e lenticulares lateralmente contínuas por dezenas de metros, que alcançam até 4,5 m de altura.

A associação de fácies *sabkha* continental (AF3) é composta por 5 fácies: Pelito laminado (Pl), arenito com laminação cruzada incipiente (Ac), arenito com laminação ondulante a levemente trucada (Ao), Arenito com concreções silicosas (Acs) e arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc).

Os Pelitos e arenitos são levemente ondulados, com colorações avermelhadas a esbranquiçadas. A coloração avermelhada dos sedimentos segundo Nichols (2009), deve-se as condições oxidantes presente no ambiente.

Talbot e Allen (2009) afirmam que as partes mais rasas das planícies de *sabkha* continental estão expostas durante grande parte do tempo, sendo cobertas pela água somente durante os períodos de elevação do nível do lago ou em eventuais períodos de inundação, esse aumento no nível do lago ocasiona o retrabalhamento dos sedimentos e a formação de camadas inicialmente horizontais que gradam lateralmente para laminações onduladas. Estas laminações são presentes nos arenitos e pelitos laminados da associação de fácies AF3.

No entanto, segundo Talbot e Allen (2009) as planícies de *sabkha* continental são muitas vezes sujeitas a períodos prolongados de exposição subaérea, o que favorece a formação de *tepees*, gretas de contração e bioturbações.

Nas planícies de *sabkha* (Formação Pedra de Fogo), o período prolongado de exposição subaérea está relacionado segundo Andrade (2012), a uma elevação da aridez durante o período Permiano. Isso ocasionou um aumento na taxa de salinidade associada a alta taxa de evaporação, favorecendo a precipitação química de evaporitos e a formação de níveis silicificados, além da exposição subaérea, evidenciado pelos *tepees*, gretas de contração e as bioturbações.

4.4.2. Associação de Fácies 4 (AF4) – Lacustre raso

O depósito da associação de fácies AF4 está sobreposto aos sedimentos da associação de fácies AF3. A associação de fácies Lacustre raso constitui uma sucessão de até 3,5 m de espessura, composta por camadas tabulares a lenticulares que são lateralmente contínuas por alguns metros.

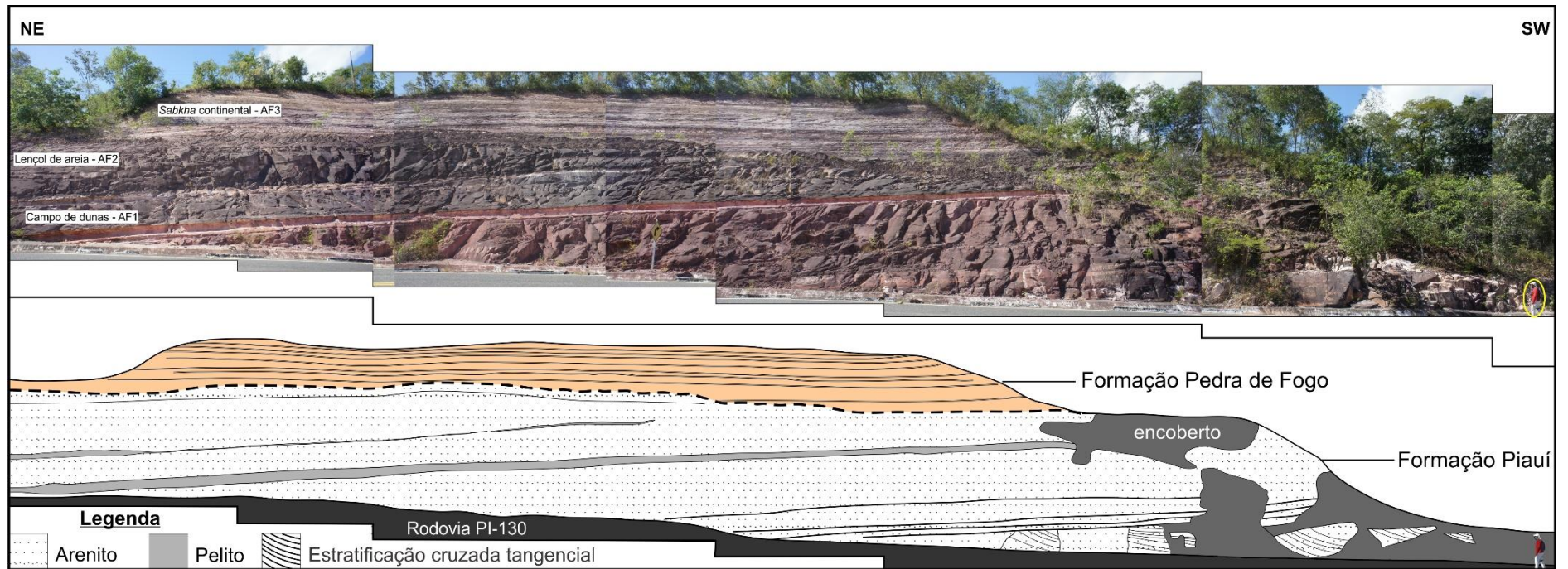
A associação de fácies AF4 é composta por 3 fácies: Arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc), Arenito com laminação cruzada (Ac) e Siltito laminado (Sl). Os arenitos apresentam laminações cruzada incipientes que gradam para uma

laminação cruzada cavalgante. A base desta associação de fácies é marcada pelos siltitos laminados de coloração marrom avermelhado com laminações levemente onduladas a plano-paralela formando camadas tabulares que são intercaladas com as fácies arenosas.

A associação de fácies AF4 apresenta uma tendência granocrescente ascendente, evidenciado pelo aumento da granulação dos sedimentos rumo ao topo, passando de siltitos laminados a arenitos laminados.

Esta associação de fácies, caracterizava-se pelo predomínio de processos de baixa energia, onde os sedimentos mais finos foram depositados por suspensão, dando origem as camadas da fácies siltito laminado (SI). Enquanto que as fácies mais arenosas se desenvolveram a partir de eventuais influxos de areia que adentravam no lago durante os períodos de precipitações torrenciais e contribuía com a manutenção do nível do lençol freático elevado (ANDRADE, 2012).

Figura 13- Seção panorâmica do contato entre as formações Piauí e Pedra de Fogo (linha tracejada), com destaque para as estruturas presentes nas associações Campo de Dunas (AF1), lençol de areia (AF2) e *Sabkha* Continental (AF3).



Fonte: Do autor.

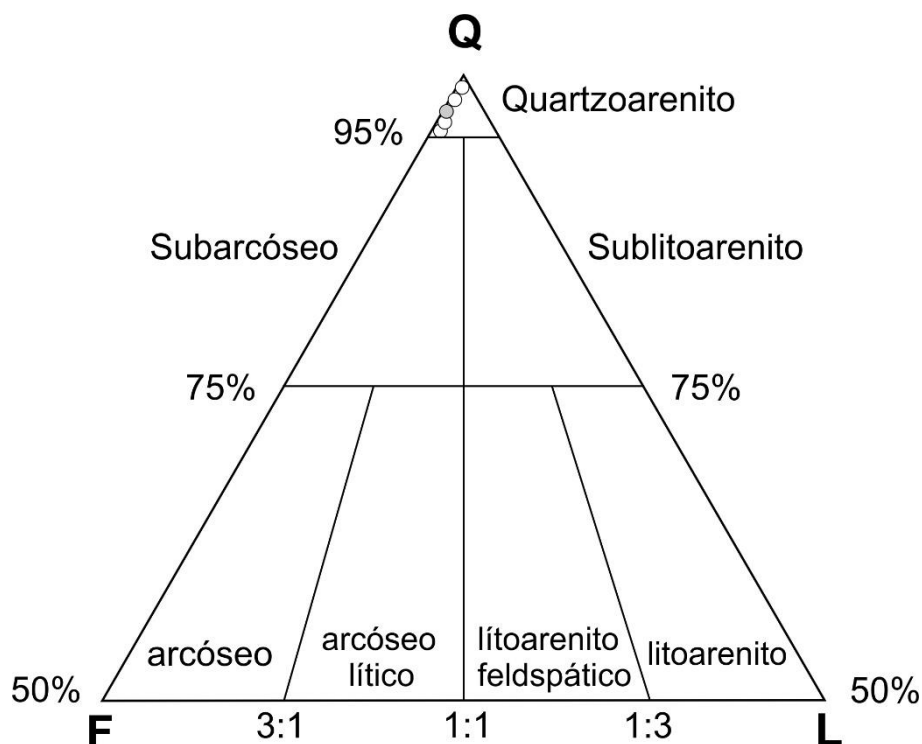
5 PETROGRAFIA

5.1. PETROGRAFIA DOS ARENITOS

5.1.1. Descrição e classificação dos arenitos

A petrografia dos arenitos das formações Piauí e Pedra de Fogo, descritos na região de Palmeiras (PI), estão concentrados respectivamente nas associações de fácies: Campo de dunas (AF1) e *Sabkha* continental (AF3). Onde foram analisadas 4 lâminas da associação AF1 (PI-01; PI-02; PI-03 e PI-04) e uma da associação AF3 (PF-01). Os arenitos foram definidos segundo a classificação de Folk (1968) (Figura 14) como Quartzarenito (AF1) (AF3).

Figura 14- Diagrama triangular de Folk (1968), com a composição detrítica dos arenitos da Formação Piauí (em branco), e da Formação Pedra de Fogo (em cinza).



Fonte: Do autor.

5.1.2. Arenitos da associação de fácies 1 (AF1) – Campo de dunas

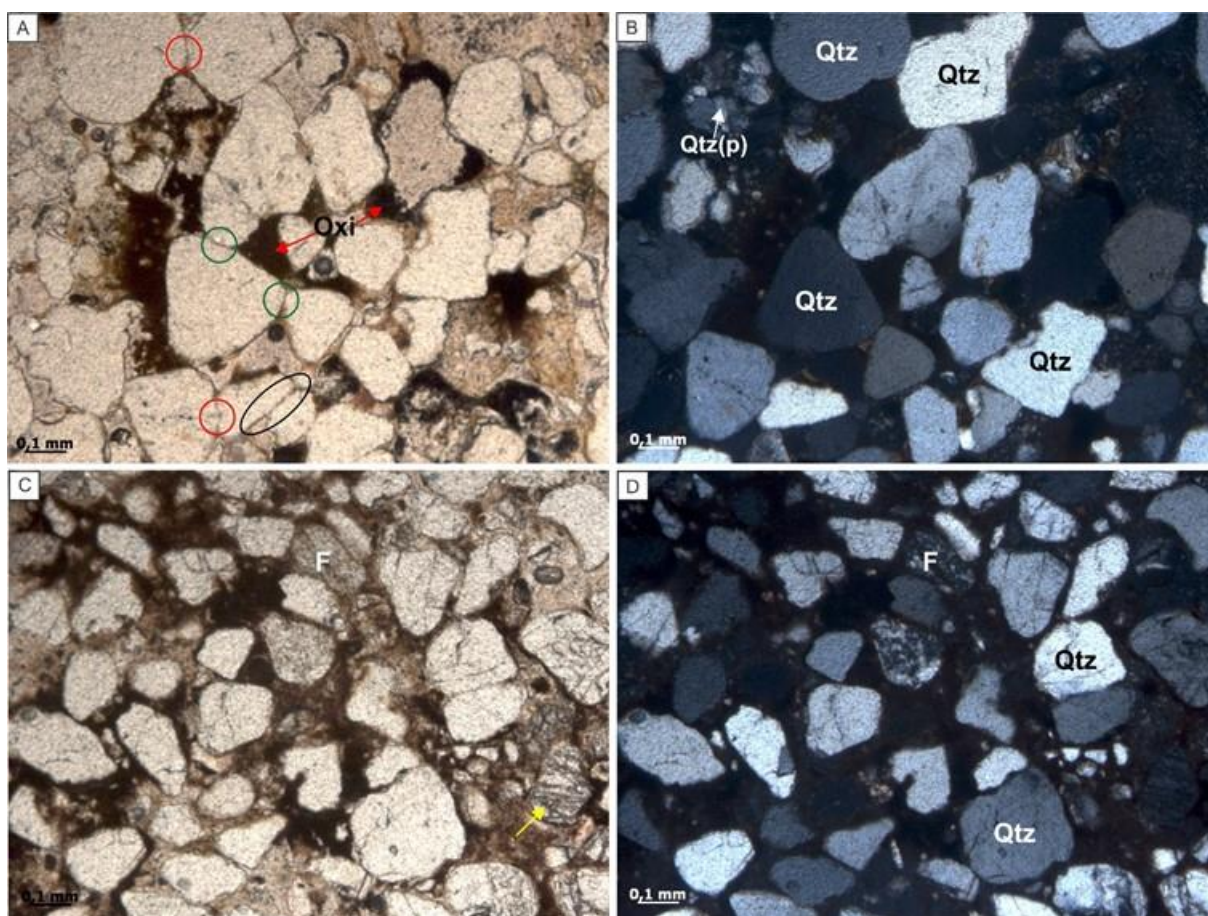
Em geral, os arenitos apresentam granulometria variando de areia fina (0,1mm) a média (0,5mm). Os grãos são bem selecionados, arredondados a subarredondados. Os contatos entre os grãos são predominantemente pontuais a retos, e localmente ocorrem contatos côncavo-convexos (Figura 15 A e B). Possuem empacotamento frouxo, com índice de empacotamento em média de 30 %.

Os principais constituintes dos arenitos são grãos de quartzo (média de 95,75%), fragmentos de rocha (média de 2,25%) e feldspatos (1%), e os constituintes secundários são representados por minerais opacos (> 1%).

O quartzo monocristalino é dominante nos arenitos, podendo apresentar extinção ondulante a reta, enquanto que o quartzo policristalino está em menor quantidade e se apresente mais localmente, seu modo de ocorrência é em grãos composto por cristais menores (0,07mm). Em geral o quartzo é subarredondado a arredondado, e localmente subanguloso, devido ao sobrecrecimento sintaxial de quartzo.

Os feldspatos são os constituintes com menor proporção nos arenitos, representados predominantemente por ortoclásio, que apresenta um aspecto mais “sujo” e um relevo mais baixo em comparação com o quartzo (Figura 15 C e D).

Figura 15- Aspectos petrográficos dos arenitos da Associação AF1- Campo de Dunas, Formação Piauí. A e B) Fotomicrografias dos quartzarenitos, com destaque para os contatos pontuais (círculo verde), retos (círculo preto) e contatos côncavo-convexo (círculo vermelho), além da presença de óxido e hidróxido Fe. C e D) Feldspato alterado (F) e quartzo fraturado (seta amarela). D) (Fotos A e C com N//; B e D com Nx). (Quartzo policristalino-Qtzp; quartzo monocristalino-Qtz).

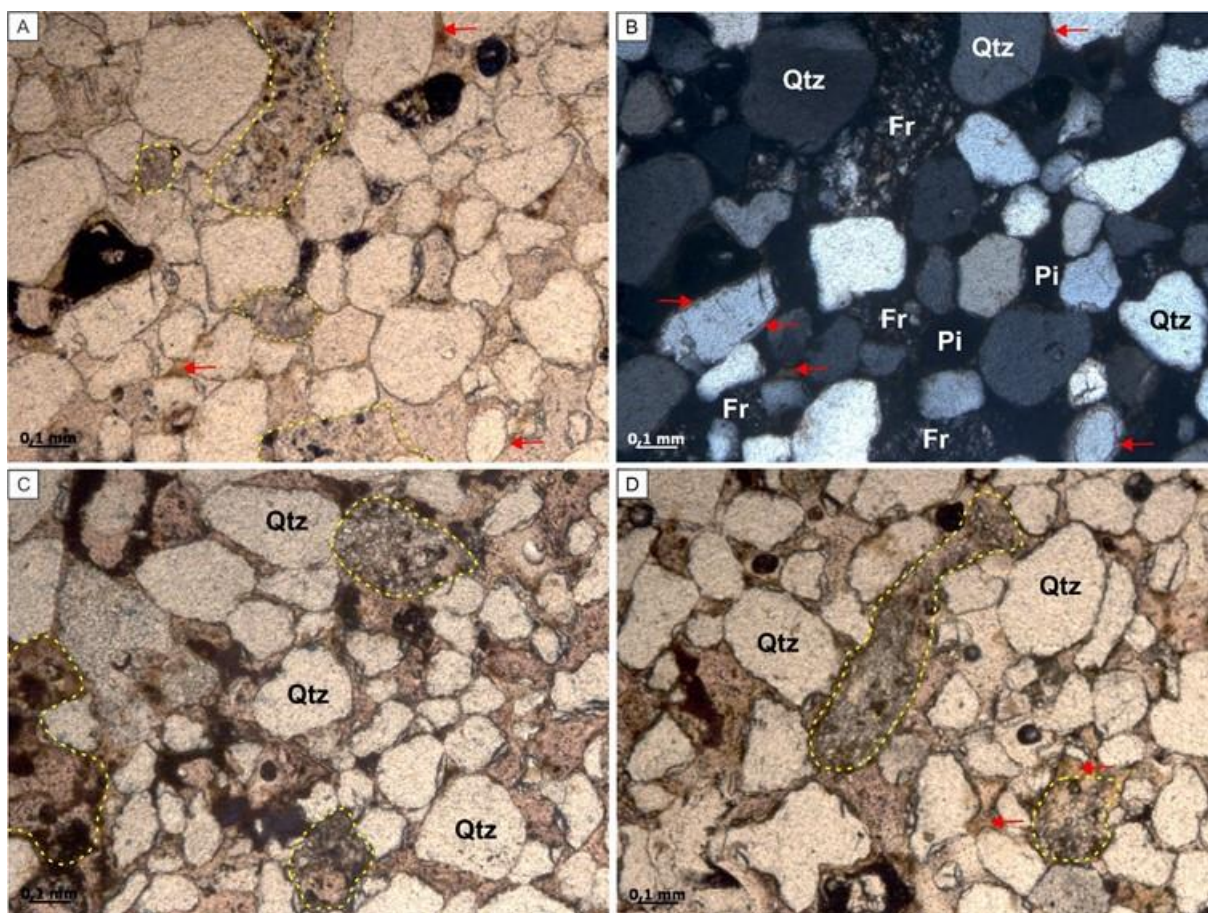


Fonte: Do Autor.

Os fragmentos de rocha, principalmente pelítico e *chert* são geralmente subangulosos e manchados por películas de óxidos e hidróxido de ferro. Parte do fragmento de rocha pelítico contém quartzo de tamanho silte (Figura 16 A a D).

É comum encontrar nos arenitos a presença de películas de óxidos e hidróxidos de ferro sobre os grãos de quartzo, e também preenchendo parcialmente os poros intergranulares (Figura 16 B e, 17 D e F), e mais localmente presente nas bordas dos poros agigantados e poros móldicos (Figura 17 C, D, E e F). Esses grãos de quartzo muitas vezes apresentam crescimento secundário (Figura 17 A e B), que são caracterizados por apresentar bordas retas ou por “linhas de sujeira” em volta dos grãos compostos por óxidos e hidróxidos de Fe.

Figura 16- Fotomicrografia dos arenitos da Associação AF1, Formação Piauí. A, B, C e D) aspectos gerais dos fragmentos de rocha (Fr) (contorno tracejado em amarelo), com detalhes dos poros intergranulares (Pi) e das cutículas de argila (setas vermelhas) nas bordas e no interior dos poros (Fotos A, C e D com N//; B com Nx)

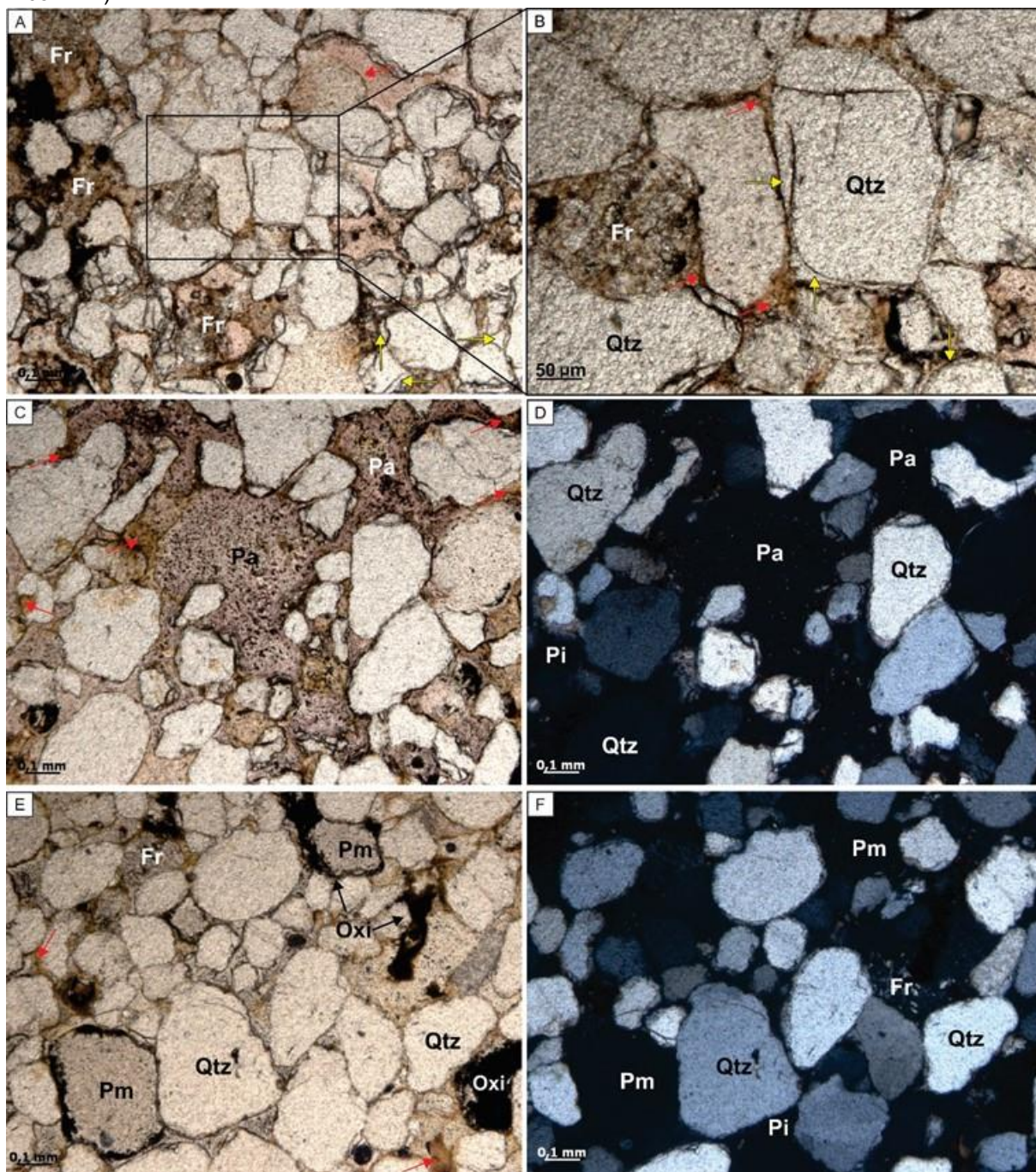


Fonte: Do autor.

Ocorre também nos arenitos, cutículas (*coatings*) de argila (Figura 16, Figura 17 A a F) que estão dispostas tangencialmente a superfície dos grãos de quartzo. Esta argila pode ter sido inserida nos espaços intersticiais dos arenitos, segundo De Ros e

De Cesero (1986) a partir da infiltração mecânica de argila após a deposição por infiltração da água das enxurradas episódicas, isso é muito comum em ambientes desérticos, onde os prolongados períodos de estiagem provocam o rebaixamento do lençol freático, e acaba contribuindo com esse processo.

Figura 17- Aspecto geral das lâminas do arenito da associação AF1-Campo dunas. A e B) Fotomicrografia de quartzarenito, com destaque para o sobrecrescimento sintaxial de quartzo (seta amarela) e a presença de argila em forma de cutículas (setas vermelhas), que estão envolta dos grãos de quartzo (Qtz) e dos poros. C e D) poros agigantados (Pa) e poros intergranulares (Pi). E e F) poros móldicos contornados por cimento de oxido e hidróxido de ferro (Oxi) (Fotos A, B, C e E com N//; D e F com Nx).



Fonte: Do autor.

5.1.3. Arenitos da associação de fácies 3 (AF3) – *Sabkha* continental

Em geral, os arenitos apresentam granulometria variando de areia muito fina (0,08mm) a areia fina (0,1mm), com predomínio deste último. Representa um quartzarenito que contém grãos subarredondados a subangulosos, moderadamente bem selecionados. Os contatos entre os grãos são predominantemente pontuais a retos, e localmente ocorrem contatos côncavo-convexos (Figura 18 A e B). Os arenitos possuem o empacotamento normal (42%).

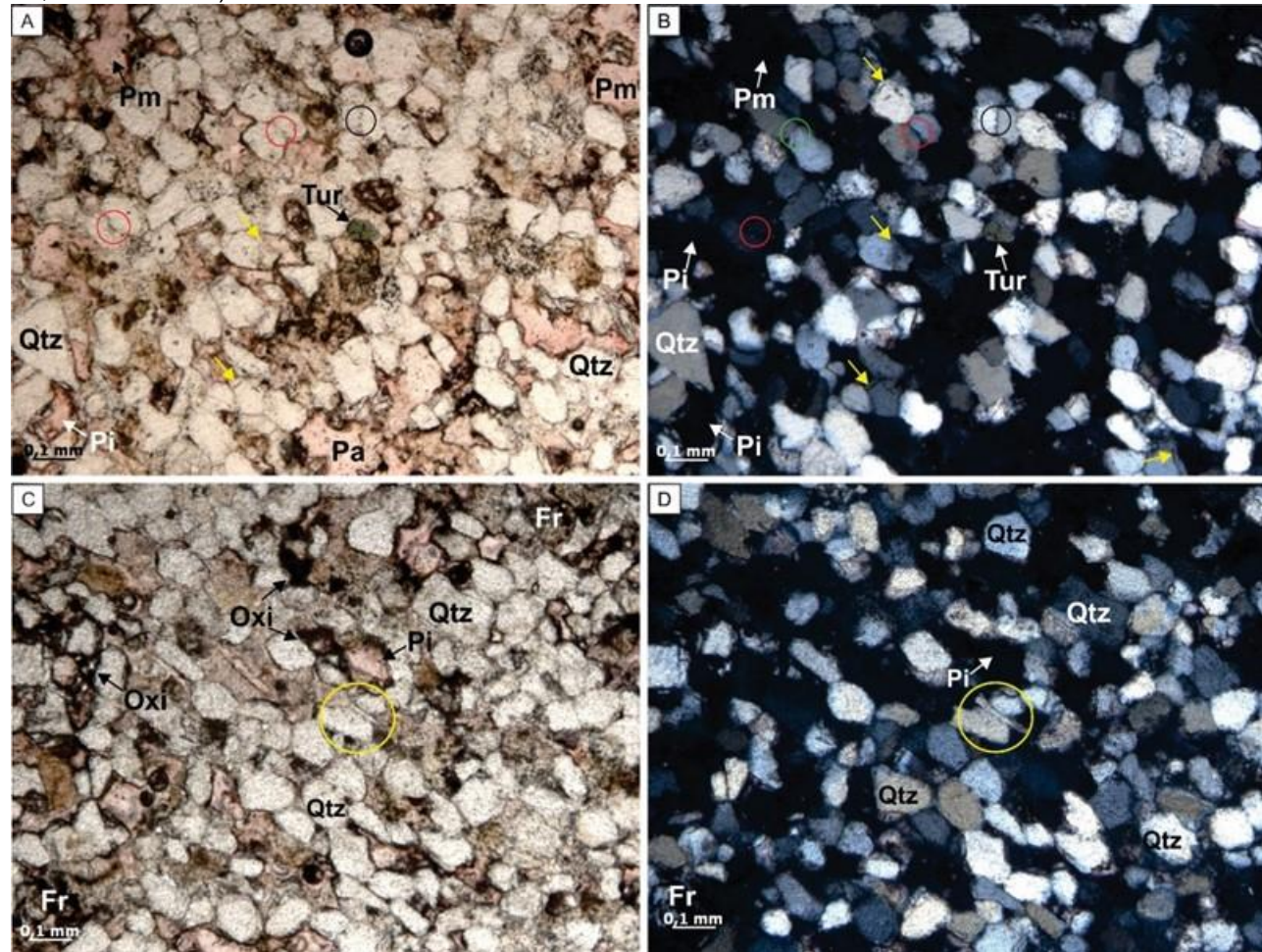
Os principais constituintes dos arenitos são grãos de quartzo (97%), e fragmentos de rocha (média de 2%), e os constituintes secundários são representado por turmalina, muscovita e minerais opacos (> 1%) (Figura 18 A, C e D)

O quartzo é o principal constituinte deste arenito, sendo predominantemente monocristalino, e mais raramente ocorre quartzo policristalino. Em geral os grãos de quartzo são subédricos a anédricos, com ocorrência localmente de sobrecrecimento sintaxial de quartzo, sendo evidenciado pelas bordas retas e pelas “linhas de sujeira” em volta dos grãos (Figura 18 A e B).

Os fragmentos de rocha são os constituintes detríticos presentes entre os grãos de quartzo, sendo principalmente fragmentos pelíticos com presença de pequenos grãos de quartzo inseridos nessa massa argilosa. Esses fragmentos pelíticos estão parcialmente cobertos por uma película de óxido/hidróxido de ferro.

É frequente ainda a presença de películas de óxidos/hidróxidos de ferro, que ocorrem nas bordas, sobre os grãos de quartzo e preenchendo parcialmente os poros intergranulares. A principal porosidade identificada em todas as amostras é primária intergranular e mais localmente ocorrem poros móldicos e agigantados (Figura 18 A).

Figura 18- Aspecto geral da lâmina de arenito da associação AF3-*Sabkha* continental, Formação Pedra de Fogo. A e B) Fotomicrografia de quartzarenito, com destaque para o sobrecrecimento sintaxial de quartzo (seta amarela) e detalhes dos contatos pontuais (círculo verde) reto (círculo preto) e côncavo-convexo (círculo vermelho). Há também a ocorrência de poros intergranulares (Pi) e eventuais poros móldicos (Pm) e poros agigantados (Pa). C e D) Ocorrência de quartzo (Qtz), muscovita (círculo amarelo) e fragmento de rocha (Fr), além de oxido/hidróxido de ferro presentes nas bordas, sobre os grãos e preenchendo poros (Fotos A e C com N//; D e D com Nx).



Fonte: Do Autor.

5.2. PETROGRAFIA DOS PELITOS

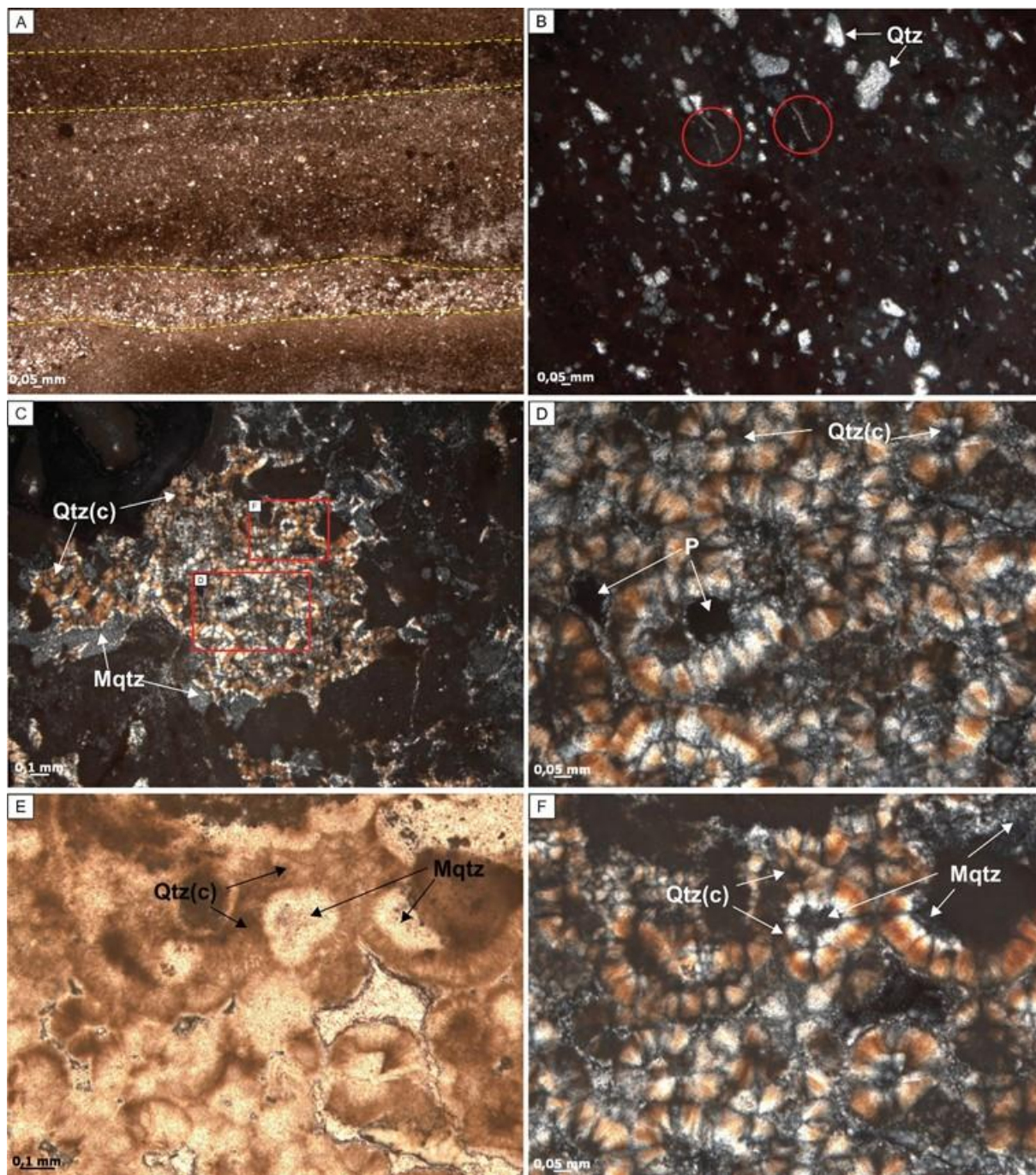
5.2.1 Descrições dos pelitos

A petrografia dos Pelitos da Formação Pedra de Fogo, descritos na região de Palmeiras (PI), estão concentrados na associação de fácies *Sabkha* Continental (AF3). Onde foram analisadas 5 lâminas da associação AF3 (PF-02; PF-02B; PF-03, PF-03B e PF-04). Os pelitos foram classificados como argilitos (Figura 19).

Os pelitos são localmente laminados (Figura 19A), compostos quase inteiramente por partículas terrígenas como argila, quartzo e muscovita. Em geral, a matriz corresponde a 90% do total de constituintes da rocha, sendo composta por argila que possui uma coloração marrom escura, enquanto os grãos de quartzo são subarredondados a subangulosos de tamanho silte, esses grãos ocorrem tanto dispersos e isolados na matriz, quanto em laminações, onde estão mais concentrados e possuem uma coloração mais clara do que a matriz (Figura 19A). Já a muscovita ocorre mais localmente na rocha (Figura 19B).

Há porções dos pelitos onde possui uma maior concentração de sílica (*cherts*) (Figura 19C), onde se observa dois tipos de quartzo, o primeiro corresponde a grãos mais finos (microquartzo) (Figura 19C), que segundo Adams; Mackenzie; Guilford. (1984), pode estar associado aos grãos originais que foram substituídos por sílica (porções mais claras). E o segundo corresponde ao quartzo radial fibroso (calcedônia) (Figura 19C) (porções mais escuras), que ocorre na forma de arranjos radiais. Localmente as porções mais centrais do quartzo calcedônico apresenta uma porosidade que pode estar preenchida com microquartzo (Figura 19D, E e F).

Figura 19- Aspecto geral da lâmina de pelitos da associação AF3-*Sabkha* continental, Formação Pedra de Fogo. A) Fotomicrografia das feições gerais dos pelitos, com destaque para as laminações (separada pelo tracejado amarelo); B) Muscovita (círculos vermelhos) e grãos de quartzo (Qtz); C) Aspectos gerais dos nódulos de sílica (*cherts*); D) Poros presente no quartzo calcadônico- Qtz(c); E e F) detalhes do quartzo calcadônico com presença de quartzo microcristalino preenchendo poros (MQtz) (Fotos A e E com N//; B, C, D e F com Nx).



Fonte: Do autor.

6 PALEOAMBIENTE E MODELO DEPOSICIONAL

As análises de fácies dos depósitos da região de Palmeiras (PI), permitiram o reconhecimento de quatro associações de fácies: Campo de dunas, Lençol de areia (Formação Piauí), passando para depósitos de *sabkha* continental e lacustre raso, da Formação Pedra de Fogo (Figura 20).

O final do Carbonífero e início do Permiano foi marcado pela implantação de sistema desértico, com a formação de depósitos de Campo de dunas (AF1) e lençol de areia (AF2) (Formação Piauí), que registraram o início de um clima semiárido a desértico (FILHO; ROCHA-CAMPOS, 1992; VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007).

A implantação do depósito de Campo de dunas foi marcado pela formação de arenitos finos a médios, bem selecionados, com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte, laminação cruzada cavalgante transladante e pelito maciço. Estas fácies foram influenciadas por oscilações no nível da lamina d'água que estava condicionada as variações climáticas do final do Carbonífero-início do Permiano.

Neste ambiente os longos períodos de estiagem contribuíram, conforme De Ros e De Cesero (1986) com rebaixamento do nível do lençol freático, isso favoreceu o desenvolvimento de cutículas (*coatings*) de argila nos arenitos, que foram inseridas nos espaços intersticiais dos arenitos a partir da infiltração mecânica durante as enxurradas episódicas. Enquanto que um aumento no nível da lamina d'água (elevação do lençol freático), limitou o fornecimento de sedimentos para o desenvolvimento das fácies arenosas, culminando com a diminuição dos *sets* (KOCUREK, 1996; LAITY, 2008).

Essa redução no aporte sedimentar inibiu o desenvolvimento do Campo de dunas e favoreceu a implantação e o desenvolvimento de um lençol de areia a margem do Campo de dunas (FRYBERGER; AHLBRANDT; ANDREWS, 1979; KOCUREK, 1996; LAITY, 2008).

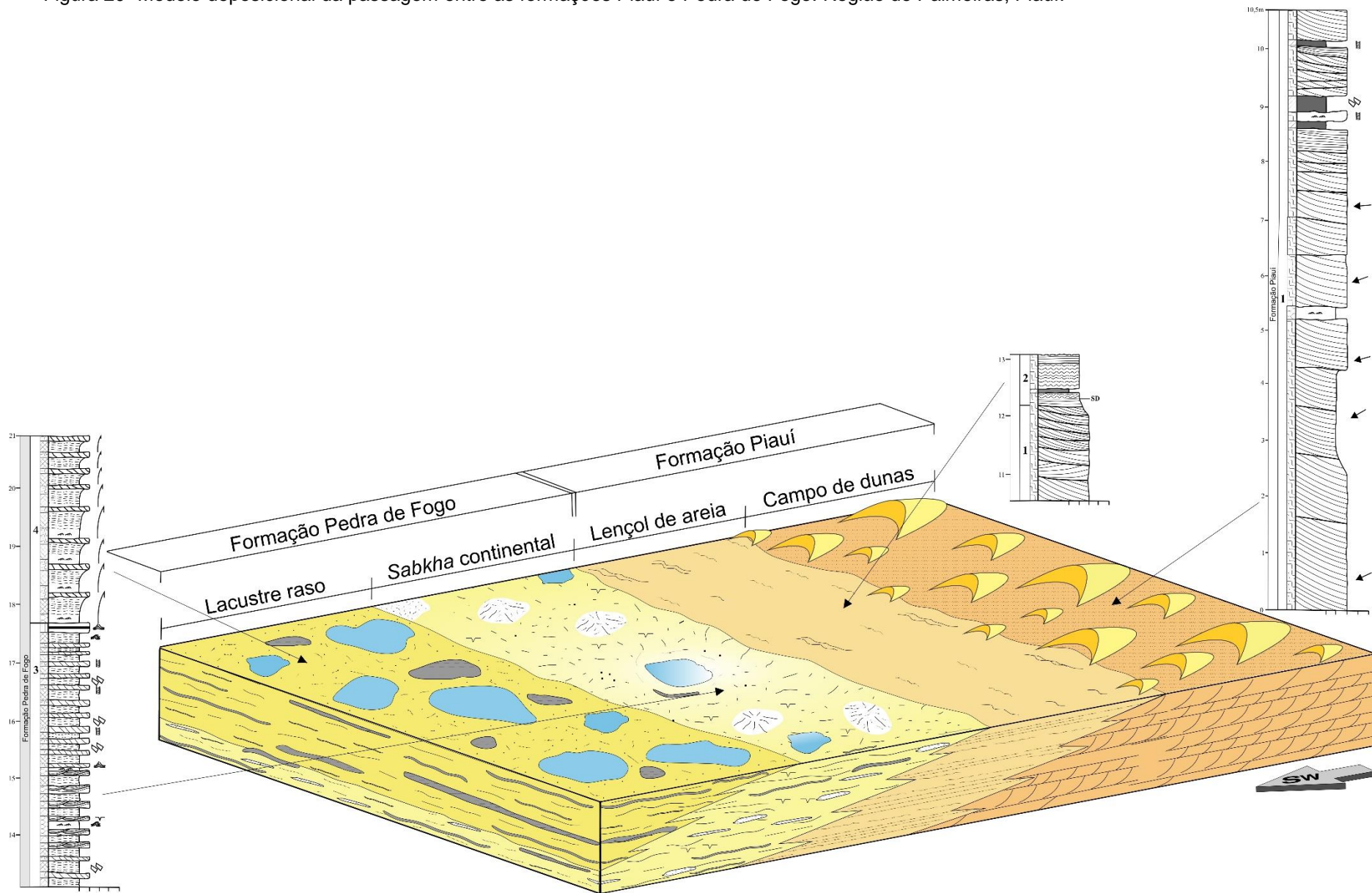
O período Permiano é marcado por expressivos soerguimentos que contribuíram com o desenvolvimento das drenagens nas partes mais internas do Supercontinente Pangea, e a formação de áreas mais áridas nas porções continentais (FORD; GOLONKA, 2003). As análises das associações de fácies da Formação Pedra de Fogo (Período Permiano) apontam para os paleoambientes deposicionais, *sabkha* continental (AF3) e lacustre raso (AF4).

A associação de fácies AF3 (*Sabkha* continental) é caracterizada pela formação das laminações presentes nos arenitos e pelitos, além de níveis silicificados. Esta associação se desenvolveu durante um período de aumento na aridez, onde segundo Talbot e Allen (2009) e Andrade (2012) favoreceu a elevação da evaporação e da salinidade do lago, contribuindo com a formação de moldes evaporíticos e nódulos silicificados, e no desenvolvimento de estruturas subaéreas com *tepees* e gretas de contração presentes nas porções mais rasas da planície de *sabkha* continental. Enquanto que as formações das laminações cruzadas estão associadas aos períodos de elevação do nível do lago durante os períodos de inundação.

A associação de fácies AF4-Lacustre raso é marcado pelo predomínio das fácies siltito laminado e arenito com laminação cruzada. O desenvolvimento dessas fácies em um clima árido sugere, segundo Andrade (2012), que o nível de base estratigráfica (lençol freático) estava elevado. Isso contribuiu com a deposição de sedimentos mais finos como siltitos, enquanto que as fácies mais arenosas foram depositadas sob influência de processos mais energéticos formados durante as precipitações torrenciais que mantinham o nível freático relativamente elevado. Andrade (2012), sugeriu que essas enxurradas favoreciam eventuais influxos de areia que adentravam no lago.

Durante o período Permiano, as variações climáticas foram responsáveis pela implantação de fases de contração e expansão do sistema lacustre, o que influenciou no padrão de sedimentação e acabou caracterizando o lago da Formação Pedra de Fogo (ARAÚJO, 2015).

Figura 20- Modelo deposicional da passagem entre as formações Piauí e Pedra de Fogo. Região de Palmeiras, Piauí.



Fonte: Do Autor.

7 EVENTOS DE SEDIMENTAÇÃO NA ZONA DE CONTATO ENTRE AS FORMAÇÕES PIAUÍ E PEDRA DE FOGO.

A implantação do deserto Piauí ocorreu após a Orogenia Herciniana que causou uma discordância regional sobre os depósitos carboníferos da Formação Piauí. Esta discordância tem sido relacionada aos soerguimentos ocasionados pela colisão da Laurasia com o Gondwana, dando início a formação do supercontinente Pangea que teria durado quase 100 milhões de anos (GOLONKA; FORD, 2000; FORD; GOLONKA, 2003; VAZ; REZENDE; WANDERLEY FILHO, 2007; SANTOS; CARVALHO, 2009).

Após esse evento, o deserto do Piauí se estendeu principalmente pela porção leste da Bacia do Parnaíba, margeando o mar epicontinental que se conectava a oeste ao Oceano Pantalassa via conexão com a Bacia do Amazonas e Solimões (GOLONKA; FORD, 2000; CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005; MEDEIROS, 2015). Registros deste mar epicontinental na Bacia do Parnaíba ocorrem na porção norte, onde há ocorrências dos carbonatos Mocambo, considerados como a parte superior da Formação Piauí, porém este mar não alcançava a porção onde se desenvolveu o deserto Piauí, isso impossibilitou o desenvolvimento dos carbonatos mocambo sobre os depósitos eólicos da Formação Piauí (MEDEIROS, 2015). Na seção estudada não foram observados estes carbonatos, onde campo de dunas passam para lençol de areia até os depósitos de *Sabkha* continental da Formação Pedra de Fogo. A ausência deste carbonato pode ser considerada com uma forte indicação de uma restrição paleográfica do deserto Piauí, restrito à porção leste da Bacia do Parnaíba.

O progressivo processo de desertificação foi acompanhado pelo deslocamento do depocentro da bacia e recuo do mar que afetou inicialmente as partes centrais de Gondwana, e contribuiu com uma acentuada aridez e continentalização do supercontinente (GÓES; SOUZA; TEIXEIRA, 1990; GÓES; FEIJÓ, 1994; MEDEIROS, 2015). Nessas condições a passagem entre Campo de dunas e *Sabkha* continental foi marcada pela implantação do depósito de lençol de areia, que revela os últimos estágios da sedimentação do deserto Piauí, no final do Carbonífero. O lençol de areia sugere um aumento do processo de deflação onde não se implantava mais as formas de leito eólica de grande escala, um prelúdio para implantação das planícies de *sabkha* continental no início do Permiano.

Durante o período Permiano a parte central do supercontinente Pangea estava submetida as ações de expressivos soerguimentos que proporcionaram o desenvolvimento de cinturões montanhosos que influenciaram na circulação dos ventos, contribuindo com acentuação da aridez nas regiões mais internas ao supercontinente (ZIEGLER; HUTVER; ROWLEY, 1997; GOLONKA; FORD, 2000; SANTOS; CARVALHO, 2009). Essas condições proporcionaram a implantação e o desenvolvimento de uma planície de *sabkha*, que se caracteriza pela ocorrência de níveis expressivos de sílica.

Ao longo do Permiano as variações climáticas foram responsáveis pelas oscilações dos lagos. Essas condições climáticas contribuíram com desenvolvimento de extensos períodos de estiagem que favoreceram o aumento da taxa de evaporação, e os lagos salinizavam-se rapidamente dando origem aos depósitos de *sabkha* continental. Enquanto que os períodos de precipitações contribuíam com desenvolvimento da expansão do lago.

8 CONCLUSÃO

O intervalo entre os Períodos Carbonífero e o Permiano foi marcado por uma crescente aridez que se implantou no supercontinente Pangea. Na Bacia do Parnaíba este intervalo é registrado nos depósitos das formações Piauí e Pedra de Fogo.

A análise faciológica realizada na transição das formações Piauí e Pedra de Fogo possibilitou a identificação e a individualização de 11 fácies sedimentares: Arenito com estratificação cruzada tangencial de pequeno a médio porte (At), Arenito com laminação cruzada cavalgante Transladante (Alt), Pelito maciço (Pm), Arenito com marca de aderência (Amd), Arenito com estratificação plano paralela (Ap), Pelito laminado (Pl), Arenito com laminação cruzada (Ac), Arenito com laminação ondulada (Ao), Arenito com concreções silicosas (Acs), Arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc) e Siltito laminado (Sl). Estas fácies foram agrupadas em 4 associações de fácies: Campo de dunas (AF1) e lençol de areia (AF2), correspondente a Formação Piauí, enquanto que a Formação Pedra de Fogo corresponde a: *Sabkha* continental (AF3) e Lacustre raso (AF4).

O final do Carbonífero foi marcado pela implantação de um sistema desértico, com a formação de Campo de dunas e lençol de areia, que foi sucedido, no início do Permiano, por depósitos de *sabkha* continental e lacustre raso, que registram o começo de uma acentuada aridez. Durante este período o sistema lacustre foi marcado por processos de oscilação do lençol freático, o que contribuiu com a expansão e contração do sistema lacustre.

REFERÊNCIAS

- ABELHA, M.F. *Análise estratigráfica do intervalo Carbonífero/Permiano da Bacia do Parnaíba em testemunhos de sondagem*. 2010. 42f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ABELHA, M.; BORGHI, L. Análise de fácies das Formações Piauí e Pedra de Fogo em testemunhos de sondagem da borda leste da bacia do Parnaíba. *Revista Brasileira de Geociências*. No prelo.
- ADAMS, A.E.; MACKENZIE, W.S.; GUILFORD, C. Atlas of sedimentary rocks under the microscope. ELBS - *English Language Book Society*, 1984. p. 1-104.
- AGUIAR G.A. Revisão geológica da bacia paleozoica do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBG, 1971. v. 3, p. 113-122.
- ANDRADE, L. S. *Fácies e Estratigrafia da parte superior da Formação Pedra de Fogo, permiano da Bacia do Parnaíba, região de Filadélfia-TO*. 2012. 107f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- ANDRADE, L.S.; NOGUEIRA, A.C.R.; BANDEIRA, J. Evolução de um sistema lacustre árido Permiano, parte superior da Formação Pedra de Fogo, borda oeste da Bacia do Parnaíba. *Geol. USP, Sér. cient.*, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 3-60, 2014.
- ARAÚJO, R. N. *Depósitos lacustres rasos da Formação Pedra de Fogo, Permiano da bacia do Parnaíba, Brasil*. 2015. 50f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.
- BOUCOT, A.J.; XU C.; SCOTese, C.R. *Phanerozoic Paleoclimate: an atlas of Lithologic Indicators of Climate*. Tulsa: Society for Sedimentary Geology, 2013. P. 1-130. (*Concepts in Sedimentology and Paleontology*, 11).
- CAPUTO, M.V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V.M.M. Bacias sedimentares brasileira: Bacia do Parnaíba. *Fundação Paleontológica Phoenix*, Aracaju, v. 81, n. 7, p.1-6, 2005.
- CHUMAKOV, N.M.; ZHARKOV M.A. Climate during Permian–Triassic Biosphere Reorganizations, Climate of the Early Permian. *Stratigraphy and Geological Correlation*, v. 10, n. 6, p. 586–602, 2002.
- _____. Climate during the Permian–Triassic Biosphere Reorganizations. Climate of the Late Permian and Early Triassic. *Stratigraphy and Geological Correlation*, v. 11, n. 4, p. 361–375, 2003.
- CUNHA, F. M. B. *Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcabouço tectônico*. 1986. 107f. Dissertação (Mestrado em Geologia) -Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986.

DE ROS, L.F.; CESERO, P. 1986. Argilas em arenitos – Bases para a interpretação petrogenética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. *Anais ... Goiânia*: SBG, 1986. v. 4, p. 1663-1670.

FARIA JR. L.E.C. 1979. *Estudo sedimentológico da Formação Pedra de Fogo – Permiano – Bacia do Maranhão*. 2015. 57f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1979.

FOLK, R.L. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin: Hemphill's Pub, 1968. p.1-107.

FORD, D.; GOLONKA, J. Phanerozoic paleogeography, paleoenvironment and lithofacies maps of the circum-Atlantic margins. *Marine and Petroleum Geology*., Kraków, Poland, v. 20, p. 249-285, 2003.

FRYBERGER, S. G.; AHLBRANDT T, S.; ANDREWS, S. Origin, sedimentary features and significance of low-angle eolian sand sheet deposits, Great Sand Dunes. *Journal of Sedimentary Petrology*., Colorado, v. 49, n. 3, p. 440-460, 1979.

GÓES, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. *Boletim Geociências da Petrobras*.; 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 Petrobras*., Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 55-64, 1990.

GOLONKA, J.; FORD, D. Pangean (Late Carboniferous–Middle Jurassic) paleoenvironment and lithofacies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*., Kraków, Poland, v. 161, p. 1-34, 2000.

KAHN J.S. The analysis and distribution of the properties of packing in sand-size sediments. *The Journal of Geology*., Chicago, v. 64, n. 4, p. 385-395, 1956.

KOCUREK G. Desert aeolian systems. In: READING H. G. (Ed.). *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. 3^o. ed. London: Blackwell Science, 1996. p. 125-153.

KOCUREK, G.; DOTT, R.H. Distinctions and uses of stratification types in the interpretation of eolian sand. *Journal of Sedimentary Petrology*., Texas, v. 51, n. 2, p. 579-595, 1981.

KOCUREK, G.; HAVHOLM, K.G. Eolian sequence stratigraphy-a conceptual framework. In: WEIMER P.; POSAMENTIER H.W. (Eds.). *Siliciclastic sequence stratigraphy*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1993. v. 58, p. 393-409.

LAITY, J. J. *Deserts and desert environments*. 1^o ed., Wiley-Blackwel, 2008. p.1-357.

LIMA, E.A.M.; LEITE, J.F. Projeto estudo global dos recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba. Integração geológico-metalogenética. DNPM-CPRM, Etapa III, Recife, Relatório Final, 1978. 16-212.

LIMA FILHO, F. P.; ROCHA-CAMPOS, A. C. Sedimentos desérticos da formação Piauí (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba. Publicação Especial (resumo) Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v. 12, p. 65-66, 1992.

MEDEIROS, R. S. P. *Depósitos carbonáticos-siliciclásticos da porção superior da Formação Piauí, carbonífero da bacia do Parnaíba, região de José de Freitas-PI*. 2015. 73 f. Dissertação (mestrado em Geologia) -Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

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 threedimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hidrocarbon discovery and recovery*. Society for Sedimentary Geology/SEPM, 1991. p. 6-12.

_____. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: examples from the Castlegate Sandstone, Utah. *Journal of Sedimentary Research*., Utah, v. 64(b), p. 146-158, 1994.

MOUNTNEY, N. P. Facies Models. *In*: WALKER, R.G; POSAMENTIER, H. W.(Ed.). *Facies models Revisited*. Society for Sedimentary Geology/SEPM Special Publication, 2006. p. 19-83.

NICHOLS, G. *Sedimentology and stratigraphy*. 2º ed., Wiley-Blackwel, 2009. p. 1-419.

PEREIRA, E.; CARNEIRO C. D. R.; BERGAMASCHI S.; ALMEIDA F. F. M. Evolução das sinéclises paleozoicas: províncias Solimões, amazonas, Parnaíba e Paraná *In*: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (Ed.). *Geologia do Basil*. São Paulo, Beca, 2012. p. 374-394.

PYE, K.; TSOAR, H. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. The Nature and Importance of Aeolian Sand Research Springer, 2009. p. 1-453.

RIBEIRO, C. M. M. *Análise faciológica das formações Poti e Piauí (carbonífero da Bacia do Parnaíba) na Região de Floriano-PI*. 2000. 89f. Dissertação (Mestrado em Geologia)- Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2000.

SANTOS, M. E.; CARVALHO, M. S. *Paleontologia das Bacias Parnaíba, São Luís e Grajaú*. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2009. p. 1-94.

SANTOS, V. H.; LIMA FILHO.; M. F. NEUMANN, V. H. Quais as possibilidades de um sistema petrolífero na Bacia do Parnaíba? *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 4.; 2007, Campinas. *Anais...* São Paulo: ABPG, 2007. P. 1-10.

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

SILVA A. J. P.; LOPES R. C.; VASCONCELOS A. M.; BAHIA R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozoicas e Meso-Cenozóicas InterioresII. *In*: BIZZI L. A,

SCHOBENHAUS C.; VIDOTTI R. M.; GONÇALVES J. H. G. (Eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. 1º. Ed. Brasília: CPRM, 2003. p.55-85.

TABOR, N. J.; POULSEN, C. J. Paleoclimate across the Late Pennsylvanian-Early Permian tropical palaeolatitudes: A review of climate indicators, their distribution, and relation to palaeophysiographic climate factors. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 268, p. 293-310, 2008.

TALBOT. M. R.; P.A. ALLEN. Lake. In: READING, H. G. (Ed.). *Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy*. Australia: 2009. p. 83-123.

TORSVIK, T. H.; COCKS, L. M. Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Research*, v. 24, p. 999-1030, 2013.

TUCKER, M.E. *Sedimentary Petrology*. 3º. ed. London: Blackwell Scientific Publications, 2001. p. 1-262.

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 (Ed.). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas*. Brasília: Programa Geologia do Brasil, 2004. CPRM, CD-ROM.

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

WALKER, R. G. Facies Modelling and Sequence Stratigraphy. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 60, p. 777 – 786, 1990.

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

WEBSITE GLOBAL PAEOLOGEOGRAPHY. Disponível em:<
<http://jan.ucc.nau.edu/~rcb7/globaltext2.html>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

WILZEVIC M. C. Photomosaic of outcrops: useful photomographic techniques. In: MIALI A. D.; TYLER N. (Ed.). *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. Oklahoma: Society for Sedimentary Geology, 1991. p. 22-24.

ZALÁN P.V. Influence of Pre-Andean orogenies on the Paleozoic intracratonic basins of South America. In: SIMPÓSIO BOLIVARIANO, Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas, 4., 1991, Bogotá. *Anais...* Bogotá: ACGGP, 1991. V. 7, p. 1-20.

ZIEGLER, A. M.; HUTVER, M. L.; ROWLEY, D.B. Permian World Topography and Climate. In: MARTINI I. P. (Ed.). *Late Glacial and Postglacial Environmental Changes-Quaternary, Carboniferous-Permian and Proterozoic*. New York: Oxford University Press, 1997. p. 111-146.

ANEXO

Tabela dos Constituintes das amostras dos arenitos das formações Piauí e Pedra de Fogo

AF	Amostras	Quartzo		Frag	Feld	Mop	Cimento		Poros	Total
		Mon	Pol				Oxi	Síl		
AF1	PI-01	185	3	8	-	3	46	1	59	305
	PI-02	169	4	2	-	1	74	30	25	305
	PI-03	195	4	5	-	2	49	6	40	301
	PI-04	188	6	4	2	3	65	19	13	300
AF3	PF-01	190	2	6	-	-	66	5	33	302
AF1	PI-01	61	0,9	2,6	-	0,9	15	0,3	19,3	100%
	PI-02	56	1,3	0,6	-	0,3	24	9,8	8	100%
	PI-03	64,7	1,3	1,6	-	0,7	16	2	13,7	100%
	PI-04	63	2	1,3	0,6	1	21	6,4	4,7	100%
AF3	PF-01	63	0,6	2	-	-	22	1,6	10,8	100%
		Rec/100%*								
		Quartzo	Frag	Feld					Total	Classificação
AF1	PI-01	96%	4%	-	-	-	-	-	100%	Quartzoarenito
	PI-02	99%	1%	-	-	-	-	-	100%	Quartzoarenito
	PI-03	98%	2%		-	-	-	-	100%	Quartzoarenito
	PI-04	97%	2%	1%	-	-	-	-	100%	Quartzoarenito
AF3	PF-01	97%	3%	-	-	-	-	-	100%	Quartzoarenito

AF= Associação de fácies; Mon= Quartzo Monocristalino; Pol= Quartzo policristalino; Frag= Fragmento de rocha; Feld= Feldspato; Mop= Minerais opacos; Oxi= cimento de óxido e hidróxido de ferro; Sí= cimento de sílica; PI= Formação Piauí; PF= Formação Pedra de Fogo; (*)Rec/100%= recalculo para 100% utilizado para a classificação de Folk (1968).

Fonte: Do Autor.