



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DE FÁCIES DA SUCESSÃO CARBONÁTICA DE ARCOS -
PAINS ESTADO DE MINAS GERAIS**

Daniele Lorraine Cunha Teixeira

MONOGRAFIA nº 461

Ouro Preto, dezembro de 2022

**ANÁLISE DE FÁCIES SUCESSÃO CARBONÁTICA DE
ARCOS-PAINS ESTADO DE MINAS GERAIS**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Neves Cotota Jr.

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 461

**ANÁLISE DE FÁCIES DA SUCESSÃO CARBONÁTICA DE
ARCOS-PAINS, ESTADO DE MINAS GERAIS**

Daniele Lorraine Cunha Teixeira

Orientador

Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2022/2.

OURO PRETO

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

T266a Teixeira, Daniele Lorraine Cunha.
Análise de fácies e da sucessão carbonática de Arcos-Pains, estado de Minas Gerais. [manuscrito] / Daniele Lorraine Cunha Teixeira. - 2022.
61 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Fácies (Geologia). 2. Fácies sedimentares. 3. Estratigrafia. 4. Bacias sedimentares. 5. Sedimentologia. 6. Sistema carbonato. I. Rudnitzki, Isaac Daniel. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 551.3.051

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniele Lorraine Cunha Teixeira

Análise de Fácies e da sucessão carbonática de Arcos-Pains, Estado de Minas Gerais

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Geóloga

Aprovada em 19 de janeiro de 2023

Membros da banca

Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Profa. Dra. Alice Fernanda de Oliveira Costa - Universidade Federal de Ouro Preto
Msc. Rafael Oliveira Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Isaac D. Rudnitzki, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 19/01/2023



Documento assinado eletronicamente por **Isaac Daniel Rudnitzki, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/01/2023, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0459081** e o código CRC **2F38B2AA**.

Agradecimentos

Agradeço a minha família por aguardarem pacientemente por esse momento final. Depois de anos, tantos empecilhos e dificuldades inesperadas, consigo finalizar este trabalho e curso apesar de inúmeras vezes ter pensado em desistir. Por isso devo agradecer a magnitude da geologia de ter feito eu me apaixonar por essa ciência e nela achar motivação em continuar.

Ao meu orientador Isaac devo agradecer a paciência e disposição de entender o meu tempo e período que estava vivendo e por persistir que enfim concluiria este trabalho.

Por fim, agradeço aos meus amigos pelo apoio incondicional sempre, vários me ajudaram de maneira inexplicável e a UFOP e ao DEGEO por proporcionarem o maior crescimento humano que já experimentei até hoje.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xix
ABSTRACT	xvii
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	1
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 JUSTIFICATIVA.....	3
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	4
1.5.1 Revisão bibliográfica	4
1.5.2 Análise de Fácies Sedimentares	4
1.5.3 Correlação estratigráfica	4
2 REVISÃO DE CONCEITOS: SISTEMAS CARBONÁTICOS.....	6
2.1 SEDIMENTAÇÃO E DEPOSIÇÃO CARBONÁTICA.....	6
2.2 PLATAFORMA CARBONÁTICA	6
3 REVISÃO DE CONCEITOS: O NEOPROTEROZOICO.....	9
3.1 HIPOTESE <i>SNOWBALL EARTH</i> E AS GLACIAÇÕES.....	9
3.1.1 Glaciações	10
4 CONTEXTO GEOLOGICO.....	12
4.1 A BACIA DO SÃO FRANCISCO	12
4.2 ARCABOUÇO ESTRATIGRAFICO	13
4.2.1 <i>Formação Sete Lagoas</i>	15
4.3 CICLOS DEPOSICIONAIS DA BACIA DO BAMBUÍ.....	16
5 RESULTADOS	18
5.1 ANÁLISE DE FÁCIES E ESTRATIGRAFIA	18
5.1.1 Associação A1 – Plataforma distal	21
5.1.2 Ambiente transicional – Associação A2	22
5.1.3 <i>Shoreface</i> inferior– Associação A3.....	24
5.1.4 <i>Shoreface</i> com influência de tempestade – Associação A4.....	27

5.1.5	Machas recifais de estromatólitos – Associação A5.....	29
5.1.6	Manto de Brechas Epicarsticas (Vernooy, 2019) – Associação A6	30
5.1.7	Supramaré Carstica (Vernooy,2019) – Associação A7	31
5.1.8	Planície de Maré (Vernooy, 2019) – Associação A8.....	31
6	DISCUSSÃO	32
6.1	SUCESSÃO ESTRATIGRÁFICA E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL.....	32
7	CONCLUSÃO	37

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1: Localização dos municípios de Arcos e Belo Horizonte em Minas Gerais	2
Figura 1.2: Rodovias entre Belo Horizonte e Arcos/Pains-MG.	2
Figura 2.1: Esquema morfológico de quatro tipo de plataforma carbonática. A) Plataforma empírica; B) Plataforma Isolada; C) Plataforma afogada; D) Plataforma com borda. Modificado de Wright (1986).....	7
Figura 2.2: As principais subdivisões de uma rampa carbonática homoclinal. NM: Nível do mar; BO: base de atuação de ondas normais; BT: base de atuação de ondas de tempestade; PC: picnoclina. Burchette & Wright (1992).....	8
Figura 3.1: Glaciações neoproterozoicas em função do tempo. A) Distribuição na escala de tempo; B) Localização do registro das glaciações (Evans 2000; Fairchild e Kennedy 2007).	10
Figura 4.1: Mapa geológico do Cráton em (A) e a distribuição na direção N-S da bacia São Francisco margeados pelos cinturões orogênicos. O polígono em vermelho em (B) indica a área de estudo. Modificado de Alkmim & Matins - Neto (2012) e Alkmim (2004).....	12
Figura 4.2: A) Mapa geológico da bacia São Francisco, centro-oeste Brasil (A=área de estudo) Adaptado de: Alkmim et al., 2006; Reis and Suss, 2016. B) Mapa gravimétrico de anomalia de Bouguer das principais feições estruturais do arcabouço do embasamento. C) Cráton São Francisco-Congo no contexto de Gondwana Ocidental. Ao extremo sudoeste do Cráton São Francisco é indicada a localização da cidade de Arcos (A), onde foi realizado o presente estudo. Adaptado de: Alkmim et al, 2006.....	Erro! Indicador não definido.

Figura 4 3:A) Mapa litoestratigráfico da porção sul do Cráton São Francisco. Destaque em vermelho para a localização da cidade em estudo (Ar: Arcos). Adaptado de: Uhlein et al, 2017. B) Perfil Estratigráfico do Grupo Bambuí. Modificado de Caetano-Filho et al. 2019 .. 14

Figura 4.4: Perfil esquematizado por Nobre & Coimbra(2000) em Arcos-Mg..... 16

Figura 5-1: Mapa de Localização dos perfis levantados no trabalho de campo. 18

Figura 5-2: A: Fácies pelito laminado com alternância de coloração, porção rosa mais rica em silte e amarelada rica em argila.; **B:** Amostra de mão do Pm com o topo da camada ondulado (seta); **C:** Topo do pacote de pelito com estruturas *hummocky*; **D:** Associação de fácies A1 do perfil Presídio. Fácies Pl com espessamento e adelgaçamento da camada e fácies Pm intercalada; 21

Figura 5-3:A: Sequência da fácies calcítica heterolítica e no topo (linha) transição para fácies Cm; **B:** Margas centimétrica entre camadas de calcário maciço; **C:** Acamamento heterolítico com topo das camadas reto; **D:** Margas onduladas marcando o topo das camadas da fácies Ch; **D:** Topo da seção com calcário maciço com ausência de margas. 23

Figura 5-4: Vista Geral do Perfil Corumbá 2 com ciclos de Shoreface que ascendentemente ficam menores e alternância da fácies laminadas com maciças diminui. 25

Figura 5-5: A: Calcário fino com acamamento maciço com marcas onduladas simétricas nos topos da camada (seta) **B:** Sucessão de calcário maciço intercalado com calcário laminado com possíveis esteiras microbiais, marcando ciclos de raseamento ascendente; **C:** Detalhe do acamamento tipo *pinch and sweet* (Seta) em calcários laminados 26

Figura 5-6 A: Fácies Gr com clastos embricados e tabulares de diversos tamanhos abaixo e acima transição com topo irregular para calcário maciço; **B:** Alternância de finas camadas da fácies Ct entre a fácies Cm que diminuem ao topo **D:** Detalhe da camada plano paralelo da fácies Ct. 28

Figura 5-7: A: Fácies Bm composta de estromatólitos dômicos de tamanho decimétricos envoltos em camadas de calcarenito cinza azulado. **B:** Em detalhe corpo de biomas em forma de bulbos..... 30

Resumo

A Formação Sete Lagoas é formada por carbonatos e metapelitos datados do Neoproterozoico, era geológica marcada por diversas mudanças climáticas, com a presença de glaciações em baixas latitudes. Essa Formação está inserida no Grupo Bambuí que corresponde a principal sucessão sedimentar exposta no cráton São Francisco. Devido a extensão da formação, ela registra importantes mudanças paleoclimáticas e paleogeográficas formadoras da bacia. Em Arcos e Pains a Formação Sete Lagoas possui afloramentos preservados e de fácil acesso o que permitiu a realização deste trabalho que teve como objetivo compreender o contexto paleoambiental desta formação complementando o arcabouço existente. O levantamento estratigráfico permitiu a elaboração de 5 perfis estratigráficos anexados a mais 4 perfis de outros trabalhos. Organizou-se estas em sete associações faciológicas que organizadas em seqüências que relaciona a deposição carbonática a eventos marinhos de transgressão e regressão em contexto de rampa carbonática. Assim, foi possível correlacionar todos os perfis recriando o paleoambiente deposicional da região, identificando as 4 sucessões já registradas em outros trabalhos. Sendo a primeira depósitos de trato de sistema de mar alto, a segunda um regime regressivo onde se depositou um manto epicarstíco e teve exposição subaérea, seguido por a instalação de um sistema de mar baixo formando a terceira sucessão carbonática. E por fim, se instaurou um sistema de mar alto chegando no limite máximo de inundação.

Palavras chaves: Fácies sedimentares, Carbonatos, Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, Neoproterozoico, paleoambiente;

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Grupo Bambuí foi formado no final do Neoproterozoico, era geológica que é marcada por diversas mudanças climáticas bioevolutivas e paleoceanográficas. Este Grupo corresponde a principal sucessão sedimentar exposta no Cráton São Francisco. Possui um extenso e espesso seguimento de rochas carbonáticas que registram importantes mudanças paleoclimáticas, paleogeográficas e bioevolutivos que geraram significativas mudanças na fábrica carbonática. Inserido neste contexto, está a região de Arcos/Pains, no centro-oeste mineiro, onde ocorrem os carbonatos e metapelitos do topo da Formação Sete Lagoas. O presente de trabalho de conclusão de curso (TCC) pretende realizar estudos de análise de fácies e análise estratigráfica em exposições da Formação Sete Lagoas na região de Arcos/Pains – MG, com objetivo de complementar o arcabouço estratigráfico existente para interpretação paleoambiental.

1.2 LOCALIZAÇÃO

Os afloramentos alvos deste estudo estão localizados na região pertencente aos municípios de Arcos e Pains, localizados geograficamente na porção centro-oeste do estado de Minas Gerais. É comumente denominada de Província Cárstica do Alto do Rio São Francisco devido a inúmera quantidade de cavidades naturais existentes na área.

À uma distância de cerca de 219 km de Belo horizonte, as principais vias de acesso utilizadas para o município de Arcos partindo da capital mineira são as BR-381 até Betim onde se encontra o cruzamento com a BR-262, seguindo por esta via por cerca de 17 km até o município de Juatuba a fim de ingressar na MG-050 sentido Divinópolis. Permanece nesta rodovia por cerca de 140 km até o trevo com a BR-354, no qual segue-se sentido Arcos/Bambuí por cerca de 20 km até chegar à cidade.

LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE ARCOS E BELO HORIZONTE NO ESTADO DE MINAS GERAIS

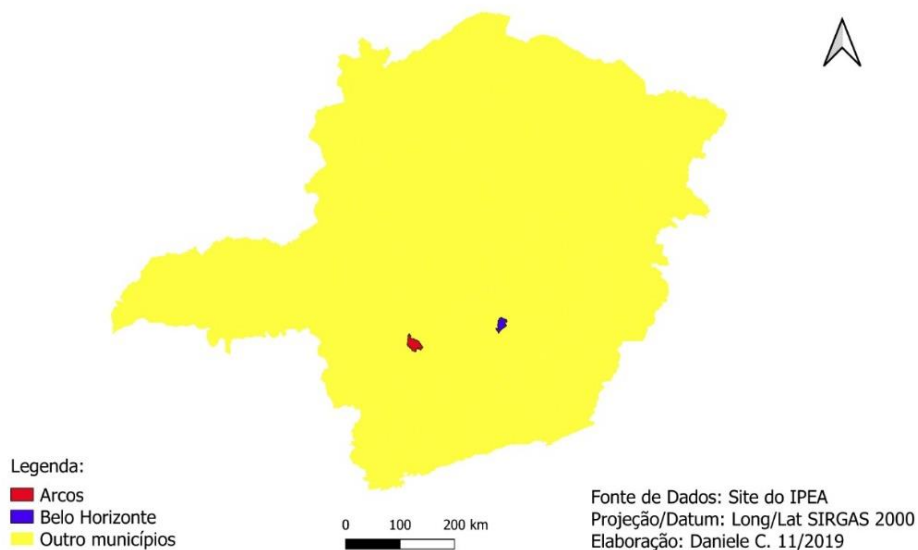


Figura 1.1: Localização dos municípios de Arcos e Pains e Belo Horizonte em Minas Gerais

RODOVIAS ENTRE OS MUNICÍPIOS DE ARCOS E BELO HORIZONTE

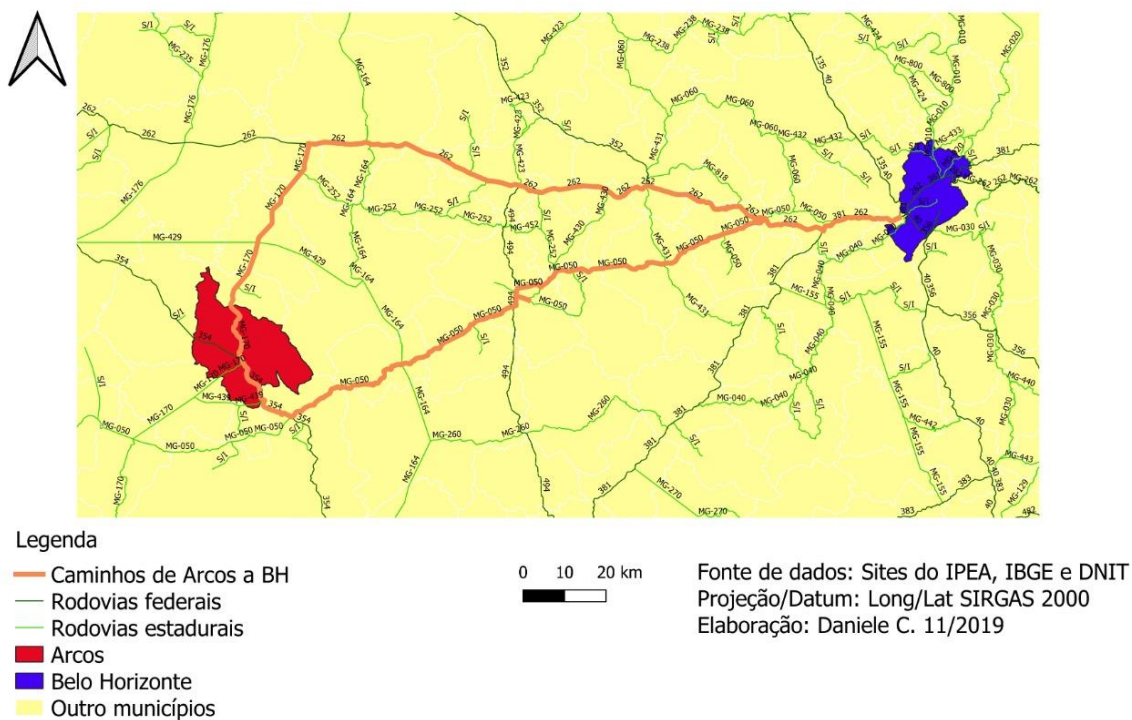


Figura 1.2: Rodovias entre Belo Horizonte e Arcos/Pains-MG.

1.3 OBJETIVOS

Este projeto tem como objetivo principal realizar a reconstrução paleoambiental da sucessão carbonática-siliciclástica da região de Arcos/Pains-MG e como objetivo específico construir um arcabouço estratigráfico da região.

1.4 JUSTIFICATIVA

No Brasil, o Grupo Bambuí representa uma espessa sucessão carbonática-siliciclástica de idade Neoproterozoica, registrada no Cráton São Francisco (Alkmin & Martins Neto 2001, 2012) podendo ser considerada com um dos registros mais completos dos eventos que ocorreram após as glaciações globais do Criogeniano até o aparecimento de organismo complexos capazes de secretar carapaças calcárias no Ediacarano superior (Alkmin & Martins Neto 2001, 2012, Warren *et al.* 2013, Reis & Suss 2016, Uhlein *et al.* 2019).

A Formação Sete Lagoas, base do Grupo Bambuí é o primeiro registro carbonático pós-glaciação neoproterozoica e apresenta uma complexa distribuição de sistemas deposicionais ao longo do Craton São Francisco controlados por diferentes domínios tectônicos considerados como altos e baixos estruturais (Reis *et al.* 2007, Caetano Filho *et al.* 2019).

Na região de Arcos/Pains-MG, ocorrem os carbonatos da porção superior da Formação Sete Lagoas que foram depositadas em um alto estrutural. Esse contexto gerou um arcabouço estratigráfico complexo associados a sistemas deposicionais rasos, que são susceptíveis a pequenas mudanças arquiteturais causada pela variação do nível do mar de alta frequência. Desta forma, o presente trabalho de conclusão de curso pretende realizar um estudo de fácies sedimentar afloramentos da região de Arcos/Pains-MG, com objetivo de contribuir na compreensão do contexto paleoambiental da Formação Sete Lagoas, além complementar o arcabouço estratigráfico da área de estudo com novos dados faciológicos.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Os seguintes métodos foram utilizados para a realização deste projeto:

1.5.1 Revisão bibliográfica

A método da revisão bibliográfica compreende o estudo de todos os métodos utilizados neste trabalho além de correlacionar estudos anteriores da região com os dados levantados neste trabalho.

1.5.2 Análise de Fácies Sedimentares

A análise das fácies sedimentares em sucessões sedimentares é o método utilizado para reconstrução de depósitos de sistemas sedimentares. Utilizando o conceito de fácies, analisa-se os aspectos texturais das nas rochas sedimentares como granulometria, grau de arredondamento, grau de seleção, composição mineralógica e estruturas sedimentares, além de conteúdo fossilífero. Com esse conjunto de informações é possível determinar o agente de transporte e deposição dos sedimentos, ou seja, os processos geradores de cada fácies sedimentar. A partir do agrupamento de várias fácies, sendo elas co-genéticas e contemporâneas entre si, cria-se uma associação de facies que permite determinar corretamente o ambiente deposicional e sua evolução (Walker 1992).

A descrição de fácies será realizada em campo com auxílio do levantamento de perfis estratigráficos e elaboração de seções esquemáticas que buscam correlacionar as associações de fácies, bem como determinar sua geometria e distribuição ao longo da área. Esta assembleia de dados irá permitir a construção do arcabouço estratigráfico da região estudada, além de determinar os aspectos peleambientais da sucessão carbonática da região de Arcos/Pains-MG.

1.5.3 Correlação estratigráfica

A correlação estratigráfica é uma das principais ferramentas geológicas para determinar a equivalência entre unidades estratigráficas. É utilizado por geólogos para estudos de correlação estratigráfica, visando os quatro princípios da estratigrafia:

- O princípio da superposição. Durante a fase de deposição ou acumulação de sedimentos, a camada superior é mais jovem que a camada inferior.
- Princípio da Horizontalidade dos Estratos. No acúmulo de sedimentos, os sedimentos tendem a se depositar em camadas aproximadamente horizontais.
- O princípio da continuidade lateral. Camadas têm continuidade lateral até que as superfícies pré-existentes os intersectem.
- Princípio de interseção. Quando uma rocha é cortada por outra, a rocha mais antiga é está sendo truncada, e o mais nova está truncando isso.

REVISÃO DE CONCEITOS: SISTEMAS CARBONÁTICOS

2.1 SEDIMENTAÇÃO E DEPOSIÇÃO CARBONÁTICA

As partículas de carbonato podem ser formadas por processos abióticos como precipitação química ou por processos bióticos de partículas de origem “esquelética”, ou seja, por partículas duras de seres como foraminíferos, pterópodos, moluscos com concha etc. Atualmente, os processos abióticos são os mais comuns. A produção carbonática é controlada pela distribuição da zona fótica, geometria da bacia deposicional, taxa de influxo sedimentar e a profundidade (Wilson 1975; Flügel 2004).

A deposição dos carbonatos ocorre em diferentes ambientes que se distribuem por todas as latitudes, desde lagos continentais em altas altitudes a ambientes marinhos profundos e os sedimentos carbonáticos também estão sujeitos a ação dos meios de transporte, como correntes, ondas, mares e tempestades o que geram estruturas que podem ficar preservada após a diagênese (Reitner & Thiel 2011)

2.2 PLATAFORMA CARBONÁTICA

Segundo Wright 1992, uma plataforma carbonática é um alto topográfico formado pelo acúmulo de sedimentos em uma área de subsidência. Essas estruturas têm um topo plano com lados íngremes, podem ter vários quilômetros de espessura e se estender por centenas de quilômetros quadrados. As plataformas carbonáticas são classificadas em cinco tipos (Figura 2.1 e 2.2) em função das suas características geomorfológicas em cinco tipos (Tucker & Wright 1990):

Plataforma epeírica (*epiric platform*) (Figura 2.1.A): são grandes depósitos carbonáticos em águas marinhas rasas sobre extensos blocos continentais com topografia bem regular. Podem também ocorrer bacias de águas profundas circundadas por plataforma com borda e rampa. Um exemplo atual com características parecidas é a parte interna dos bancos oolíticos das Bahamas.

Plataforma isolada (*bank or isolated platform*) (Figura 2.1.B): são bancos de carbonato de mar raso cercados por águas profundas do oceano e isolada de sedimentos clásticos terrestres, matéria orgânica e nutrientes. Apresentam em suas bordas estruturas recifais com taludes acentuados em direção a águas profundas e no seu interior apresenta depósitos carbonáticos de fração arenosa e argilosa, tendo como principal agente de sedimentação a ação de eventos e tempestades.

Plataforma afogada (*drowned platform*) (Figura 2.1.C): essas plataformas apresentam finas camadas de depósitos de águas profundas sobrepostas as antigas camadas de depósitos de águas rasas devido ao rápido aumento do nível do mar. Essa elevação drástica do nível do mar ocorre em função de eventos transgressão pós-glacial ou movimento de subsidência de falhas tectônicas.

Plataforma com borda (*rimmed shelf*) (Figura 2.1.C): Possuem barreiras formadas por bancos de areia carbonática, recifes e bioermas que absorvem a alta energia das ondas, gerando um ambiente marinho restrito de baixa energia dominados por maré.

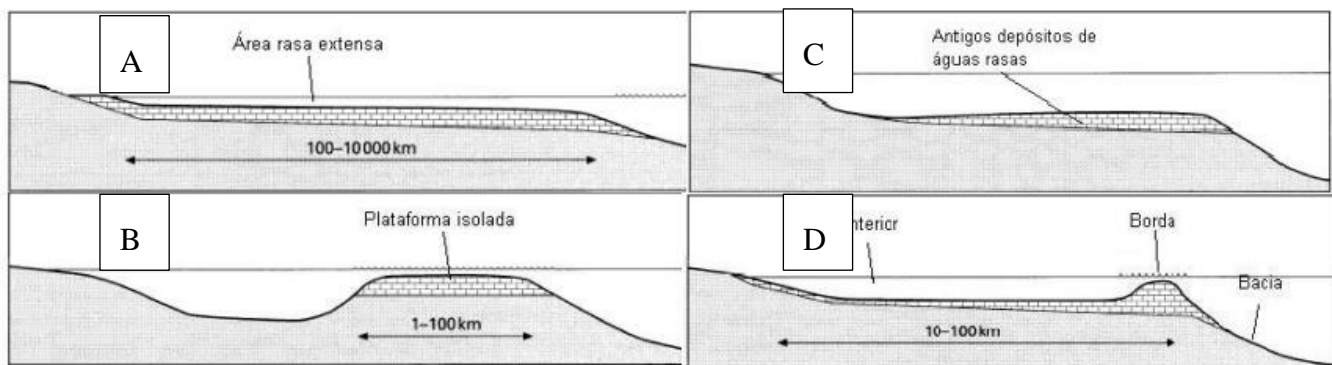


Figura 2.1: Esquema morfológico de quatro tipos de plataforma carbonática. **A)** Plataforma epeírica; **B)** Plataforma Isolada; **C)** Plataforma afogada; **D)** Plataforma com borda. Modificado de Wright (1986)

Rampa (*ramp*) (Figura 2.2): superfície com inclinação suave sem a presença de barreiras o que permite que as correntes de maré as influenciem, principalmente na porção mais proximal diferente das porções mais distais e profundas que são influenciadas apenas por tempestades. Wright (1986) divide a rampa em três subdivisões (Figura 2.2): interna (*inner*) que ocorrem acima da base de ondas do tempo bom, apresentam fácies de perimará, *shoreface*, barreiras oolíticas ou recifes; intermediária (*mid*) entre a base de ondas de tempo bom e a base de ondas

de tempestade, os sedimentos são retrabalhados apenas por ondas de tempestade; externa (*outer*) localizada abaixo da base de ondas de tempestade até o limite da bacia, podendo ocorrer algumas estruturas associadas a tempestade na porção superior mas raramente na porção mais profunda.

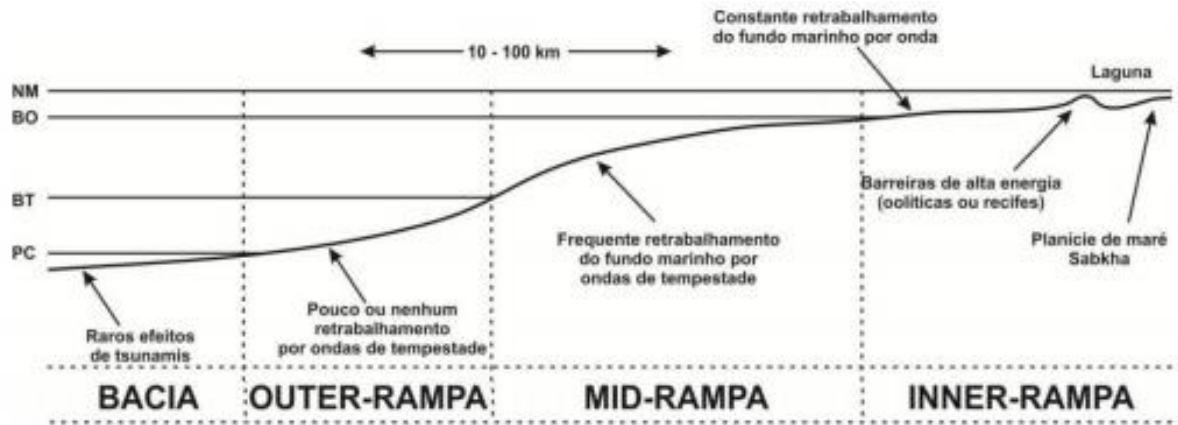


Figura 2.2: As principais subdivisões de uma rampa carbonática homoclinal. NM: Nível do mar; BO: base de atuação de ondas normais; BT: base de atuação de ondas de tempestade; PC: picnoclina. Burchette & Wright (1992).

REVISÃO DE CONCEITOS: O NEOPROTEROZOICO

O Neoproterozoico é uma era do tempo geológico que sucede ao Mesoproterozoico, sendo a última era do pré-cambriano. Possui extensão temporal de 1000 a 541 Ma e se divide em 3 períodos: Toniano (1000-850 Ma), Criogeniano (850-600 Ma) e Ediacarano (600-544 Ma). É marcado por depósitos de eventos glaciais que são rapidamente seguidos por uma sedimentação carbonática singular definida como “capa carbonática” que apresenta uma assinatura negativa de isótopos de carbono, e outras estruturas sedimentares “anômalas” que consistem em dolomitos, dolomitos microbialíticos, calcário com leques de aragonita e folhelhos betuminosos (Hoffman and Schrag, 2002; Vieira, 2007).

Os dados paleomagnéticos dessa era indicam baixa inclinação magnética nos depósitos glaciais, o que sugere que camadas de gelo se estenderam até regiões tropicais (Sohl *et al.*, 1990), formulando a hipótese *snowball earth*. Esses eventos climáticos sugerem que o Neoproterozoico sofreu as maiores mudanças climáticas na história da Terra, que precederam e repercutiram na evolução da biosfera, o que pode ter influenciado a explosão de vida Cambriana (Knoll *et al.*, 2004). Vários modelos têm sido propostos para explicar os dados sedimentológicos, paleomagnéticos e isotópicos adquiridos dessa era, o principal deles é a hipótese “Terra Bola de Neve” e suas variantes mais suaves.

3.1 HIPÓTESE *SNOWBALL EARTH* E AS GLACIAÇÕES

Geralmente, as glaciações do Neoproterozoico são reunidas nos modelos de *Snowball Earth*, porém há controvérsias que apontam que os eventos glaciais do final do pré-cambriano não se diferem das ocorridas durante o Fanerozoico (Eyles & Januszczak, 2004).

A concepção dessa hipótese requer a existência de deposição glacial sincrônica ao redor do mundo e uma era do gelo que duram no mínimo dezenas de milhões de anos para fornecer o acúmulo de CO₂ necessário para ocorrer o degelo (Hoffman *et al.*, 1998). Com isso, esse modelo não é capaz de explicar completamente os eventos ocorridos devido à dificuldade de cronologicamente correlacionar as unidades glaciais, o que pode divergir os eventos glaciais do neoproterozoico em episódios glaciais diacrônicos limitados ou episódios de escala global (Babinski, 2006).

3.1.1 Glaciações

Três eventos glaciais importantes são propostos para o final do proterozoico, são eles: glaciação Sturtiana que possui datação controversa que varia de 746 á 680 Ma; Marinoana que data de 635 Ma e a Gaskiers, última a ocorrer e aparentemente de caráter regional, há 580 Ma (Bowring *et al.*, 2003; Halverson *et al.*, 2005; Halverson *et al.*, 2010). Todas as rochas glaciais que registram a existência dessas glaciações são recobertas por uma ampla sedimentação de capa carbonática. Esse degelo rápido que formaria os carbonatos ocorre pelo fato que se todos os oceanos estiveram congelados, o ciclo do carbono seria interrompido, uma vez que os oceanos absorvem CO₂, resultando assim, em condições de efeito-estufa.

Os eventos Sturtiano e Marinoano são consideradas glaciações de nível global devido ao amplo registro de rochas glaciares de idade semelhante ao redor do globo (Figura 3.1). Exemplificando, são relacionadas a glaciação Sturtiana as formações Chuos, na Namíbia; Rapitan no Canadá; Sturtian, na Austrália, e recentemente a Formação Carrancas no Brasil (Halverson *et al.*, 2005; Hoffman e Scharag 2000; Babinsky *et al.*, 2007). Já os registros da glaciação Marinoana incluem a Formação Nantuo da China (Wang *et al.*, 1981; Jiang, *et al.* 2003), depósitos Laplandian na Rússia (Chumaov, 1990), a formação Ghaub na Namíbia (Hoffman *et al.*, 1998), Formação Ice Brook no noroeste do Canadá (Aitken, 1991; James *et al.*, 2001), entre outras.

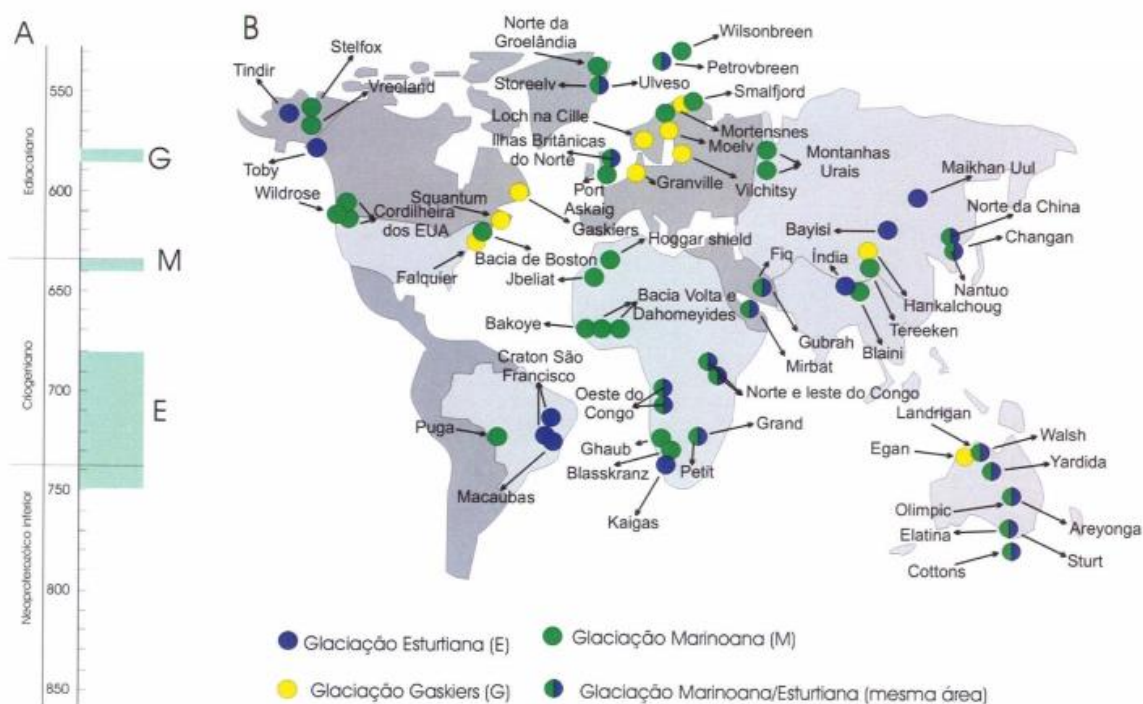


Figura 3.1: Glaciações neoproterozoicas em função do tempo. A) Distribuição na escala de tempo; B) Localização do registro das glaciações (Evans 2000; Fairchild e Kennedy 2007).

Associadas a hipótese *Snowball Earth*, essas glaciações podem ser resultado do drifte do supercontinente Rodinia que gerou um soerguimento tectônico e aumentou a concentração de massas continentais nas zonas equatoriais. Com o aumento do intemperismo de rochas siliciclásticas houve uma redução das concentrações de CO₂ que juntamente com a presença de mares rasos em zonas de baixa latitude, diminuiu o armazenamento de energia solar, resultando no aumento do efeito albedo (Hoffman & Schrag 2002).

Com o súbito degelo, as condições climáticas terrestres evoluíram para uma fase de efeito estufa (greenhouse) provocada pelo aumento exagerado de CO₂ e conseguinte aumento na temperatura, o que induziu a expansão de águas alcalinas ricas em bicabornato e CaCO₃. Assim, com os ambientes marinhos saturados em CaCO₃, ocorreu a precipitação de crostas, leques de cristais e cimentos fibrosos dos seus polimorfos (Grotzinger & Knoll 1995).

Os registros da glaciação Gaskiers também ocorrem em escala global, nas formações Gaskiers, no Canadá; Togari, na Austrália e Nova Zelândia (Haverson 2006; Trindade & Macouin 2007), porém possui curto intervalo de tempo e não há a presença da capa carbonática sobre as rochas glaciais, sendo assim, não se encaixa na hipóteses da *Snowball Earth* e se assemelha aos mesmos mecanismos das glaciações Fanerozoicas (Evans 2003, Halverson *et al* 2005, Condon & Bowring 2011, Li *et al.* 2013).

Com um complexo sistema de causa e efeito, todas essas mudanças climáticas deixaram estruturas e anomalias geoquímicas singulares nas rochas sedimentares formadas nesta era, o que auxilia nas reconstruções paleoambientais.

CAPÍTULO 4

CONTEXTO GEOLÓGICO

4.1 A BACIA DO SÃO FRANCISCO

A bacia do São Francisco é uma bacia sedimentar intracratônica com evolução tectônica-sedimentar policíclica do Paleoproterozoico até o Mesozoico. (Alkmim Martins-Neto 2012; Reis *et al.* 2016). A bacia cobre uma área de cerca de 350.000km² na porção centro-oeste do Cráton São Francisco, núcleo crustal, constituído por províncias Arqueanas e paleoproterozoicas, estabilizada desde o final do ciclo Transamazônico (Figura 4.1) (2,1 – 1,8 Ga – Almeida & Hasui 1984; Alkmim & Marshak 1998).

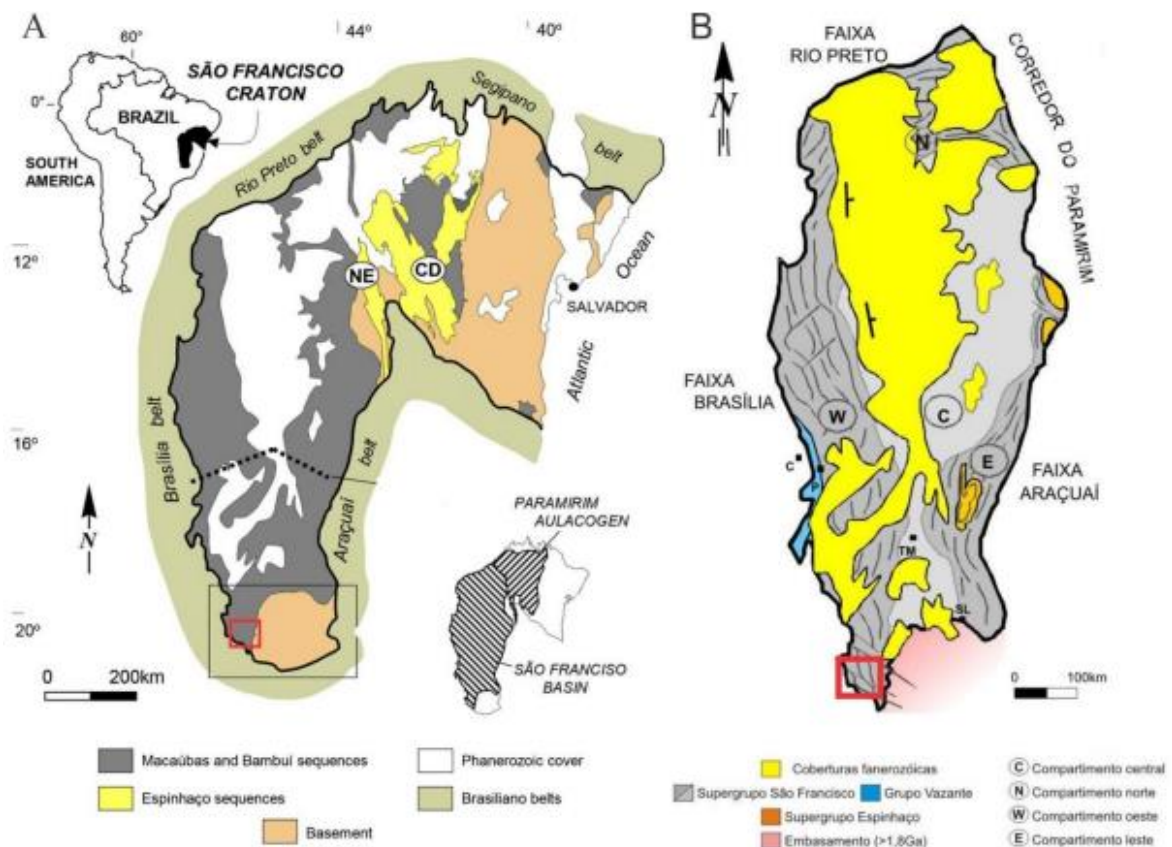


Figura 4.1: Mapa geológico do Cráton em (A) e a distribuição na direção N-S da bacia São Francisco margeados pelos cinturões orogênicos. O polígono em vermelho em (B) indica a área de estudo. Modificado de Alkmim & Matins - Neto (2012) e Alkmim (2004).

A origem da bacia São Francisco remota desde a ruptura do supercontinente Rodínia chegando até a amalgamação do Gondwana Ocidental (Martins-Neto & Alkmim, 2001; Martins-Neto et al, 2001). É rodeada por cinturões orogênicos a leste, norte e oeste (Figura 4.1.B). O limite sul é marcado por uma descontinuidade erosional entre as unidades Proterozóicas e o embasamento Arqueo-Paleoproterozoico, e a nordeste, a bacia é limitada pelo corredor deformacional Paramirim de idade Neoproterozóica (Caetano-filho et al. 2019).

Segundo Almeida (1997), essas províncias orogênicas que bordejam o Cratón São Francisco são relacionadas ao evento Brasileiro e possuem idade neoproterozoica. Sendo elas formadas pela aglutinação de terrenos, pode-se ser subdividida em quatro compartimentos estruturais (Alkmim & Martins-Neto 2001; D'Arrigo 1995;Ortu 1990): três correspondendo as faixas pericratônicas Rio Preto a noroeste, Brasília a oeste e Araçuai na parte leste; o quarto corresponde a porção central no qual são reconhecidos dois altos do embasamento: o Sete Lagoas ao sul e o Januária ao norte, separados pelo aulacógeno de Pirapora (Figura 4.2.A) que foi formado durante o Paleoproterozóico e remanesceu ativo durante toda a evolução Proterozóica da bacia (Reis & Alkmim 2015;Reis & Suss, 2016; Reis et al. 2016, 2017). Essa sobre carga imposta nas margens do cratón por diversas orogêneses Ediacariana-cambriana resultou no desenvolvimento de um sistema de bacias *foreland* que é representada pelos depósitos do Grupo Bambuí, alvo do nosso estudo (Martins-Neto 2009; Alkmim & MartinsNeto 2012; Caetano-filho 2019).

O Grupo Bambuí juntamente com as outras coberturas Neoproterozoicas da bacia exibem metamorfismo e deformação mais efetiva junto as bordas das faixas móveis brasileiras, que possuem vergência tectônica em direção ao centro do Cráton (Almeida 1977, Alkmin et al. 1993).

4.2 ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO

Na região à nordeste de Arcos, aflora o embasamento do Cráton que consiste em unidades arqueanas formadas pelos TTG's do complexo Campo Belo, compostos por otognaisses, granitoides, anfibolitos e raras meta-ultramáficas, localmente intrudidas por gabronoritos, granitoides, gabros e perigmatitos (Teixeira *et al.* 2000).

A sequência metassedimentar na região se encontra na porção sudoeste e integra a Formação Sete Lagoas, porção inferior do Grupo Bambuí de idade Neoproterozoica médio a superior, pertencente ao Supergrupo São Francisco.

O Grupo Bambuí cobre centenas de milhares de quilômetros quadrados de norte ao sul da bacia, nos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás e Tocantins. Pode ser subdividido em três megaciclos com raseamento ascendente (*shallowing up*) (Muzzi-Magalhães 1989) que consistem em pelitos e calcilitos marinhos profundos na base que passam progressivamente para fácies carbonáticas rasas. É composta por sucessões mistas de carbonatos e rochas siliciclásticas (Dardenne, 1978). Sua estratigrafia (Figura 4.3.B) completa

engloba as seguintes formações, da base para o topo: Formação Jequitai com rochas siliciclásticas e glaciais, Formação Sete Lagoas (rampa carbonática e marinha), Serra de Santa Helena (siliclásticas/carbonatos e rochas marinhas rasas), Formação Lagoa do Jacaré (carbonatos marinhos), Formação Serra da Saudade (siliclásticas, marinhas) e Formação Três Marias (siliclásticas, transicionais), provavelmente desenvolvidas na margem ocidental da bacia em resposta ao carregamento orogênico devido aos avanços da frente Brasileira/Pan-Africana (Dardenne 1978; Chang et al. 1988; Castro & Dardenne 2000; Martins-Neto 2009; Sial et al. 2009; Reis & Suss 2016; Uhlein et al. 2017).

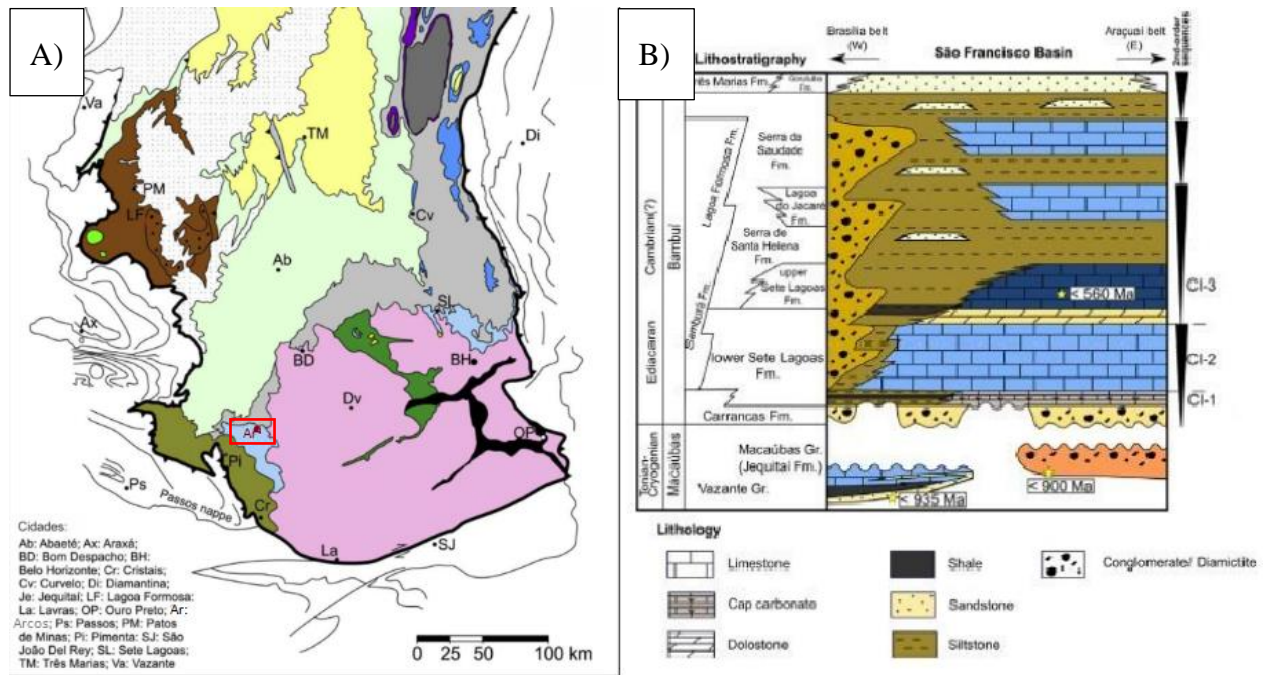


Figura 4 2: A) Mapa litoestratigráfico da porção sul do Cráton São Francisco. Destaque em vermelho para a localização da cidade em estudo (Ar: Arcos). Adaptado de: Uhlein et al, 2017. B) Perfil Estratigráfico do Grupo Bambuí. Modificado de Caetano-Filho et al. 2019)

Ocorrem na base da sequência Bambuí, pacotes descontínuos de conglomerados com clastos de gnaiss, rochas máficas, calcários e veios de quartzo, ritimitos e em alguns locais pontuais, ocorrência de arenitos, folhelhos negros e dolomitos da Formação Carrancas (Costa & Branco 1961;), que não é aflorante na região. A natureza dessa unidade permanece incerta quanto a sua origem glacial (Romano 2007; Vieira et al. 2007; Rocha Campos et al., 2011; Tuller et al., 2008, 2010; Uhlein et al., 2012; Kuchenbecker et al., 2016a; Reis and Suss, 2016).

Abaixo da base do grupo Bambuí, a Formação Samburá, é constituída por conglomerados polimíticos e pelitos, sendo interpretada por Valeriano (1992), como depósitos de leques subaquáticos e fan deltas provenientes da erosão da Faixa Brasília. Na região ela se encontra empurrada sobre a Formação Sete Lagoas.

4.2.1 Formação Sete Lagoas

Alvo de estudo desse trabalho, a Formação Sete Lagoas representa o início da sucessão carbonática do Grupo Bambuí, e pode ser dividida em ao menos três ciclos marinhos transgressivos-regressivos o que resulta na divisão da formação em dois membros: a parte inferior é caracterizada por calcários e folhelhos laminados ricos em matéria orgânica. Já a parte superior é composta por doloarenitos a dololutitos cinzas claros, associados a estromatólitos laminados e colunares, e teppes típicos de ambientes litorâneos rasos (Dardenne 1978; Misi 1978; Martins et al 1993; Guerra et al 1994; Vianna et al 1994; Nobre-Lopes 1995; Lima 1997; Conceição-Filho et al 1998; Nobre-Lopes 2000; Vieira 2007; Misi et al 2007; Martins & Lemos 2007; Zalán & Romeiro-Silva 2007; Lima 2011; Kuchenbecker 2011; Santos 2012; Alvarenga et al 2014). A ocorrência de leques de cristais de pseudomorfos de aragonita, associados a lamas carbonáticas e de fosfato são comuns nos intervalos de transgressão, o que relacionado as anomalias negativas de $\delta^{13}\text{C}$, valida a interpretação de ser um carbonato de capa na base do trato transgressivo.

Formada num contexto climático pós-glacial, estudos isotópicos ainda se divergem a qual evento glacial esta Formação está associada. Babinski et al (2007), com base em datações Pb-Pb em carbonatos, os relaciona a glaciação Sturtiana, corroborada pela variação da assinatura isotópica e por relações estratigráficas, enquanto outros autores considerando assinaturas isotópicas de ^{13}C e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, preferem uma correlação com o Marinoano ou até posterior, revigorada por isócronas Pb-Pb de cerca de 608 Ma (Caxito et al 2012; Alvarenga et al 2014; Paula-Santos et al 2015; Uhlein et al 2017; Caxito et al 2018).

A datação dessa formação por zircões detríticos, retirados das margas da porção inferior da sucessão, apresentam idades entre 625 e 584Ma, o que indica idade Edicariana para essa sequência (Paula-Santos 2012). Com a descoberta do fóssil guia *Cloudina sp* nos carbonatos da parte intermediária da Formação, a idade indicada é de 553-542 Ma (Warren et al. 2014) o que confirma a deposição durante o Edicariano.

Na região do Alto São Francisco, os ciclos transgressivos-regressivos foram definidos por Madalosso & Veronese (1978) e, segundo eles, durante o trato transgressivo, os silitos e argilitos verdes a róseos foram depositados em águas calmas e moderadamente profundas. Transicionalmente essas fácies passam gradacionalmente a calcários plaqueados e a calcarenitos com intercalações de brechas lamelares depositados em águas rasas e agitadas. No segundo ciclo de transgressão, em um contato brusco e irregular, surgem os dolomitos calcíferos sacaroides a laminados, formados em águas rasas que variavam de calmas a agitadas. Durante a regressão desse ciclo, o ambiente se torna restrito o que proporcionou a dolomitização recristalização dessas camadas, o que culminou no começo da carstificação. Uma característica dessa etapa é a presença de brechas de colapso e por cavidades irregulares preenchidas por calcita espática grosseira.

O último ciclo é reconhecido em calcários escuros com fácies maciças, estromatolíticas, com presença olítos e micrita, localmente plaqueados e com brechas lamelares. Estes são de águas rasas menos associadas a exposições e alternâncias de fases agitadas e calmas.

Nobre & Coimbra (2000), baseado-se em um perfil de 100m de altura em uma pedreira pertencente a mineração da CSN, em Arcos- MG, identificou quatro fácies sedimentares distintas da seção de carbonatos cinzentos da Formação Sete Lagoas (Figura 4.4). O primeiro intervalo, descreve uma plataforma carbonática progradante do tipo rampa com barreiras arenosas, nas fácies da rampa externa são encontrados biostromas, carbonatos detríticos e estromatólitos. A segunda fácies representa uma planície de maré regressiva pois contém polomitos estromatolíticos com intercalações regulares de dolarenitos e dolorruditos com microfítólitos e fragmentos de estromatólitos em todo esse intervalo. As últimas fácies, são semelhantes a ciclos Oolite Grainstone, característicos de plataformas rasas e amplas, com corpos de calcarenitos oolíticos nas suas porções superiores.

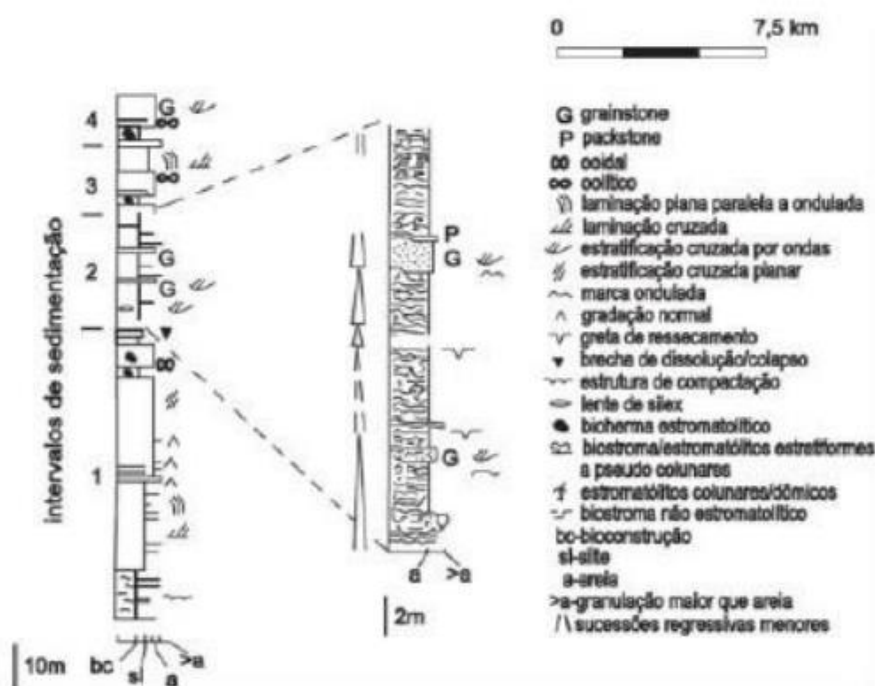


Figura 4.3: Perfil esquematizado por Nobre & Coimbra(2000) em Arcos-Mg

4.3 CICLOS DEPOSICIONAIS DA BACIA BAMBUÍ

O Grupo Bambuí é composto predominantemente, por uma sedimentação de caráter carbonática e pelítica formadas durante extensa transgressão marinha que ocorreu no limite do Neoproterozoico com o Cambriano sobre o cráton São Francisco (Alkmim & Martins-Neto 2012).

Inicialmente foram reconhecidos por Dardenne (1981), três megaciclos transgressivos-regressivos onde o primeiro ciclo de transgressão estaria localizado no limite da Formação Carrancas

(conglomerados) para a Formação Sete Lagoa (plataforma carbonática). O segundo ciclo seria definido pela transição dos sedimentos terrígenos da Formação Serra de Santa Helena para os carbonatos da Formação Lagoa do Jacaré, e por fim, no topo dos siltitos da Formação Serra da Saudade para a base das fácies fluvio-deltáicas da Formação Três Marias (Dardenne 2000, Alkmim & Martins-Neto 2001). Porém estudos sedimentológicos, estratigráficos, geoquímicos e geocronológicos posteriores, identificaram mais um ciclo transgressivo-regressivo de segunda ordem na Formação Sete Lagoas que permitiu que fosse dividida em porção inferior e superior, sendo que a parte superior da formação engloba os carbonatos-siliciclásticos. Definindo assim quatro ciclos desse tipo na bacia (Reis & Alkmim 2015).

Recentemente, cinco sequências de transgressão e regressão de segunda ordem foram definidas por Uhlein *et al* (2017) sendo elas: i) os conglomerados da Formação Carrancas inferior sendo sobrepostos por pelitos e folhelhos que gradativamente evoluem para siltitos e dolomitos; ii) os carbonatos de capa do Sete Lagoas de trato transgressivo, associados a níveis dolomíticos no topo dessa sequência que sugere um trato regressivo na parte superior da Formação; iii) contato abrupto entre os carbonatos do topo do Formação Sete Lagoas e os folhelhos da Serra de Santa Helena, gradando ao trato de sistema de mar baixo em bancos oolíticos e depósitos de tempestade de rampa carbonática da Formação Lagoa do Jacaré; iv) a gradação progressiva dos folhelhos e siltitos transgressivos da formação Serra da Saudade para depósitos areníticos da Formação Três Marias; iv) a última é uma sequência incompleta de arenitos e pelitos da Formação três Marias.

5.1 ANÁLISE DE FÁCIES E ESTRATIGRAFIA

O levantamento de campo resultou na elaboração de 5 perfis estratigráficos nas áreas dos municípios de Arcos e Pains – MG (Figura 5.1) sendo 3 perfis no entorno de Arcos (Perfil Presídio, Perfil São Pedro e Perfil Corumbá 1) e os outros 2 perfis na região de Pains (Perfil Corumbá 2, Perfil PA1) (Figura 5.2). Para complementar o levantamento estratigráfico, foram incluídos os perfis levantados por Vernoy (2018) na discussão para ampliar a área estudada e entender melhor a distribuição das sucessões sedimentares observadas.



Figura 5-1: Mapa de Localização dos perfis levantados no trabalho de campo.

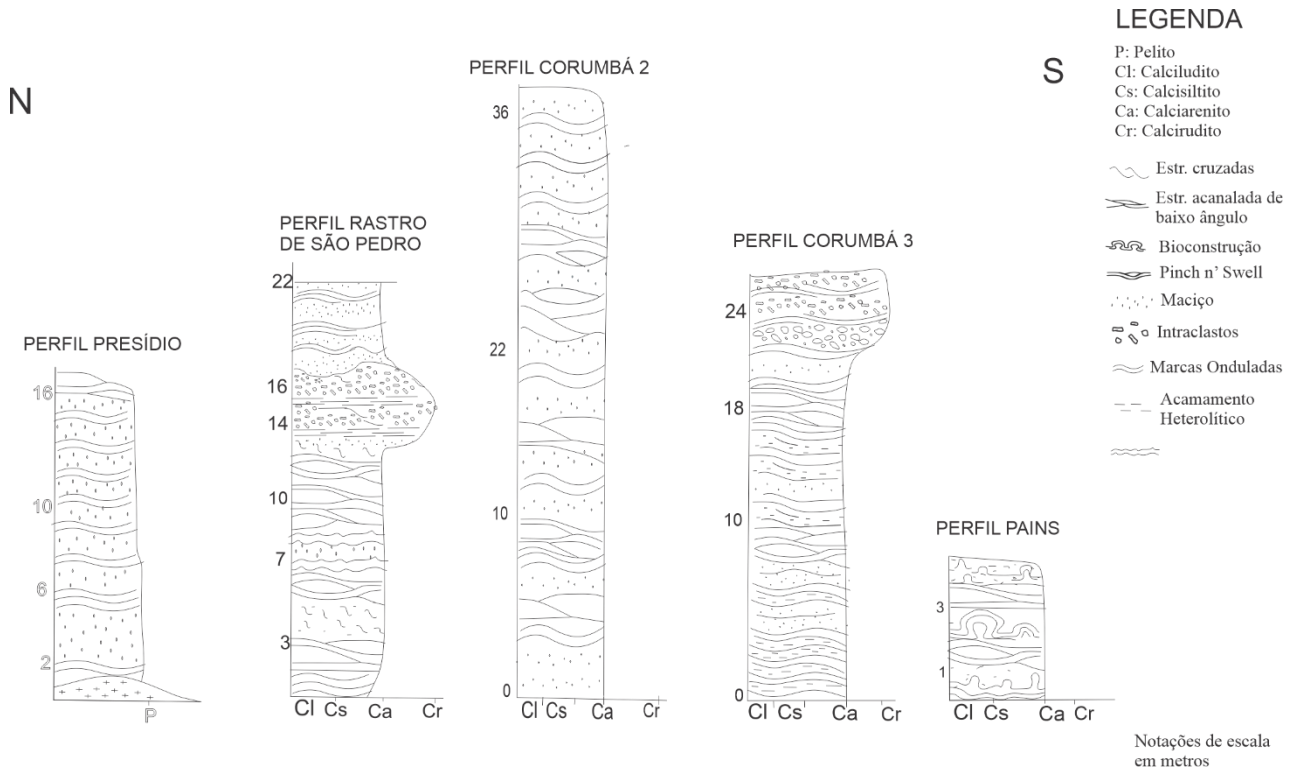


Figura 5-2: Perfis elaborados durante trabalho de campo na região de Arcos e Pains posicionados de norte a sul. Escala vertical em metros

Em termo litoestratigráfico, na região ocorre o embasamento cristalino, com maior expressão na região Arcos, o qual é recoberto diretamente por um pacote de pelitos siltoso a argiloso com até 20 m de espessura. Os depósitos de pelitos por sua vez, segundo a folha SF.23-V-B (CPRM) são recobertos, em aparente discordância, por uma espessa sucessão de calcários fino a médio com até 40 metros de espessura, abrangentes em toda área de estudo, porém não encontramos este contato em campo.

Por fim, estes calcários são recobertos por sucessão de dolomito com até 30m de espessura, onde o contato é marcado por uma superfície erosiva a abrupta. A ocorrência de dolomitos é restrita a região de Pains.

Análise de fácies auxiliada pelos perfis levantados, foi possível identificar 13 fácies sedimentares (Tabela 5.1), que incluem duas fácies siliciclásticas, 10 fácies calcárias e 1 fácies dolomíticas. Estas fácies foram agrupadas em cinco associações de fácies que incluem: A1) Plataforma distal, A2) Transicional, A3) *Shoreface* inferior, A4) *Shoreface* com influência de tempestade e A5) Recife de estromatólitos. Que serão combinadas com as associações definidas no trabalho de Vernoy 2018 que aqui serão respectivamente A6) Manto de brechas epicársticas, A7) Supramaré Cárstica, A8) Planície de Maré.

Tabela 5-1: Fácies e associação de fácies da formação Sete Lagoas em Arcos-Mg

Fácies	Descrição	Processo deposicional	Associação de Fácies	Ambiente deposicional
Pl	<i>Pelito laminado:</i> pelito siltoso de coloração que alterna entre amarelo e rosado, com laminações onduladas, camadas com espessamento e lateralmente, associadas a raras laminações cruzadas <i>hummockys</i> .	Deposição do material fino em suspensão em ambiente de baixa energia e coluna da água espessa sob influência episódica de corrente de tempestade;	A1	Plataforma distal influenciado por correntes de tempestade
Pm	<i>Pelito maciço:</i> pelito argiloso de coloração amarelada, com acamamento maciço, bem compacto e com ondulações simétricas que marcam o topo das camadas.	Decantação do material fino em suspensão em ambiente de baixa energia e coluna da água espessa;		
Cl	<i>Calcarenito laminado:</i> calcarenito com laminações decimétricas planas a onduladas, que se adelgaçam lateralmente e evoluem para laminações cruzadas de baixo ângulo isoladas.	Deposição do material fino em suspensão em ambiente de baixa energia e coluna da água espessa com esporádica migração de forma de leito;	A2	Transicional
Cm	<i>Calcarenito maciço:</i> Calcarenito maciço com o topo das camadas ondulado.	Precipitação química de fluxos hiperconcentrados com influência de ondas;		
Ch	<i>Calculudito heterolítico:</i> Acamamento heterolítico de calcarenito fino intercalado com marga, ambos com laminação ondulada. No topo das camadas ocorrem esparsas marcas onduladas simétricas.	Fluxo oscilatório associado a processos de desaceleração;		
Cp	<i>Calclutito com laminação plano paralelo:</i> Calclutito com laminações plano paralelas, que podem se desenvolver lateralmente para laminações cruzadas de baixo ângulo.	Deposição de material em um leito plano e estável sob um fluxo oscilatório de alta energia;	A3	<i>Shoreface Inferior</i>
Ca	<i>Calcarenito com estratificação cruzada acanalada:</i> calcarenito fino de topo ondulado com estratificações cruzadas acanaladas e de baixo ângulo. O acamamento apresenta feições <i>pinch and swell</i> .	Migração da forma de leito sinuoso, tridimensional sobre fluxo unidirecional de alta energia influenciado por ondas normais;		
Cm	<i>Calcarenito Maciço:</i> Calcarenito fino com acamamento maciço com topo ondulado simetricamente.	Precipitação química de fluxos hiperconcentrados;		
Ct	<i>Calcarenito plano paralelo:</i> Calcarenito fino bem laminado com estratificações plano paralela e topo ondulado com arestas arredondados. Há a intercalação de finas lâminas de siltitos entre as camadas.	Deposição de material em um leito plano e estável sob um fluxo oscilatório de alta energia;	A4	<i>Shoreface</i> com influência de tempestades
Gr	<i>Rudstone intraclástico:</i> Brecha carbonática com clastos imbricados tabulares de calcário maciço e laminado de mesma	Fluxo unidirecional;		
Cm	<i>Calcarenito Maciço:</i> Calcarenito médio com acamamento maciço e camada tabular	Precipitação química de fluxos hiperconcentrados com ocasional migração de forma de leito com cristas relativamente retas (2D) em fluxo de alta energia;		
Bn	<i>Boundstone estromatolítico:</i> dolomitos com estromatólitos dômicos a colunares.	Formação de tapetes bacterianos, que prendem sedimentos de granulometria fina em camadas menores para formar laminações bem desenvolvidas de estromatólitos;	A5	Recifes de estromatólitos

5.1.1 Associação A1 – Plataforma distal

A associação A1 é o único depósito siliciclástico encontrado e ocorre de maneira isolada e as vezes bastante alterada. Representa a base da sucessão sedimentar estudada e é normalmente associada como sendo equivalente a Formação Carrancas ou remanescentes da Formação Macaúbas (Pacicullo & Valeriano, 2008) Estes depósitos recobrem diretamente o embasamento cristalino, como analisado em campo pela mudança brusca de solo. Por outro lado, o contato com a sucessão carbonática superior não foi observado.

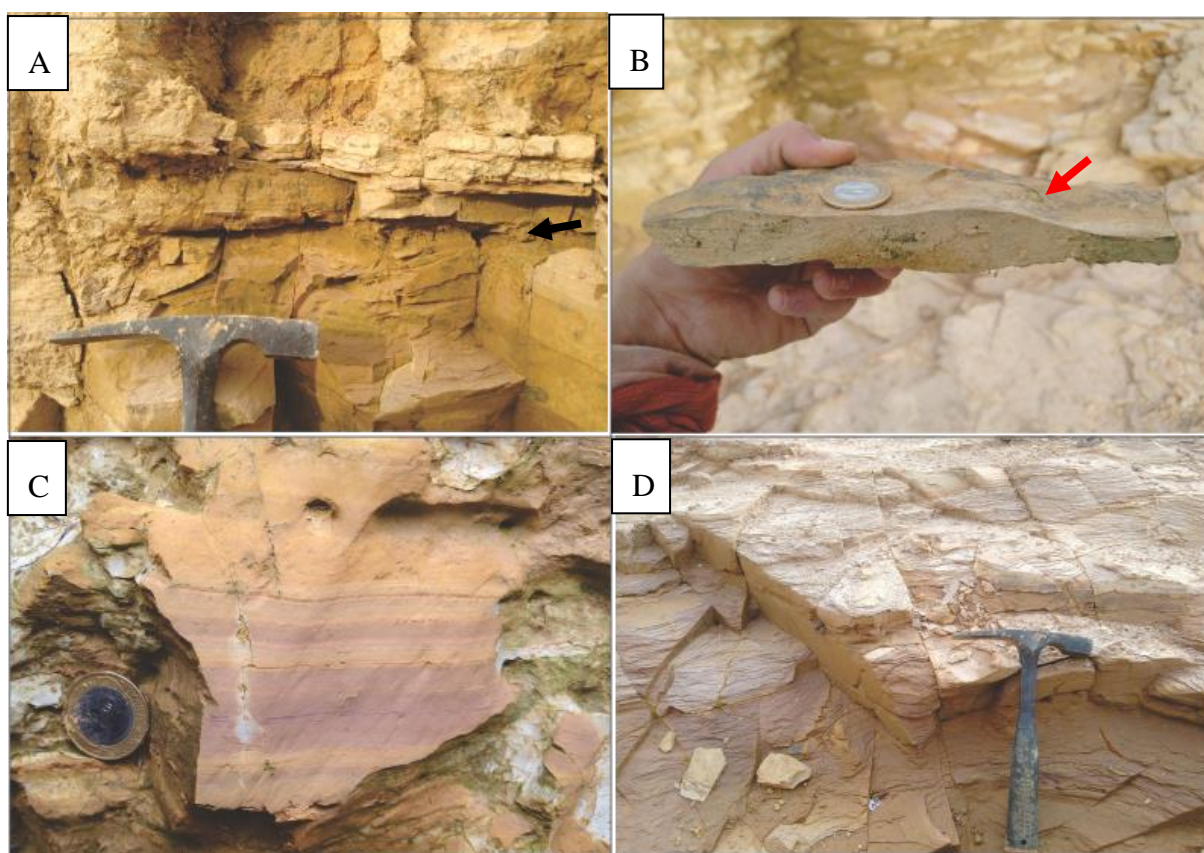


Figura 5-3: **A:** Associação de fácies A1 do perfil Presídio. Fácies Pl com espessamento e adelgaçamento da camada e fácies Pm intercalada; **B:** Amostra de mão do Pm com o topo da camada ondulado (seta); **C:** Fácies pelito laminado com alternância de coloração, porção rosa mais rica em silte e amarelada rica em argila.; **D:** Topo do afloramento com pacotes de pelito laminado;

A A1 consiste em duas fácies sedimentares: pelito argiloso maciço (Pm) e pelito siltoso laminado (Pl). A fácies Pm apresenta coloração amarelada, com acamamento maciço e bem compacto, as camadas são mais espessas que o a do Pl, (Figura 5.1A) tendo em média de 6 a 20cm com o topo das camadas levemente onduladas (Figura 5.1B). A fácies Pl, possui

coloração que varia entre rosada e amarelada (Figura 5.1C), com camadas que apresentam espessamento e adelgaçamento lateral, e internamente apresenta laminações onduladas de aproximadamente 1cm que lateralmente podem evoluir para laminações cruzadas *hummocky* (Figura 5.1D). Essas fácies ocorrem intercaladas entre si e apresentam cerca de 16 metros.

Interpretação

Por consistir em apenas sedimentos siliciclásticos finos, com camadas de grande continuidade lateral, associadas a pequenas ondulações, a laminações com feições de gradação normal, pode se interpretar que a deposição dessa associação de fácies consistia em um ambiente de baixa energia que permitia a decantação dos sedimentos em suspensão, associados a influxos de detritos episódicos. Estas condições sugerem um ambiente marinho profundo associado a fluxos de turbidez, ou seja, essas fácies foram depositadas em ambiente marinho profundo fruto de uma sedimentação gerada por fluxos turbidíticos de baixa densidade possivelmente desencadeados por tempestades em áreas mais rasas (Walker 1978).

5.1.2 Ambiente transicional – Associação A2

Na base do perfil Corumbá 2 apresenta fácies da base da sucessão carbonática da formação Sete Lagoas associadas ao ambiente transicional, consistindo nas fácies de um calcário com acamamento heterolítico (Ch) (Figura 5.4A) ondulado onde finas lâminas carbonáticas se intercalam com margas. Essa fácies é mais espessa na base do perfil e vai gradualmente se adelgaçando para o topo. A presença das margas (Figura 5.4B) também diminui para o topo a medida que a intercalação com a fácies calcário maciço (Cm) e calcário laminado (Cl) aumenta (Figura 5.4C). A fácies Ca é pouco expressiva sendo encontrada em camadas isoladas entre a fácies Ch. Essa fácies apresenta laminações decimétricas onduladas, que se adelgam lateralmente e evoluem para escassas laminações cruzadas de baixo ângulo isoladas (Figura 5.4D). No topo do perfil se nota a passagem para um ambiente de shoreface inferior com a diminuição da frequência das fácies de A2 e o aumento das fácies relacionadas a A3 e A4 (Figura 5.4E).

De acordo com o trabalho de Vernooij (2018) a deposição em ambiente transicional incide no perfil Posses Grandes que é localizado poucos metros a leste do perfil Corumbá 2 onde o autor descreve duas fácies sedimentares sendo elas um folhelho margoso de acamamento

ondulado que se intercala com um calcarenito fino laminado com topo margado por siltitos com espaços estratificações do tipo *swaley* e *hummocky*.

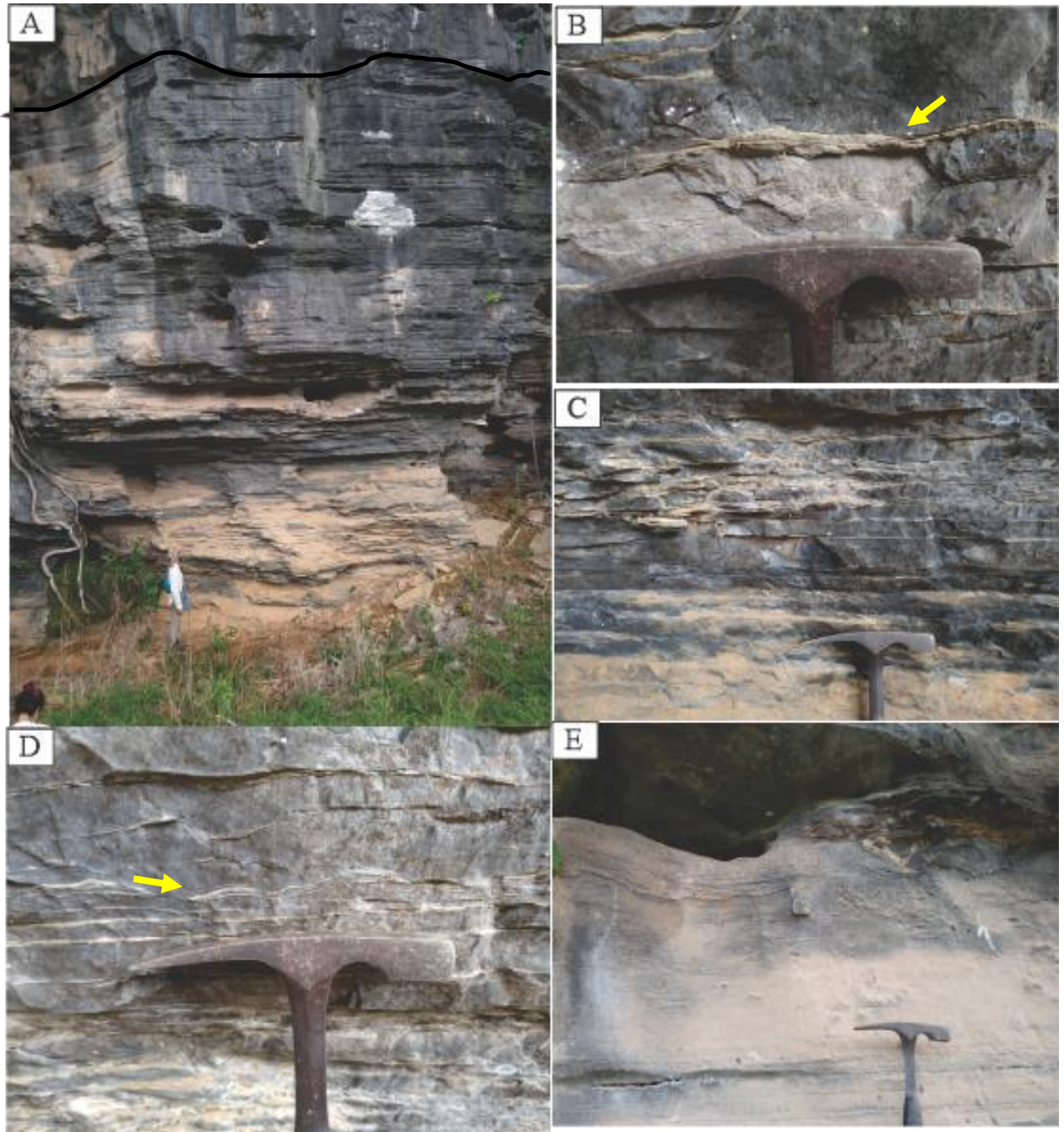


Figura 5-4: **A:** Sequência da fácies calcítica heterolítica e no topo (linha) transição para fácies Cm; **B:** Margas centimétrica entre camadas de calcário maciço; **C:** Acamamento heterolítico com topo das camadas reto; **D:** Margas onduladas marcando o topo das camadas da fácies Ch; **E:** Topo da seção com calcário maciço com ausência de margas.

Interpretação

A presença das margas intercaladas num calciludito maciço (Cm), as fácies de folhelhos descritas no trabalho de Vernooy (2018), e o predomínio de lama carbonática na lâmina analisada microscopicamente, indicam que parte da deposição se deu por meio de processos decantação em um ambiente de baixa energia sem a presença de fluxos oscilatórios além e a expressiva fácies Ch com acamamento heterolítico expõe uma sedimentação que se alterna em processos de suspensão e tração. Porém a presença de estratificações cruzadas acanaladas de baixo ângulo isoladas entre as camadas em combinação com as laminações onduladas simétricas indicam a ação esporádica de fluxo oscilatórios gerados por ondas com migração de forma de leito (Tucker & Wright 1990).

È também descrito no trabalho de Vernooy (2018) fácies com estratificação cruzada *hummockys* e *swalley* que podem ser explicados pela ação de ondas de tempestades (Tucker & Wright 1990) que ocasionalmente ocorriam.

Sendo assim, de acordo com o modelo de costas marinhas dominadas por ondas apresentado em Tucker & Wright (1990) a deposição ocorreu numa *Outer-ramp* carbonática em um ambiente marinho profundo com pouca ação de ondas normais que permite que a deposição seja predominantemente por decantação de material fino suspenso e que há pouco retrabalhamento do leito arenoso devido eventos de tempestades que geraram fácies oscilatórias por fluxo de ondas abaixo do nível de ondas normais.

5.1.3 Shoreface inferior– Associação A3

Ciclos de fácies de shoreface são predominantes nos perfis descritos na região de Arcos, ocorrendo as vezes na base do perfil como no visto na seção Rastro de São Pedro. No topo do perfil evolui para uma shoreface superior com alta influência de ondas de tempestades, as vezes no topo do perfil como visto no perfil Corumbá 3 sobrepondo fácies de um ambiente transicional ou se intercalando em todo o perfil como ocorre ao longo do perfil Corumbá 2 (Figura 5.5).



Figura 5-5: Vista Geral do Perfil Corumbá 2 com ciclos de Shoreface que ascendentemente ficam menores e alternância da fácies laminadas com maciças diminui.

Nas três seções levantadas percebe-se o mesmo padrão de intercalação das fácies que possuem espessamento e adelgaçamento laterais. Começando na base com um calciludito bastante compacto com estreitas camadas plano paralelas que lateralmente se desenvolvem para um acamamento de estratificações cruzadas de baixo ângulo (Cp) isoladas (Figura 5.6A). Sucedidas por camadas mais espessas de um calcarenito que estruturalmente as estratificações cruzadas são mais expressivas e dominantes, essa fácies definida como Ca também apresenta feições *pinch and' swell* que se expandem lateralmente e marcam bem o topo e a base de cada camada (Figura 5.5B). Este se intercala constantemente com camadas de calcário maciço.



Figura 5-6: **A:** Calcário fino com acamamento maciço com marcas onduladas simétricas nos topos da camada (seta) **B:** Detalhe do acamamento tipo *pinch and swell* (Seta) em calcários laminados; **C:** Sucessão de calcário maciço intercalado com calcário laminado com possíveis esteiras microbiais, marcando ciclos de raseamento ascendente;

Essas três fácies são muito expressivas no perfil Corumbá 2, que possui cerca de 36 metros onde a espessura de cada fácies chega a aproximadamente 5 metros, mas é possível notar que ao aproximar ao topo dessa seção esses ciclos de alternância entre as camadas se tornam de menor amplitude do que os vistos na base, o que antes eram camadas centimétricas se tornam milimétricas.

Interpretação

As estruturas apresentadas nessa associação de fácies indicam um frequente fluxo oscilatório que geraram as marcas onduladas simétricas e o acamamento de estratificações

cruzadas com espessamento e adelgaçamento lateral (Tucker & Wright 1990) intercalado com um camadas maciças podem indicar breves sedimentações por suspensão devido a diminuição do fluxo. Prevê-se então que a deposição um domínio de rampa intermediária entre o nível de base das ondas de tempestades e o nível de ondas de tempo normal, sendo que na fácies do um cacilutito laminado (Cp) com bastantes ondulações no topo marcam a transição da rampa interior acima da base de ondas de bom tempo (Tucker e Wright 1990). A presença de laminações irregular, interpretadas como esteiras microbiais (Figura 5.6C), indica períodos de raseamento da coluna da água que permitia a colonização de comunidades bacterinas sobre as formas de leito.

5.1.4 Shoreface com influência de tempestade – Associação A4

Nas porções mais altas dos perfis levantados em Arcos como a partir dos 30 metros no perfil Rastro de São Pedro, há ocorrência de *rudstones* carbonáticos intraclásticos (Gr) mal selecionados com clastos tabulares e imbricados de aproximadamente 2 a 15 cm, sendo que nos clastos maiores é possível notar estruturas e estratificações. Essa fácies (Gr) se adelgaça lateralmente. O contato de base com a associação A3 é fortemente escavado sendo preenchido pelos clastos. E contato de topo com a fácies Ct é mais regular e levemente ondulada aparentemente transicional, porém quando o topo é com a fácies Cm, o contato é novamente bastante irregular (Figura 5.6A).

A fácies Ct é um calcarenito com estratificações plano paralela bem definidas de camadas por volta de 20 cm com topo reto (Figura 5.6B e C). Há finas lâminas de siltito entre cada set de estratificação, e nos perfis estudados está sempre em meio a fácies Gr. Por fim, essa também se intercala com o calcário maciço no topo do perfil Rastro de São Pedro após o contato abrupto da fácies Gr com a fácies Cm (Figura 5.6). A fácies Gr não volta a aparecer nas alturas finais desse perfil, sendo assim a fácies Cm mais espessa se intercala com a Ct que se torna cada vez mais fina para o topo.



Figura 5-7 **A:** Fácies Gr com clastos embricados e tabulares de diversos tamanhos abaixo e acima transição com topo irregular para calcário maciço; **B:** Alternância de finas camadas da fácies Ct entre a fácies Cm que diminuem ao topo **D:** Detalhe da camada plano paralelo da fácies Ct.

Interpretação

A presença da fácies Gr sugere o retrabalhamento do substrato carbonático ligado as variações no nível de base por correntes de maré e eventos de tempestades (Flugel 2004; Perrella Jr. et al. 2017). A ausência de feições de exposição subaérea, e a presença de calcários laminados (Ct, Cp, Cl, Ca) com estrofações cruzadas de baixo ângulo e marcas onduladas, além de clastos imbricados, sugerem que a facies Gr seja produto do retrabalhamento por eventos

de tempestade (Tucker & Wright 1999). As fácies de calcário maciço sugerem sedimentação carbonática em ambiente de baixa energia.

A relação entre as fácies da A4 sugere ambiente deposicional dominado por fluxo oscilatório, porém influenciado por eventos de tempestade que retrabalham o substrato carbonático. Desta forma, sugere-se que a associação A4 represente o ambiente de *shoreface* intermediário a superior dentro da plataforma intermediária (Tucker & Wright 1999).

5.1.5 Machas recifais de estromatólitos – Associação A5

Essa associação de fácies ocorre nos arredores do município de Pains e ainda não foi descrita nos afloramentos da região de Arcos. É representada pela fácies (Bn) que são estromatólitos colunares ou dômicos que se desenvolvem entre camadas de um calcarenitos cinza azulado. Tal fácies está associada a A3 que contém estratificações cruzadas acanaladas que preenche os espaços vazios entre as bioconstruções (Figura 5.7). Essa fácies é também descrita em um ponto no trabalho de Vernooy (2018) que cita que os conjuntos de biohermas formam pacotes lenticulares imersos entre depósitos de calcarenito cujo contato é abrupto e levemente irregular. Tanto nesse trabalho quanto no de Vernooy (2018) os afloramentos descritos não chegam a poucos metros, porém Meyer (2018) descreve afloramentos dessa associação com cerca de 8 metros de espessura nos arredores de Pains.

Interpretação

A presença de estromatólitos colunares (Vernooy 2019) e dômicos sugere um ambiente fluxo hidráulico ativo, que pode estar ligado a correntes de maré e fluxo oscilatório. Estas condições ambientes impedem com que as bioconstruções se estendam lateralmente e fazem com que o crescimento delas seja predominantemente gradacional ascendente pois as colônias microbianas são forçadas a subir (Logan et al. 1964). O preenchimento desses bioermas por sedimentos com carbonáticos arenosos são geradas pela migração de leito tridimensional influenciados por correntes de maré e ondas, o que indica ambiente de águas rasas que sob influência de maré e tempestades (Tucker & Wright 1990), onde se permitiu a construção de machas recifais de estromatólitos isoladas ao longo da rampa intermediária e interna.

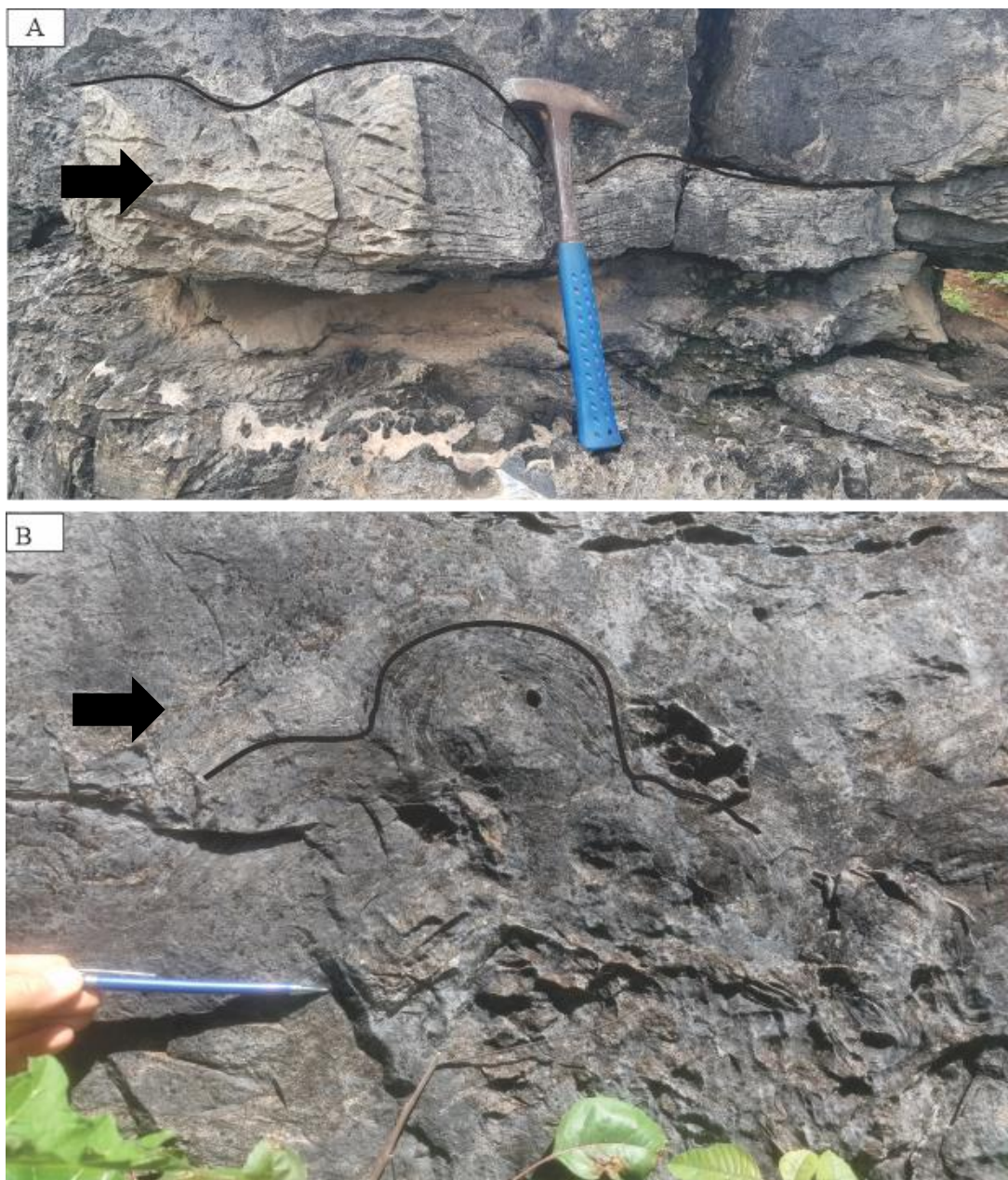


Figura 5-8: **A:** Fácies Bm composta de estromatólitos dômicos de tamanho decimétricos envolvidos em camadas de calcarenito cinza azulado. **B:** Em detalhe corpo de biormas em forma de bulbos.

5.1.6 Manto de Brechas Epicarsticas (Vernooy, 2019) – Associação A6

Foi descrito por Vernooy (2019) como brechas dolomíticas intraclástica, sustentada pelos grãos tabulares, mal seleccionada com gradação inversa que preenchem depressões profundas em forma de “V” e dolomito grosso e maciço com brechas intraestatais concordantes com acamamento vinculadas a vazios de dissolução (Oliveira;2017).

Interpretação

Essas associações de brechas dolomíticas intraclásticas que recobre e preenche superfícies incisivos e topo plano corresponde a textura e geometria de depósitos com manto de brecha epicártica. Vernooy (2019) interpretou que o arcabouço composto por doloarenitos e microbialitos são procedentes do retrabalhamento da plataforma carbonática rasa que passou por exposição subaérea seguido de uma dissolução em zonas epicártica.

5.1.7 Supramaré Cárstica (Vernooy,2019) – Associação A7

São descritos em um perfil por Vernooy (2019) recobrimo as brechas dolomíticas com dolomitos maciços, rudstones dolomíticos intraclásticos com feições de arqueamento e estruturas *tepee-like* e esteiras microbiais que demonstram ciclos de raseamento ascendente.

Interpretação

Vernooy (2019) considerou que as fácies desta associação foram depositadas no sistema de supramaré cárstica devido a ciclos de raseamento que marcam períodos de alta frequência a afogamentos alternados com período de exposição subárea. Além da baixa extensão lateral e espessura delgada indicam zonas de águas restritas e rasas.

5.1.8 Planície de Maré (Vernooy, 2019) – Associação A8

Composta por uma sucessão dolomítica que evolui para calcários-Mg para ao topo é representada no trabalho de Vernooy (2019) pelas fácies doloareníticas com *megaripples* intercaladas com recifes estromatolíticos estratiforme que evoluem para domos e colunas ramificadas. Também identificou fácies de doloarenitos com acamamento heterolítico e eventuais brechas carbonáticas intraclásticas.

Interpretação

Interpretou-se essa associação como ciclos de raseamento ascendente de planícies de maré, mais especificamente na zona intermaré (Vernooy 2019). Esse ambiente se localiza entre a linha de maré mínima e máxima sendo um ambiente ativo hidrologicamente e alterna em períodos de alagamento e exposição sub-área (Tucker & Wright 1990)

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO

6.1 SUCESSÃO ESTRATIGRÁFICA E EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL

A evolução de uma sucessão carbonática acompanha a dinâmica tectônica da bacia junto com as variadas mudanças climáticas que variam o nível do mar além da produção de carbonatos (Reis & Suss 2016). De acordo com os trabalhos mais recentes, na porção sudoeste do Cráton São Francisco, a Formação Sete Lagoas ocorre preenchendo uma série de grabens nucleados onde se instaurou uma plataforma carbonática após eventos de transgressão marinha do Neoproterozoico (Reis & Suss 2016, Pacoal Aprella Jr *et al.* 2017, Ulhein *et al.* 2019, Caetano-filho *et al.* 2019).

A Formação Sete Lagoas tem sido interpretada como uma rampa carbonática em diferentes regiões do Cráton São Francisco (Reis & Suss 2016, Pacoal Aprella Jr *et al.* 2017, Ulhein *et al.* 2019, Caetano-filho *et al.* 2019). Na região de Arco-Pains esta interpretação também tem sido atribuída (Oliveira 2017, Vernoy 2019). Neste trabalho, os dados levantados também sugerem registro de uma rampa carbonática. A passagem transicional entre os subambientes dominados por onda (associações calcíticas A2 a A5) para dominados com maré (associações dolomíticas A6 a A8), e a ausência de fácies lagunares, de ilhas barreiras ou de fluxo de detritos em taludes, reforçam a proposta de depósitos de rampa carbonática. Também foi possível identificar três subambientes ao longo da rampa carbonática, que incluem (Figura 6.1): rampa distal (A1), rampa intermediária (A2 e A3), e rampa interna (A6 a A8)

A partir do conjunto de dados coletados nesse trabalho associados aos dados dos estudos de Vernoy (2019) e Oliveira (2017), foi possível elaborar uma proposta de correlação entre as sucessões carbonáticas-siliciclásticas da Formação Sete Lagoas na região de Arco-Pains (Figura 6.1). A união destes dados permitiu definir com mais clareza a distribuição das associações de fácies da Formação Sete Lagoas na região bem como a evolução de sedimentação da rampa carbonática na região (Figura 6.2).

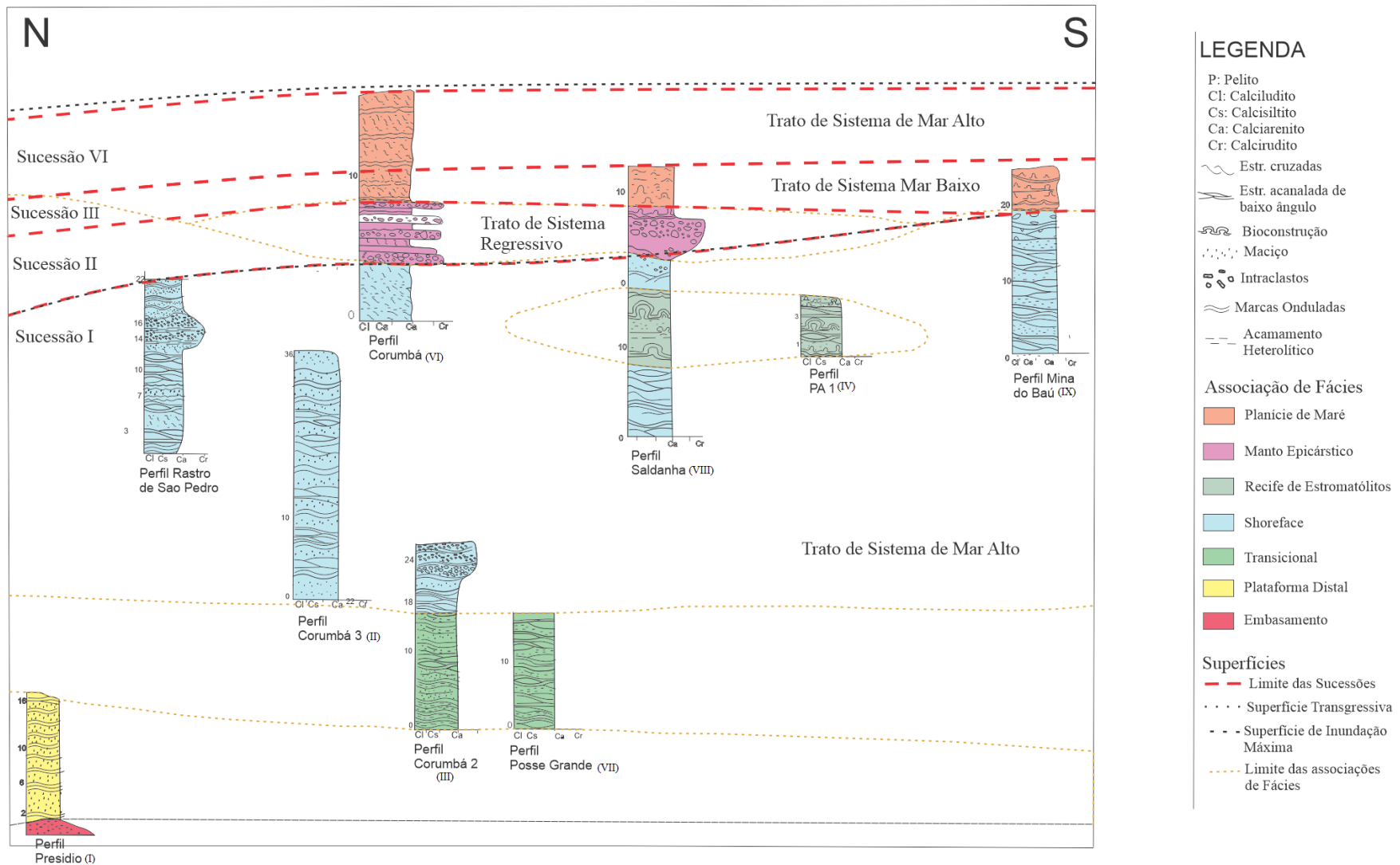


Figura 6-1: Distribuição e correlação estratigráfica entre os perfis construídos neste trabalho que incluem os perfis: I, II, III, IV, com os perfis elaborados por Vernoy (2019): VI, VII, VIII,

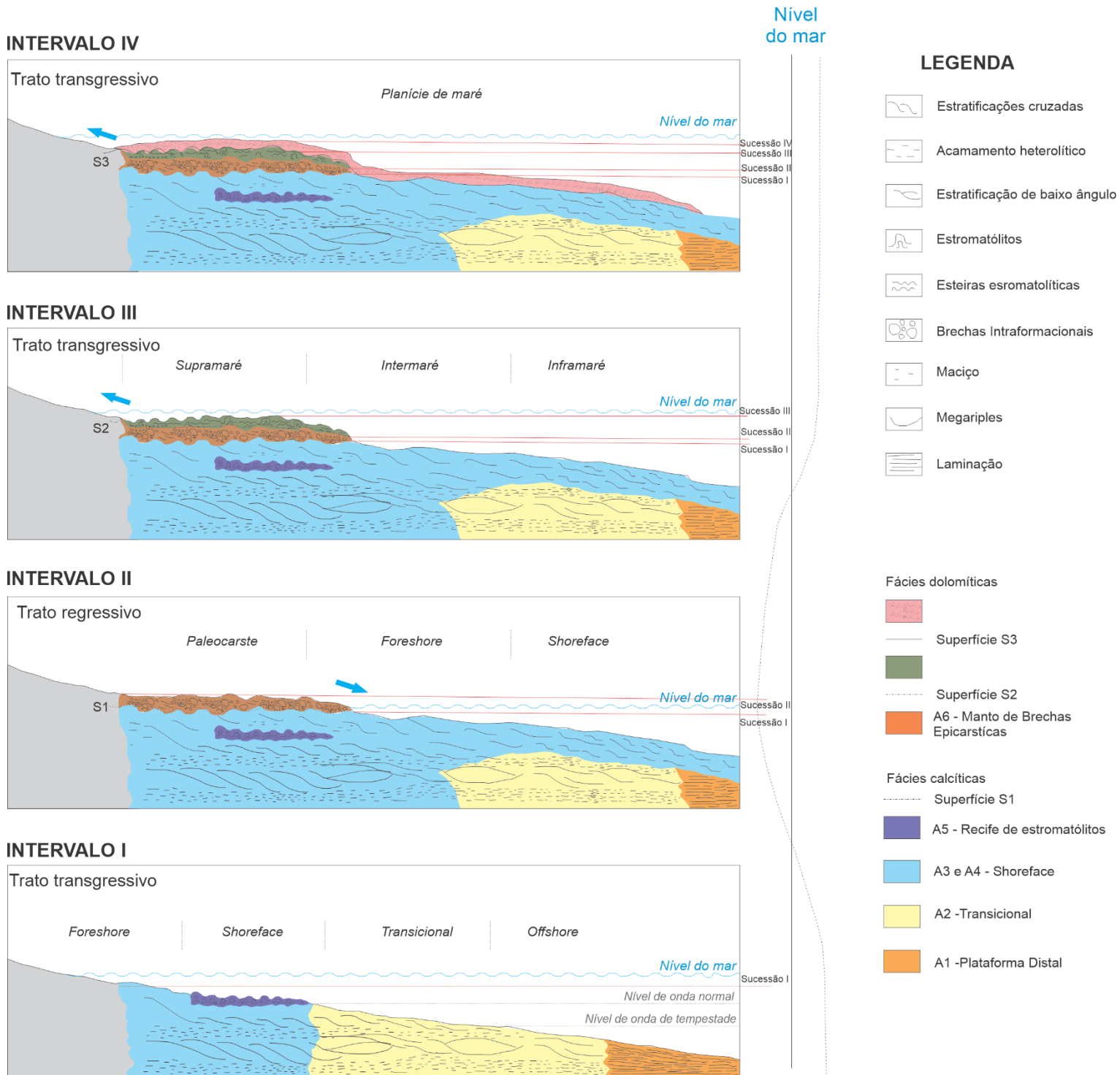


Figura 6-2: Evolução paleoambiental da formação Sete Lagoas na região de Arcos e Pains separadas intervalos deposicionais.

Assim a Formação Sete Lagoas na região apresenta 4 sucessões estratigráficas, que incluem:

Sucessão I

A porção basal da sucessão I recobre diretamente o embasamento cristalino com depósitos siliciclásticos-carbonáticos de folhelhos, siltitos e margas da associação A1 referente rampa distal. Estes depósitos ocorrem na região de Arcos. Na porção superior, a sucessão I evolui de forma transicional para os calcários da associação A2 a A4, pertencentes a rampa intermediária influenciada por tempestades. A presença de biohermas estromatolíticas esparsas (A5) sugere zonas rasas com baixo influxo de terrígenos que permitiu o desenvolvimento de bioconstruções microbiais. Estes depósitos ocorrem de forma ampla na região de Arcos e Pains.

O conjunto dessas associações se encaixam no primeiro ciclo descrito por Madalosso & Veronese (1978) e a associação FA do trabalho de Pires (2017) que sugere essas fácies distais em rampa carbonática saturada cujo aumento de estruturas de ondas sugerem a transição de um ambiente mais profundo para um ambiente mais energético. Já a porção carbonática segundo Nobre-Lopes (1995) e Meyer (2018) se trata do primeiro intervalo de deposição com fases de sedimentação sob regime de progradação de mar alto, que no trabalho de Caetano-Filho (2019) e Ulhein (2019) sugere o início do sistema transgressivo de mar alto.

Sucessão II

A sucessão II engloba as associações de fácies dolomíticas (A6 e A7) que ocorrem restritas a região de Pains, cuja base com as associações anteriores é cortada por uma superfície erosiva relacionadas a escavações de canais incisos (Oliveira 2017) que são preenchidos por estratos decimétricos de dolomitos maciços e estratificados. No trabalho de Vernooy (2019) é representada pelas associações que aqui foram definidas como A5 (Manto de brechas epicársticas) e A6 (Supramaré Carstica) com fácies compostas por doloarenitos a doloruditos e brechas de manto epicarstica que são originários de colapso e dissolução com fraca segregação gravitacional.

Essas feições foram definidas como de carstificação pelos autores Madalosso & Veronese (1978), Santos (2012) e Nobre-Lopes (1995) que a relacionam a um evento de exposição subáerea devido a um ciclo de regressão marinha, que foi duradouro suficiente para dissolver em zonas epicársticas. Evento de exposição esse relatado ao limite da primeira

sequência de 2º ordem do grupo Bambuí (Reis & Suss 2016, Caetano Filho *et al.* 2019, Uhlein *et al.* 2019)

Outra observação a ser feita e ao comparar o trabalho de Vernooy (2019) realizado em Pains com os perfis levantados em Arcos, percebe-se que as fácies dolomíticas e estromatolíticas não aparecem na região de Arcos o que indica que nos ciclos de regressão marinha e raseamento, nesta região não chegou a ter exposição subaérea.

Sucessão III

A sucessão III consiste em uma camada métrica e extensa de dolomito microbial da associação A6 que recobre diretamente as brechas intraclásticas da sucessão II ou os calcários da sucessão I. Esta sucessão ocorre exclusivamente na região de Pains. A presença de estromatólitos colunares com crescimento contínuo, sugerem a instalação de recifes estromatolíticos sob regime de aumento do nível do mar relacionados a um evento transgressivo, após a exposição da rampa carbonática durante a sucessão II. Esta sucessão marca o restabelecimento da sedimentação da rampa carbonática com a reativação da fábrica carbonática.

Este evento transgressivo foi relacionado por Nobre-Lopes (1995) como uma deposição em planície de maré restrita sobre plataforma de baixa declividade. Essa sucessão também corresponde ao terceiro ciclo transgressivo descrito por Maldalosso & Veronese (1978) e Nogueira *et al.* (2017) define que o aumento do nível do mar provocou o aumento dos nutrientes nas partes mais rasas reativando as colônias microbiais.

Sucessão IV

A sucessão IV representa a porção superior da Formação Sete Lagoas na região, referente ao terceiro intervalo deposicional da Formação Sete Lagoas (Misi *et al.* 2011). Consiste em dolomitos com acamamento heterolítico e estromatólitos, exclusivos a região de Pains, como descrito por Vernooy (2019) e aqui definidos com A7 e A8. Essa sucessão é interpretada como depósitos de planície de maré desenvolvidos durante o estágio de progradação da plataforma. A intensa dolomitização pode estar correlacionado a presença de zonas de águas mistas na porção da rampa carbonática interna. No trabalho de Vieira (2007) esta sucessão é correspondente a rampa interna estromatólica do segundo ciclo transgressivo descrito, e nos trabalhos de Maladoso & Veronese (1975).

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

A partir dos dados levantados foi possível identificar 4 sucessões sedimentares as quais registram no mínimo três eventos de sedimentação ligados a variação do nível do mar durante a evolução da plataforma carbonática Sete Lagoas, que incluem:

- Primeira sucessão é marcada pela deposição de folhelhos, calcarenitos calcícticos e colônias estromatolíticas isoladas das associações A1, A2, A3, A4 e A5, correspondem ao trato de sistema de mar alto sob influência de tempestades.
- Segunda sucessão consiste em um sistema regressivo, onde ocorre a queda relativa do nível do mar e conseqüente exposição subaérea da plataforma carbonática, o que gerou a superfícies de carstificação erosiva e o desenvolvimento do manto de brechas cárstica
- A terceira sucessão é definida pelo pacote microbialitos, composto por estromatólitos colunares, e dolomitos que marcam o evento de transgressão marinha responsável pelo afogamento dos depósitos cársticos, além de marcar a reativação da fábrica carbonática na plataforma marinha rasa.
- A quarta e última sucessão representa o retorno do trato de sistema de mar alto com depósitos de calcários heterolíticos e esteiras microbiais associados a sistemas de planície de maré.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams A. E., Mackenzie W.S., Guilford C. (eds) 1984. Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Longman, Harlow, 140p
- Alkmim F.F. & Martins-Neto M.A. 2012. Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 33(1): 127-139.
- Alkmim F.F., Brito-Neves B.B., Castro – Alves J.A. 1993. Arcabouço Tectônico do Cráton do São Francisco – Uma Revisão. In: Dominguez J.M.L. & Misi A. (ed.) O Cráton do São Francisco. SBG/SGM//CNPq, Salvador, 45 – 62.
- Alkmim F.F. & Martins – Neto M.A. 2001. A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto C. P., Martin-Neto M.A. (Ed) Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. SBG (MG), Belo Horizonte, 9-30.
- Aitken J.D.; Two Late Proterozoic glaciations, Mackenzie Mountains, northwestern (Canada). *Geology*; 19 (5): 445–448.
- Almeida, F.F.M. 1964. Geologia do Centro-Oeste matogrossense. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. Rio de Janeiro, DNPM, Boletim 219, 1-53p
- Almeida F.F.M. 1977. O cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.* 7 (4): 349-364.
- Babinski M, Trindade RIF da, Alvarenga JC, Boggiani PC, Liu D, Santos RV. Geochronological constraints on the neoproterozoic glaciations in Brazil. *Snowball Earth*. 2006;
- Castro P.T.A. & Dardene M.A. 2000. The sedimentology stratigraphy and tectonic context of the São Francisco Supergroup at the southwestern domain of the São Francisco Craton, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.* 30(3):439 – 441
- Caetano-Filho, S., Paula-Santos, G. M., Guacaneme, C., Babinski, M., Bedoya-Rueda, C., Peloso, M., ... & Trindade, R. I. 2019. Sequence stratigraphy and chemostratigraphy of an Ediacaran-Cambrian foreland-related carbonate ramp (Bambuí Group, Brazil). *Precambrian Research*, 105365.
- Condon, D.J., Bowring, S.A., 2011. A user's guide to Neoproterozoic geochronology. In: Arnaud, E., Halverson, G.P., Shields-Zhou, G. (eds.). *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. Geological Society of London, Memoir 36. 135-149p.

- Dardenne M.A. 1981. Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa de Dobramentos Brasília. In: Simpósio do Cráton São Francisco e Faixas Marginais, 1, Salvador. Anais, Salvador, SBG: 140 – 157.
- Dardenne M.A. 2000. The Brasília fold belt. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz-Filho A., Campos D.A. (Eds.). Tectonic evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 231 – 263.
- Dunham R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (Ed.) Classification of Carbonate rocks. Am. Ass. Petrol. Geol., p.108-121 (Memoir1).
- Embry, A. F., Klovan, J. E.1971. Upper Devonian Stratigraphy, Northeastern Banks Island, N.W.T. Bulletin of Canadian Petroleum Geology Vol. 19 (1971), No. 4. Pages 705-729.
- Evans, D.A.D., 2000. Stratigraphic, geochronological and paleomagnetic constrains upon the Neoproterozoic climatic paradox. American Journal of Science. 300:353-385.
- Evans, D.A.D. 2003. A fundamental Precambrian-Phanerozoic shift in Earth's glacial cycle. Tectophysics. 300:347-443.
- Eyles N., Januszczak N. 2004. —Zipper-rift: a tectonic model for Neoproterozoic glaciations during the breakup of Rodinia after 750Ma. Earth-Science Reviews, 65:1-73.
- Flügel E. (2004) Microfacies Data: Fabrics. In: Microfacies of Carbonate Rocks. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Grotzinger, J.P., Knoll, A.H. 1995. Anomalous carbonate precipitates: Is the Precambrian the key to the Permian. Palaios, 10:578-596. Grotzinger J.P. & James N.P. 2000. Precambrian carbonates evolution of understanding. In: Grotzinger J.P., James N.P. (eds.) Carbonate sedimentation and diagenesis in the evolving Precambrian World. Tulsa: SEPM Special Publication, 67: 3 – 20.
- Halverson, G.P., Hoffman P.F., Schrag D.P., Maloof, A.C., Rice, A.H.N. 2007. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. Geol. Soc. Amer. Bull. 117:1181-1207.
- Halverson, G.P., Wade B.P., Hurtgen M.T., Barovich K.M. 2010. Neoproterozoic chemostratigraphy. Precambrian Research. 182:337-350.
- Hoffman, P.F., Schrag D.P. 2002. The Snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. Terra Nova, 14:129-155
- Hoffman, P.F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out? Science, 252:1405-1412.
- Hoffman P.F. 1999. The break-up of Rodinia, birth of Gondwana, true polar wander and the snowball Earth. Journal of African Earth Science, 28:17-33.

- Hoffman, P.F., Schrag D.P. 2002. The Snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova*, 14:129-155.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., Schrag, D.P. 1998. A Neoproterozoic snowball Earth. *Sci.* 281:1342–134
- James N.P. & Choquette P.W. 1988. *Paleokarst*. New York: Springer-Verlag, 416p.
- Kaufman, A.J. & Knoll, A.H. 1997. Neoproterozoic variations in the C-isotopic composition of seawater: stratigraphic and biogeochemical implications. In: A.H. Knoll & M.R. Walter (eds.) *Neoproterozoic stratigraphy and Earth History*. *Precambrian Res.*, 73:27-49.
- Knoll, A., Walter, M. Latest Proterozoic stratigraphy and Earth history. *Nature* **356**, 673–678 (1992).
- Knoll, A.H. 2000. Learning to tell Neoproterozoic time. *Precambrian Res.* 100:3-20
- Kuchenbecker M. 2011. Químioestratigrafia e proveniência sedimentar da porção basal do grupo Bambuí em Arcos (MG), Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Tese de mestrado, 104 p.
- Mora C.G, 2010. *Geoquímica Isotópica e Elementar dos Carbonatos da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí, no Sul da Bacia do São Francisco*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 131 p.
- Meyer, B.O. 2018, Petrologia e Geocronologia das fácies carbonáticas da Formação Sete Lagoas em Pains (MG). Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais.
- Muzzi- Magalhaes P.1989. Análise estrutural qualitativa das rochas do Grupo Bambuí na porção sudoeste da Bacia do São Francisco. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 100p.
- Misi A., Kaufman A.J., Azmy K., Dardenne A., Sial A.N., Oliveira T.F. 2011. Neoproterozoic successions of the São Francisco Craton, Brazil: the Bambuí, Una, Vazante and Vaza Barris/Miaba groups and their glaciogenic deposits. In: Arnaud E., Halverson G.P., Shields-Zhou G. (eds.). *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. Geological Society, London, *Memoirs*, 36: 509 – 522.
- Nobre-Lopes J. 1995. Faciologia e gênese dos carbonatos do Grupo Bambuí na região de Arcos, Estado de Minas Gerais. São Paulo, 166p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).

- Nobre J & Coimbra A.M. 2000. Microfitólitos associados a construções estromatolíticas do grupo Bambuí, Proterozóico Superior, na região de Arcos - MG. *Rev.Bras. Geoc*,30 (4): 589-592.
- Pires L.O. 2017. Químioestratigrafia do endocarste da Gruta do Éden, Pains/Minas Gerais. Ouro Preto, 128p.
(Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto).
- Reis, H.L.S., Suss, J.F., 2016. Mixed carbonate-siliciclastic sedimentation in forebulge grabens: an example from the Ediacaran Bambuí Group, São Francisco Basin. *Brazil Sed. Geol.* 339, 83–103.
- Sohl E.L., Nicholas Christie-Blick, Dennis V. Kent; Paleomagnetic polarity reversals in Marinoan (ca. 600 Ma) glacial deposits of Australia: Implications for the duration of low-latitude glaciation in Neoproterozoic time. *GSA Bulletin*; 111 (8): 1120–1139.
- Teixeira, W., Sabaté, P., Barbosa, J., Noce, C.M., Carneiro, M.A., 2000. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco craton, Brazil. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Fo, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South América*. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 101e137.
- Trindade R.I.F., D 'Agrella-Filho M.S., Epof I., Brito-Neves B.B. 2006. Paleomagnetism of the early Cambrian Itabaiana mafic dikes, NE Brazil, and implications for the final assembly of Gondwana and its proximity to Laurentia. *Earth Planetary Science Letters*. 244:361-377.
- Tucker M.E. & Wright V.P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Oxford, Blackwell Science Ltd.482p.
- Tucker, M.E. (eds). 1992. *Sedimentary Petrology*. Blackwell Scientific Publications. 260 pp.
- Tucker, M.E, Dias-Brito, D. 2017. *Petrologia Sedimentar Carbonática: Iniciação com base no registro geológico do Brasil*. Rio Claro: UNESP-IGCE-Unispetro, Obra 3. 208 p
- Uhlein, G. J., Uhlein, A., Pereira, E., Caxito, F. A., Okubo, J., Warren, L. V., & Sial, A. N. 2019. Ediacaran paleoenvironmental changes recorded in the mixed carbonate-siliciclastic Bambuí Basin, Brazil. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 517, 39-51
- Vernooy, Guido Henrique Goris. *Análise de fácies e estratigrafia da Formação Sete Lagoas em Pains, MG*. 2019. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.
- Vieira L.C. 2007. *A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozóico*. São Paulo, 145p. (Tese de Doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo).

Walker R.G.1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker R.G. & James N.P. (ed.). Facies Models and Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada, 1:1-14

Warren, L. V., Simões, M. G., Fairchild, T. R., Riccomini, C., Gaucher, C., Anelli, L. E., & Quaglio, F. 2013. Origin and impact of the oldest metazoan bioclastic sediments. *Geology*, 41(4), 507-510.

Zabel M., Schulz H.N. (2006) Benthic Cycling of Oxygen, Nitrogen and Phosphorus. In: Schulz H.D., Zabel M. (eds) *Marine Geochemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg