



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**TESE DE DOUTORADO**

**SEDIMENTAÇÃO SILICICLÁSTICA E PROVENIÊNCIA DO GRUPO ALTO PARAGUAI  
(NEOPROTEROZÓICO-CAMBRIANO), BORDA SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO E  
FAIXA PARAGUAI NORTE, ESTADO DO MATO GROSSO**

**Tese apresentada por:  
JOSÉ BANDEIRA CAVALCANTE DA SILVA JÚNIOR  
Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA)**

---

**BELÉM  
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

- S586s      Silva Júnior, José Bandeira Cavalcante da
- Sedimentação siliciclástica e proveniência do grupo Alto Paraguai (neoproterozóico-cambriano), borda Sul do Cráton Amazônico e faixa Paraguai Norte, estado do Mato Grosso / José Bandeira Cavalcante da Silva Júnior; Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira – 2011  
xix, 109 f.: il.
- Tese (doutorado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.
1. Geologia estratigráfica. 2. Cráton Amazônico. 3. Faixa Paraguai Norte. 4. Grupo Alto Paraguai. 5. Neoproterozóico-Cambriano. I. Nogueira, Afonso César Rodrigues, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22º ed.: 551.75098172

---





**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**SEDIMENTAÇÃO SILICICLÁSTICA E PROVENIÊNCIA DO GRUPO ALTO PARAGUAI  
(NEOPROTEROZÓICO-CAMBRIANO), BORDA SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO E  
FAIXA PARAGUAI NORTE, ESTADO DO MATO GROSSO**

**TESE APRESENTADA POR**

**JOSÉ BANDEIRA CAVALCANTE DA SILVA JÚNIOR**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de GEOLOGIA**

**Data de Aprovação: 02/09/2011**

**Banca Examinadora:**



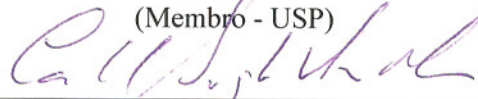
Prof. AFONSO CÉSAR RODRIGUES NOGUEIRA  
(Orientador - UFPA)



Prof. RENATO PAES DE ALMEIDA  
(Membro - USP)



Prof. RICARDO IVAN FERREIRA DA TRINDADE  
(Membro - USP)



Prof. CANDIDO AUGUSTO VELOSO MOURA  
(Membro - UFPA)



Prof. WERNER TRUCKENBRODT  
(Membro - UFPA)

Dedico esta tese aos meus irmãos Ronaldo  
Denyse e Kely. Aos meus sobrinhos Pedro e  
Cecylia. Em especial para meus pais  
José Bandeira e Orlandina Santos.  
Pela motivação constante e o amor de sempre.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará (UFPA) pela infraestrutura oferecida através do Curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências.

À participação e financiamento dos projetos de pesquisa CNPq-CT-PETRO (Proc. 485902/2007-9) coordenado pelo Professor Afonso Nogueira e pelo programa INCT CNPq/MCT/FAPESPA (Proc. 573733/2008-2) coordenado pelo professor Roberto Dall'Agnol.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo e por financiar as despesas para a realização das etapas de campo no Estado de Mato Grosso.

Ao Professor Setembrino Petri por apoiar a realização de meu trabalho de mestrado sobre a Formação Sepotuba, que teve continuação com o desenvolvimento desta tese de doutorado.

Ao meu orientador Professor Doutor Afonso César Rodrigues Nogueira, obrigado pelo incentivo, pela infinita paciência, pelas críticas, sugestões e questionamentos fundamentais na elaboração desta tese.

Obrigado ao professor Ricardo Trindade que desde 2004 contribui com minha formação. Foram poucos encontros e discussões que valeram por anos de convívio.

Aos amigos dos cursos de Pós-Graduação da UFPA e USP que contribuíram nas etapas de campo e nas discussões de lâminas delgadas da área de trabalho: Joelson Lima Soares, Humberto Dias Abinader, Roberto César Mendonça Barbosa, Isaac Daniel Rudnitzki, Hudson Pereira Santos, Joseanna dos Santos Silva, Anderson Freitas e Milene Figueiredo.

Obrigado ao doutorando Ben McGee da Universidade de Adelaide pela contribuição em uma etapa de campo e, juntamente com o Professor Alan S. Collins pela parceria e discussões sobre o Grupo Alto Paraguai.

Obrigado a estudante do curso de Pós-Graduação da USP, Evelyn Aparecida Mecenero Sanchez, pela ajuda na obtenção de raras referências bibliográficas junto à biblioteca da USP.

Aos amigos do grupo de geologia sedimentar da UFPA (GSED), Renata Lopes, Pedro Augusto, John Alexander Sandoval Homero, Rick Oliveira, Luciana Castro Brelaz, Lucindo Antunes Fernandes Filho, Luiz Saturnino, Cléber Rabelo, Francisco Romério Abrantes Júnior e Thiago Silva, obrigado pelo convívio, sugestões, críticas, palavras de incentivo e pela amizade sempre presente e, principalmente, pelos momentos de descontração que muito ajudaram no decorrer da elaboração desta tese.

Obrigado especial a Geóloga Roseane Ribeiro Sarges pela inestimável ajuda na finalização das figuras, formatação da tese, correções, críticas, sugestões, etc. Muito obrigado por contribuir de modo fundamental na reta final desse trabalho.

Enfim, um muito obrigado a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que esta dissertação se tornasse realidade.

“...apesar de muito nos ter sido tirado, muito nos resta.  
Apesar de não sermos já aquela força que  
em tempos antigos moveu terra e céu,  
aquilo que somos, somos.  
Uma idêntica têmpera de corações heróicos,  
enfraquecidos pelo tempo e destino,  
mas fortes na vontade de lutar, de procurar,  
de encontrar, e de não se render.”

*Tennyson*

## RESUMO

O Grupo Alto Paraguai do Neoproterozóico-Cambriano, exposto no sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte, centro-oeste do Brasil, representa uma sucessão siliciclástica de aproximadamente 2.400 m que sucedeu a sedimentação de plataforma carbonática depositada após o último evento de glaciação criogeniana (635 Ma). O Grupo Alto Paraguai é constituído pelas formações Raizama (arenitos finos a grossos, conglomerados, pelitos, pelitos seixosos e sílexitos secundários), Sepotuba (dolomitos, estromatólitos, pelitos e arenitos finos) e Diamantino (pelitos e arenitos finos). A análise de fácies e estratigráfica de afloramentos, em combinação com estudos de proveniência por datação U-Pb de zircão detrítico, permitiram entender a litoestratigrafia e a história sedimentar da bacia do Alto Paraguai. O modelo deposicional inclui a progradação de uma região costeira dominada por processos fluviais, de onda, maré e tempestades (membro superior da Formação Raizama) sobre uma plataforma marinha rasa a moderadamente profunda influenciada por tempestades e localmente por fluxos de detritos (membro inferior da Formação Raizama). Posteriormente, o último evento transgressivo na bacia Paraguai gerou planície de maré/*sabkha* nas porções mais rasas da bacia a oeste (membro inferior da Formação Sepotuba) e uma plataforma marinha dominada por tempestade na parte central e leste da bacia (membro superior da Formação Sepotuba). A progressão da orogênese Pan-Africana-Brasílica resultou no confinamento do mar Sepotuba em antefossas na margem do Cráton Amazônico. Este lago/mar restrito foi preenchido por depósitos de turbiditos (membro inferior da Formação Diamantino), sedimentos lacustres (membro intermediário da Formação Diamantino) e por depósitos progradantes de frente deltaica (membro superior da Formação Diamantino). Estes sedimentos foram supridos por áreas fontes de idade de 600 a 500 Ma situadas a sudeste e leste da bacia, relacionadas à Faixa Brasília e ao próprio orógeno Paraguay. Este estágio representa a amalgamação final do Gondwana Ocidental, marcado pelo fechamento do Oceano Clymene do Neoproterozóico entre o Craton Amazônico e Gondwana Central, estabelecendo o segmento norte da Faixa Paraguai.

**Palavras-chave:** Geologia estratigráfica. Cráton Amazônico. Faixa Paraguai Norte. Grupo Alto Paraguai. Neoproterozoico-Cambriano.

## ABSTRACT

The Neoproterozoic-Cambrian Alto Paraguai Group exposed in the southern Amazon Craton and the northern Paraguay Belt, western-central Brazil, represents a 2,400m thick siliciclastic succession that succeed the carbonate platform sedimentation deposited after the last Cryogenian glaciation (635 Ma). The Alto Paraguai Group consists of Raizama (fine to coarse grained sandstones, conglomerates, mudstones, pebbly mudstones and secondary chert), Sepotuba (dolomites, stromatolites, mudstones and fine to medium grained sandstones) and Diamantino (mudstones and fine to medium grained sandstones) formations. Outcrop-based facies and stratigraphic analysis in combination with provenance studies using detrital zircon U-Pb dating, allowed understanding the lithostratigraphy and the depositional history of the Alto Paraguai Basin. The depositional model include the progradation of a fluvial-wave- tide- and storm-dominated coastal region (upper member of the Raizama Formation) onto a shallow to moderately deep storm-influenced marine platform, locally influenced by debris flow (lower member of the Raizama Formation). Afterwards, the last transgressive event in the Paraguai Basin generated tidal flat-sabkha setting in the shallower portions of the basin to the west (lower member of the Sepotuba Formation) and a storm-dominated marine platform in the central and eastern portion of the basin (upper member of the Sepotuba Formation). The progression of the Pan-African-Brasilian orogenesis resulted in the confinement of the Sepotuba Sea as a foredeep sub-basin, against the edge of the Amazon Craton. These restricted lake/sea was filled with turbidites deposits (lower member of Diamantino Formation), lacustrine sediments (middle member of the Diamantino Formation) and progradational deltaic front deposits (upper member of the Diamantino Formation). This sedimentation was supplied by source areas of 600 to 500 Ma, located in the southeast and east of the basin, related to the Brasilia Belt and the Paraguay orogen. This stage represents the final amalgamation of Western Gondwana, marked by the closure of the Neoproterozoic Clymene Ocean between the Amazon Craton and Central Gondwana, generating the northern Paraguay Belt.

**Key word:** Stratigraphy geology. Amazon craton. Northern Paraguay belt. Alto Paraguai Group. Neoproterozoic-Cambrian.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 | Mapa Geológico da Faixa Paraguai Norte e Sul do Cráton Amazônico, com destaque para as áreas estudadas.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2  |
| Figura 1.2 | Mapa de localização dos pontos estudados com indicação do local onde ocorrem as unidades do Grupo Alto Paraguai. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3  |
| Figura 1.3 | Contexto geológico da região central da América do Sul, relacionado à colisão dos blocos continentais Amazônia a oeste, São Francisco-Congo a sudeste e Rio <i>de la Plata</i> a sul, durante a tectônica Pampeana-Araguaia de 550 – 500 Ma .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 7  |
| Figura 1.4 | Coluna litoestratigráfica para as sucessões carbonáticas e, em destaque, para as rochas siliciclásticas pertencentes ao Grupo Alto Paraguai. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 8  |
| Figura 1.5 | Estruturação tectônica e litoestratigráfica da Faixa Paraguai representada na forma de seção esquemática W-E. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 9  |
| Figura 1.6 | Estruturação tectônica e litológica da Faixa Paraguai Norte, com áreas estudadas destacadas em pontos vermelhos. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 10 |
| Figura 2.1 | Localização dos pontos estudados ao longo da Faixa Paraguai Norte e borda sul do Cráton Amazônico. Posicionamento estratigráfico das unidades. Localidades: 1 – BR-163 (Região de Nobres – 56°29'10"W/14°31'96"S); 2 – Proximidades da hidrelétrica do município de Alto Paraguai (56°13'56"W/14°35'27"S); 3 – Serra Azul (55°30'29"W/14°43'11"S) 4 – Serra Azul (próximo do município de Planalto da Serra – 5°53'10"W/14°38'27"S); 5 – BR-070 (região de Cáceres – 57°33'56"W/16°14'13"S); 6 – BR-070 (Serra do Mangaval – 57°28'48"W/16°14'51"S); 7 – Pedreira Império (próximo ao município Mirassol d'Oeste – 58°9'32"W/15°50'46"S); 8 – Pedreira Império (próximo ao município Mirassol d'Oeste – 58°9'6"W/15°50'42"S); 9 – Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra – 58°1'38"W/14°45'53"S); 10 – BR-163 (Região de Nobres – 56°16'8"W/14°37'39"S); 11 – Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra – 57°58'8"W/14°47'7"S); 12 – Estrada de terra à sul de Diamantino (56°22'35.81"W/14°27'13.04"S); 13 – Estrada de terra à sul de Diamantino (56°25'11.69"W/ 14°25'42.47"S). .... | 15 |
| Figura 2.2 | Carta litoestratigráfica da Bacia Neoproterozóica do Sul do Cráton Amazônico/Faixa Paraguai Norte. A distribuição das unidades reflete a posição geográfica de afloramento. Superfícies erosivas representam eventos sindeposicionais ou exposição descontínua. Com exceção da Formação Sepotuba, as unidades interpretadas como depositadas em águas profundas ocorre mais à NE. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 18 |
| Figura 2.3 | Membro inferior da Formação Raizama. Perfis 1 e 2 – contato brusco entre os membros inferior e superior da Formação Raizama. Perfis 3 e 4 – Estratótipo do membro inferior da Formação Raizama, com passagem gradual para o membro superior. Notar os padrões de paleocorrentes do membro superior da Formação Raizama. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 21 |
| Figura 2.4 | Fácies representativas do membro inferior da Formação Raizama. A) Pelito com laminação plano-paralela. B) Pelito maciço com laminação incipiente com seixos dispersos. C) Pelito com laminação ondulante. D) Arenito fino com estratificação cruzada <i>hummocky</i> . E) Arenito com acamamento ondulado. Localização das figuras F e G na seção. F) Arenito com estratificação cruzada <i>swaley</i> . G) Variação do espessamento lateral das camadas. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 22 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.5  | Situação de afloramento do membro inferior na área-tipo da Formação Serra Azul. A situação mostrada em (A) por Alvarenga <i>et al.</i> (2007) é completamente diferente da encontrada naquele local (B). Colúvios e pedimentos formam um depósito similar a diamictitos alterados. O contato com o Grupo Araras não é observado diretamente e a área-tipo da denominada Formação Serra Azul é isolada de outras exposições, sendo difícil a sua correlação. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 24 |
| Figura 2.6  | Estratótipo do membro superior da Formação Raizama. Perfil 5 – contato com o Grupo Araras (Formação Nobres, exposto no km 690 da rodovia BR-070, sudeste de Cáceres). Perfil 6 – Perfil composto da Formação Raizama na Serra do Mangaval. Os padrões de paleocorrentes estão indicados na figura superior a esquerda. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 28 |
| Figura 2.7  | Geometria e fácies do membro superior. A) Feição lobada característica de um delta de maré. B) Detalhe do recobrimento pelítico no lobo sigmoidal. C) Topo de ciclo de raseamento, marcado por camadas de pelito (setas brancas) e acamamento de megamarca ondulada. D) <i>Tidal bundles</i> , pares de argila indicado por seta. E) Arenito com espaço deixado por clastos tabulares. F) <i>Gutter cast</i> na base de camadas de arenito. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 29 |
| Figura 2.8  | Perfis estratigráficos do membro superior da Formação Raizama. Perfis 7 e 8 – o membro superior da Formação Raizama em contato com o membro inferior da Formação Sepotuba. Mina Império, Glória d'Oeste, Estado do Mato Grosso. Perfil 9 – Depósitos fluviais da Formação Raizama na região de Tangará da Serra, usina hidrelétrica da Hochtief do Brasil. Padrões de paleocorrentes indicados na figura superior à direita. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 31 |
| Figura 2.9  | Pedreira Império, região de Glória d'Oeste. A) Frente de lavra da pedreira, corpos amalgamados de arenito com cimento de dolomita. B) Camadas lateralmente contínuas de arenitos com adelgaçamento e espessamento sistemático, separados por camadas/recobrimentos de pelito, e localmente, preservando a forma de megaripple. Megamarcas onduladas com estruturas de <i>pinch-and-swell</i> . Abreviações, p= <i>pinch</i> (adelgaçamento), s= <i>swell</i> (espessamento), mo= <i>megaripple</i> . C) Estratificação cruzada <i>swaley</i> . O martelo se encontra na base da <i>swaley</i> . D) Base ondulada de estratificação cruzada <i>swaley</i> . E) Fácies fluvial da Formação Raizama, arenito com estratificação cruzada acanalada, vista de perfil. F) Estratificação cruzada acanalada, vista em planta. G) Gretas de contração no contato com a Formação Sepotuba. .... | 32 |
| Figura 2.10 | Perfis estratigráficos da Formação Sepotuba. Perfil 10 – Contato entre o membro intermediário da Formação Raizama com o membro superior da Formação Sepotuba. Perfil 11 – membro superior da Formação Sepotuba recoberto pelo Basalto Tapirapuã. Perfil 12 e 13 – membro superior da Formação Sepotuba em contato com o membro inferior da Formação Diamantino. Notar os padrões de paleocorrentes do membro superior da Formação Sepotuba e membro superior da Formação Diamantino. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 34 |
| Figura 2.11 | Fácies da Formação Sepotuba (membro inferior). A) Camadas lateralmente contínuas e onduladas. B) Camadas de arenito individualizado por pelito e com estratificação cruzada com recobrimento pelítico (bandamento de maré). C) Arenito com estratificação cruzada <i>swaley</i> . D) Camadas de dolomititos ondulados lateralmente contínuas. E) Dolomititos com laminação ondulada. F) Moldes de nódulos evaporíticos silicificados. G) Estromatólito em planta. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 36 |
| Figura 2.12 | Fácies da Formação Sepotuba. A) Camadas lateralmente contínuas do folhelho Sepotuba. B) Detalhe do folhelho Sepotuba. C) Laminação ondulada com recobrimento pelítico. D) Arenito com topo ondulado em folhelhos. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 37 |



|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.13 | Fácies da Formação Diamantino. A) e B) Pelito do membro intermediário formando camadas planas e contínuas por quilômetros, com camadas arenosa internamente cimentada por calcita (setas). C) Seção panorâmica do membro superior da Formação Diamantino, na rodovia BR-240. D) Arenito com laminação plano-paralela (seta a esquerda) e laminação cruzada de baixo-ângulo (seta a direita). E) Marcas onduladas assimétricas paralelas (seta a esquerda) e linguoides (seta a direita). F) Gretas de contração sobre marcas onduladas. G) Ciclo granocrescente ascendente. Siglas: Pl: pelito laminado, Acs: arenito com estratificação cruzada sigmoidal. .... | 38 |
| Figura 3.1  | Localização dos pontos estudados ao longo da Faixa Paraguai Norte e borda sul do Cráton Amazônico. Posicionamento estratigráfico das unidades. Localidades: 1 – Serra Azul (próximo do município de Planalto da Serra – 5°53'10"W/14°38'27"S); 2 – Pedreira Império (próximo ao município Mirassol d'Oeste – 58°9'32"W/15°50'46"S); 3 – Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra – 58°1'38"W/14°45'53"S); 4 – BR-070 (Serra do Mangaval – 57°28'48"W/16°14'51"S). ....                                                                                                                                                                                           | 44 |
| Figura 3.2  | Subdivisão litoestratigráfica da sucessão neoproterozóica aflorante no Sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 46 |
| Figura 3.3  | Principais perfís estratigráficos do Grupo Alto Paraguai no sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte. Perfil 1 – membros inferior e superior da Formação Raizama. Perfil 2 – membro superior da Formação Raizama e membro inferior da Formação Sepotuba. Perfil 3 – membro superior da Formação Raizama. Localização dos perfís na Figura 3.1. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 52 |
| Figura 3.4  | Depósitos do membro inferior da Formação Raizama. A) Ritmito pelito/arenito com laminação quase - planar e de baixo-ângulo produzido por ondas (AF1). B) Estratificação cruzada <i>hummocky</i> individualizada por pelitos laminados da (AF2). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 54 |
| Figura 3.5  | Aspectos faciológicos da seção-tipo da “Formação Serra Azul” (membro inferior da Formação Raizama), na Serra Azul, leste da Faixa Paraguai Norte. Pelitos laminados e ritmitos com laminação ondulada (A, C), sobrepoem pelitos seixosos (B). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 55 |
| Figura 3.6  | Seção estratigráfica da Formação Raizama na Serra do Mangaval, região de Cáceres. Seção obtida através de fotomosaicos. A exposição é a sela de um anticlinal quilométrico, onde as camadas apresentam-se subhorizontais. A principal característica são camadas de arenitos lateralmente contínuos por centenas de metros separadas por lâminas ou camadas de pelito. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 58 |
| Figura 3.7  | Perfis estratigráficos da base da Formação Raizama, Serra do Mangaval, região de Cáceres. Localização dos perfís na Figura 3.2. Abreviaturas, P1= perfil 1, Sd1= superfície de descontinuidade erosiva. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 59 |
| Figura 3.8  | Camadas lateralmente contínuas sobre a superfície Sd4. A) Observar a coloração esbranquiçada da camada de arenito logo acima da Sd4. B e C) Estruturas tipo <i>gutter cast</i> (gc) na base da Sd4. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 60 |
| Figura 3.9  | Topo da parassequência 1 com depósitos de laguna, Serra do Mangaval. A Sd1 é marcada por arenitos esbranquiçados com estratificação cruzada acanalada (Aa). A e B) Pelitos laminados (Pl) e intercalados ocasionalmente por camadas de silexito interpretado como leque de lavagem ( <i>washover</i> ). C e D) Estratificação cruzada acanalada (Aa). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 61 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.10 | Depósitos de canal de maré ( <i>tidal inlet</i> ). Intervalo de 430 m a 460 m da seção mostrada na Figura 3.6. A e B) Ciclos granodecrescentes formados por arenitos/conglomerados com estratificação cruzada acanalada (Aa) com recoberto por filmes de argila (seta). C) Superfícies de reativação em arenito com estratificação cruzada acanalada (Aa). D) Arenitos com laminação plana e cruzada, e E) Depósitos de <i>foreshore</i> . Alternância de arenito com laminação cruzada e laminação plano-paralela (Ap). A espessura dos sets sugere lâmina d'água muito rasa. .... | 62 |
| Figura 3.11 | Acamamento heterolítico relacionado ao topo da parasseqüência 8. A) <i>Tidal bundles</i> . B) Ritmito pelito/arenito com laminação plana e <i>wavy</i> . ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 64 |
| Figura 3.12 | Gretas de contração em pelito. Topo de parasseqüência mostrada no perfil 6 da Figura 3.7. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 64 |
| Figura 3.13 | Aspecto faciológico da associação de plataforma rasa no segmento 850 a 880 m da seção mostrada na figura 3.6. <i>Cosets</i> de estratificação cruzada complexas formados por camadas ( <i>master bedding</i> ) que inclinam suavemente para direita. B) Acamamento de megamarca ondulada, onde os corpos de arenito se adelgaçam e se espessam sistematicamente e são separados por camadas/recobrimentos de pelito, preservando a forma original da barra (seta). ....                                                                                                             | 65 |
| Figura 3.14 | Depósitos de estuário/plataforma rasa. Descontinuidades (Sd6 e Sd7) interpretadas como superfícies de inundação (perfil 9 mostrado na Figura 3.7), com destaque para arenitos tabulares da base de parasseqüências. Os topos dos ciclos granodecrescentes é marcado por arenitos finos intercalados com pelitos com marcas onduladas. ....                                                                                                                                                                                                                                          | 65 |
| Figura 3.15 | Geometria das camadas com estratificações cruzadas <i>swaley</i> e <i>hummocky</i> . Os corpos de arenito se adelgaçam e se espessam sistematicamente apresentando padrão amalgamado, podendo apresentar recobrimento pelítico das camadas, preservando a forma de <i>megaripple</i> . Pedreira Império, região de Glória d'Oeste. ....                                                                                                                                                                                                                                             | 68 |
| Figura 3.16 | Depósitos de <i>shoreface</i> dominado por tempestades. Truncamentos de baixo ângulo da estratificação cruzada <i>hummocky</i> (Ah). Notar passagem da lateral cruzada de baixo-ângulo para laminação plano-paralela (direita para esquerda). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 69 |
| Figura 3.17 | Depósitos de plataforma rasa. Estratificação cruzada <i>swaley</i> (As). Notar espessamento e adelgaçamento lateral das camadas. Região de Glória d'Oeste. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 69 |
| Figura 3.18 | Geometria deposicional dos arenitos de topo da Formação Raizama. A) Corpos tabulares, lateralmente contínuos, de arenitos com estratificação cruzada acanalada (Aa). B) Camadas tabulares de arenito com estratificação cruzada acanalada. Granulometria areia grossa com moldes de clastos retrabalhados. C) Estratificação cruzada acanalada em planta com sentido de migração de paleocorrente para SE. D) Marcas onduladas preservadas pela presença de lentes pelíticas. ....                                                                                                  | 72 |
| Figura 3.19 | Distribuição dos dados de paleocorrentes do membro superior da Formação Raizama. Ponto 1 - Serra Azul (55°30'29"W/14°43'11"S); Ponto 2 - Pedreira Império (próximo ao município de Mirassol d'Oeste - 58°9'32"W/15°50'46"S); Ponto 3 - Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra - 58°1'38"W/14°45'53"S); Ponto 4 - BR -070 (Serra do Mangaval - 57°28'48"W/16°14'51"S); Ponto 5 - BR-163 (Nobres - 56°29'10"W/14°31'96"S). ....                                                                                                                                                     | 74 |

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 4.1  | Location map of the studied area. A) Area of the Diamantino city and points studied. B) Horizontal profile of the study area. C) Lithological and tectonic structure of the Paraguay Belt. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 78 |
| Figure 4.2  | Stratigraphic units of the northern Paraguay belt. The inferred age for Puga Formation is based on a correlation with the global Marinoan glaciation and Rb/Sr ages for Sepotuba and Diamantino formations (1—Cordani et al., 1985; 2—Cordani et al., 1978; Bonhomme et al., 1982) are maximum depositional ages only. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 79 |
| Figure 4.3  | Stratigraphy of the upper Alto Paraguai Group, orogenic stages and main tectonic events within the Paraguay belt and southern Amazon craton. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 80 |
| Figure 4.4  | Representative lithostratigraphic profiles of the siliciclastic deposits of the upper Alto Paraguai Group in the study area. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 81 |
| Figure 4.5  | Facies of the Sepotuba Formation. A) Tangential and sigmoidal cross-bedding interpreted as a succession of tidal bundles, intercalated with wave-truncated cross-laminated siltstone/sandstone, in the Diamantino region (see Figure 4.1A, outcrop 7). B) Details of the asymptotic foreset strata displaying preserved topsets, prominent cyclic banding is indicated with an arrow. C) Bundles (arrow) marked by interbedded pairs of mudstone/siltstone. D) Siltstone/sandstone with wave-truncated cross-lamination. E) and F) Laminated black shale. G) The contact between the Tapirapuã basalt and the fine sandstone/siltstone of Sepotuba Formation. E, F and G are from outcrops exposed in the Tangará da Serra region (see Figure 4.1C). H) Sandstone with swaley cross stratification, in the Bauxi region (see Figure 4.1C). .... | 83 |
| Figure 4.6  | Tangential to sigmoidal crossbedded sandstone with mud drapes interpreted as tidal bundles in the Sepotuba Formation (see Figure 4.5A). Below is a diagram indicating the lamellae thickness distribution. Three neap-spring tide cycles are interpreted by the presence of alternating lamellae bundles each consisting of 19, 22 and 24 lamellae respectively. These are interpreted to relate to semi-diurnal tides in Ediacaran-Cambrian times. Abbreviations, N, neap, S, spring, Dm, dominant current, Sb, subordinate current. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 84 |
| Figure 4.7  | Basin floor turbidites. A – Fining upward bed of sandstone to mudstone; B – parallel laminated sandstones; C – sandstones interbedded with low angle cross-stratified siltstones; D – Fine sandstone/siltstone beds with ripple cross-lamination; E – transition between the beige colour turbidite facies (light tones - lt) and the red lacustrine facies (dark tones - dt). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 85 |
| Figure 4.8  | Prodelta and delta front deposits of the Diamantino Formation. Section 2 located to the west and section 4 located to the east of Diamantino city (see Figure 4.1A for location). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 86 |
| Figure 4.9  | Prodelta facies. A) Laminated siltstone interbedded with tabular bodies of fine-grained sandstones interpreted as distal mouth-bars. B, C) The green colour (pale tones) of thin sandstone beds characterizes the carbonate cements. These beds were previously described as carbonate beds. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 87 |
| Figure 4.10 | Association of delta front facies. A) Outcrop with the characteristic red colour of the Diamantino Formation and longitudinal profiles of delta lobes. B) Details of delta lobes with a lenticular layer of mudstone (arrows). C) Asymmetric linguoid ripples. D) Orthogonal desiccation cracks superimposed on ripple marks at the top of lobe. E) Climbing ripple cross-lamination. F) Even parallel lamination (arrow). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 88 |
| Figure 4.11 | CL images of zircon grains, zircon cores and zircon overgrowths with Neoproterozoic and Palaeoproterozoic ages. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 89 |

- Figure 4.12 Tera–Wasserburg plots displaying the zircon age data collected from the sample. The sample contains a significant Neoproterozoic-Mesoproterozoic signature. This can be seen in the probability density plot for the analyzed sample. The vertical shaded areas on each plot correspond to the age of the Mesoproterozoic to Neoproterozoic, during the formation of Brasília and Paraguay belts. The light-grey shaded regions under the probability density curves include all geochronological data (i.e. discordant and concordant data). The darker-grey shaded regions under the probability density curves include all data within 97–105% concordancy. .... 90
- Figure 4.13 Textural aspects and tectonic environment of the Diamantino Formation. A) The sandstones contain chert fragment (dotted), feldspar (white circle), oxide-iron hydroxide (Oh-f) irregular contour in a quartz grain indicating corrosion (white arrow). B) Other components of that from the sandstone framework are fragments of volcanic rock (white arrow) and mudstone (dotted) rocks. C) Plot of the grain compositions of the Diamantino Formation sandstones in the diagram of Dickinson and Suczek (1979). The suggested tectonic environment of formation is that of a recycled orogen, with a subsidiary contribution from a volcanic arc. Abbreviations, Q – monocrystalline and polycrystalline grains of quartz, including silex ( $Q=Q_m+Q_p+S_x$ ),  $Q_m$  – monocrystalline quartz,  $Q_p$  – polycrystalline quartz, including silex;  $Q_t$  – total quartz; F – monocrystalline feldspar ( $F=P+F_k$ ); P – plagioclase;  $F_k$  – potassium feldspar; Lv – volcanic rock fragment; Ls – sedimentary rock fragment; Lm – metamorphic rock fragment; L – unstable polycrystalline rock fragment ( $L=L_v+L_s+L_m$ ); Lt –  $L+Q_p$ . .... 91
- Figure 4.14 Map of Brazil with a) the Tocantins Province, and b) reconstitution of the blocks that formed, and the location of (c), the Brasília, Araguaia and Paraguay belts. d) Map of the Brasília and Paraguay belts indicating the potential sources areas for the Diamantino Formation (general easterly source indicated by grey bands). São Francisco craton – sedimentary Cover (Babinski et al., 2003). Brasília belt – passive margin (Coelho et al., 2008); rift sequence, greenstone belts, fold-and thrust belt (Pimentel et al., 1991; Pimentel et al., 1998; Pimentel et al., 2000); Anápolis-Itaçu Complex (Giustina 2010). Goiás massif – Serra da Mesa Group (Pimentel et al., 1991; Pimentel and Fuck, 1992); mafic-ultramafic complexes (Nilson et al., 1997); Granite-greenstones (Pimentel and Fuck, 1994; Nilson et al., 1997). Juvenile magmatic arc – Volcano-sedimentary (Viana et al., 1995); orthogneisses (Pimentel et al., 1997). Araguaia belt – supracrustals (Moura et al., 2008); sialic basement (Pimentel et al., 2000). Paraguay belt – Araras Group, Puga Formation and Cuiabá Group (Cordani et al., 1985; Cordani et al., 1978; Bonhomme et al., 1982; Nogueira, 2003; Nogueira et al., 2003; McGee et al., this volume). .... 92
- Figure 4.15 The late Ediacaran-Early Cambrian tectonic-sedimentary evolution of Paraguay foreland basin. 1) Passive continental margin unchanged during the early stages of convergence between the Paraná block (?) and the Amazon craton. In this stage mudstones and sandstones with tangential to sigmoidal cross-bedding were deposited. These have mud drapes and ripple cross-lamination and are interpreted as lower shoreface deposits of the Sepotuba Formation. 2) Continuous displacement of the Paraná (or Parapanema) block to the northwest resulted in subsidence and deposition of marine sediments commonly known as flysch. During this stage turbidites are deposited to form the lower facies of the Diamantino Formation. 3) Continued convergence resulted in confinement of the Clymene ocean, creating a large lake or restricted sea that represents initial continental sedimentation in the region. 4) The basin is filled and by prograding delta lobes. This forms the overfilled stage of the basin. .... 93

## LISTA DE TABELAS

|            |                                                                                                                       |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.1 | Fácies e processos sedimentares da Formação Raizama do Grupo Alto Paraguai.                                           | 50 |
| Table 4.1  | Summary of facies, sedimentary processes and facies associations of the upper Alto Paraguai Group, Diamantino region. | 82 |
| Table 4.3  | Table of frequency (%) of detrital and diagenetic components.                                                         | 90 |
| Table 4.2  | LA-ICPMS zircon U-Th-Pb Age Data.                                                                                     | 95 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b>                                                                                                                                                                            | <b>1</b>  |
| 1.1. INTRODUÇÃO                                                                                                                                                                              | 1         |
| 1.1.1. Apresentação                                                                                                                                                                          | 1         |
| 1.1.2. Área de estudo e base de dados                                                                                                                                                        | 3         |
| 1.1.3. Objetivo                                                                                                                                                                              | 4         |
| 1.2. MÉTODOS                                                                                                                                                                                 | 4         |
| 1.2.1. Análise sedimentológica e estratigráfica                                                                                                                                              | 4         |
| 1.2.1.1. Petrografia de arenitos e carbonatos                                                                                                                                                | 5         |
| 1.2.2. Proveniência                                                                                                                                                                          | 5         |
| 1.2.2.1. Paleocorrente                                                                                                                                                                       | 5         |
| 1.2.2.2. Geocronologia                                                                                                                                                                       | 6         |
| 1.3. FAIXA PARAGUAI – SEGMENTO NORTE                                                                                                                                                         | 6         |
| 1.3.1. Origem e estratigrafia                                                                                                                                                                | 6         |
| 1.3.2. Arcabouço estrutural e modelo tectônico                                                                                                                                               | 9         |
| <b>CAPÍTULO 2:</b>                                                                                                                                                                           | <b>11</b> |
| 2.1. LITOESTRATIGRAFIA DO GRUPO ALTO PARAGUAI, NEOPROTEROZÓICO-CAMBRIANO DA FAIXA PARAGUAI NORTE E SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO                                                                   | 11        |
| 2.1.1. Introdução                                                                                                                                                                            | 14        |
| 2.1.2. Nomenclatura estratigráfica                                                                                                                                                           | 15        |
| 2.1.3. Idade e correlação                                                                                                                                                                    | 16        |
| 2.1.4. Litoestratigrafia e paleoambiente                                                                                                                                                     | 17        |
| 2.1.4.1. Aspectos Gerais                                                                                                                                                                     | 17        |
| 2.1.4.2. Limites Estratigráficos                                                                                                                                                             | 19        |
| 2.1.5. Descrição das unidades                                                                                                                                                                | 20        |
| 2.1.5.1. Formação Raizama - membro inferior                                                                                                                                                  | 20        |
| 2.1.5.1.1. Interpretação                                                                                                                                                                     | 23        |
| 2.1.5.2. Formação Raizama - membro superior                                                                                                                                                  | 26        |
| 2.1.5.3. Formação Sepotuba                                                                                                                                                                   | 33        |
| 2.1.5.4. Formação Diamantino                                                                                                                                                                 | 35        |
| 2.1.7. Conclusões                                                                                                                                                                            | 39        |
| <b>CAPÍTULO 3</b>                                                                                                                                                                            | <b>41</b> |
| 3.1. DEPÓSITOS PROGRADANTES FLUVIO-COSTEIROS INFLUENCIADOS POR MARÉ E TEMPESTADES DA FORMAÇÃO RAIZAMA, GRUPO ALTO PARAGUAI, NEOPROTEROZOICO (SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO E FAIXA PARAGUAI NORTE) | 41        |
| 3.1.1. Introdução                                                                                                                                                                            | 43        |
| 3.1.2. O Sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte                                                                                                                                      | 45        |
| 3.1.3. Fácies e Paleoambiente                                                                                                                                                                | 48        |
| 3.1.4. Associações de Fácies                                                                                                                                                                 | 53        |
| 3.1.4.1. Membro inferior                                                                                                                                                                     | 53        |
| 3.1.4.1.1. AF1: Plataforma marinha                                                                                                                                                           | 53        |
| 3.1.4.1.2. AF2: Face litorânea inferior influenciada por tempestades                                                                                                                         | 56        |
| 3.1.4.2. Membro superior                                                                                                                                                                     | 57        |
| 3.1.4.2.1. AF3: Planície costeira                                                                                                                                                            | 57        |
| 3.1.4.2.2. AF4: Face litorânea dominada por onda e maré                                                                                                                                      | 63        |
| 3.1.4.2.3. AF5: Face litorânea dominada por ondas e tempestade                                                                                                                               | 67        |
| 3.1.4.2.4. AF6: Fluvial entrelaçado distal                                                                                                                                                   | 70        |
| 3.1.5. Modelo deposicional                                                                                                                                                                   | 73        |
| 3.1.6. Conclusões                                                                                                                                                                            | 75        |

|                                                                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 4</b>                                                                                                                            | <b>76</b> |
| 4.1. SEDIMENTOLOGICAL AND PROVENANCE RESPONSE TO CAMBRIAN CLOSURE OF THE CLYMENE OCEAN: THE UPPER ALTO PARAGUAI GROUP, PARAGUAY BELT, BRAZIL | 77        |
| 4.1.1. Introduction                                                                                                                          | 77        |
| 4.1.2. Geological setting                                                                                                                    | 79        |
| 4.1.3. The Upper Alto Paraguai Group                                                                                                         | 80        |
| 4.1.3.1. Facies associations                                                                                                                 | 80        |
| 4.1.3.1.1. <i>Tidal and wave influenced marine platform</i>                                                                                  | 82        |
| 4.1.3.1.2. <i>Distal turbidite deposits</i>                                                                                                  | 83        |
| 4.1.3.1.3. <i>Prodelta Lake</i>                                                                                                              | 84        |
| 4.1.3.1.4. <i>Delta Front</i>                                                                                                                | 84        |
| 4.1.4. U-Pb Age provenance analysis                                                                                                          | 85        |
| 4.1.4.1. Methodology                                                                                                                         | 85        |
| 4.1.4.2. Results                                                                                                                             | 87        |
| 4.1.4.3. Paleoflow Determination                                                                                                             | 87        |
| 4.1.4.4. Petrography and tectonic environment                                                                                                | 87        |
| 4.1.4.5. Palaeogeography and Potential Source Region(s)                                                                                      | 87        |
| 4.1.5. Tectonic-sedimentary model                                                                                                            | 89        |
| 4.1.6. Conclusions                                                                                                                           | 89        |
| Acknowledgments                                                                                                                              | 89        |
| References                                                                                                                                   | 90        |
| <b>CAPÍTULO 5</b>                                                                                                                            | <b>95</b> |
| 5.1. CONCLUSÕES                                                                                                                              | 95        |
| <b>REFERÊNCIAS</b>                                                                                                                           | <b>98</b> |

## CAPÍTULO 1

---

### 1.1. INTRODUÇÃO

#### 1.1.1. APRESENTAÇÃO

O final da evolução da Faixa Paraguai Setentrional na margem sul do Cráton Amazônico, porção central do Brasil, foi marcado pela colisão de blocos continentais, culminando com o fechamento de uma margem passiva já no Eopaleozóico (Alkmin *et al.* 2001, Thover *et al.* 2010, Bandeira *et al.* no prelo). Registros de mudanças drásticas biogeoquímicas, tectônicas, paleoceanográficas e bioevolutivas que precederam esse evento de colisão, foram acompanhadas por variações climáticas extremas ligadas às glaciações de baixa latitude do Criogeniano (725-635 Ma) (Derry *et al.* 1992, Bond *et al.* 1984, Kirschvink 1992, Kennedy 1996, Hoffman *et al.* 1998, Hoffman & Schrag 2002, Bowring *et al.* 2003, Halverson *et al.* 2005). Os depósitos glaciais foram sucedidos por sucessões carbonáticas e estas por depósitos siliciclásticos, os quais em outros crátons têm sido analisados em detalhe e com a interpretação precisa dos sistemas deposicionais (Preiss 1987, Narbonne *et al.* 1994, Narbonne & Aitken 1995, Christie-Blick *et al.* 1995, Jiang *et al.* 2002, Allen & Leather 2006).

No Brasil, o registro desses eventos glaciais neoproterozóicos está concentrado nas rochas do Grupo Araras, sul do Cráton Amazônico, onde uma seqüência de capa carbonática foi confirmada (Nogueira *et al.* 2007). Entretanto, pouco se sabe acerca dos depósitos siliciclásticos do Grupo Alto Paraguai, que sobrepõe o Grupo Araras, estudados com base apenas na litoestratigrafia (Almeida 1964a, Barros & Simões 1980, Alvarenga & Saes 1992). Este trabalho discute a estratigrafia e paleoambiente destes depósitos siliciclásticos, considerados como de idade neoproterozóica-cambriana, aflorantes nos domínios da Província Serrana (Almeida 1964a), parte centro-leste do estado do Mato Grosso, centro-oeste do Brasil (Figura 1.1).

A área de estudo na Província Serrana está situada entre os paralelos 14° 05' e 16° 28' de latitude sul e os meridianos 54° 42' e 57° 45' a oeste de *Greenwich* (Figura 1.1). Os estudos de detalhe foram conduzidos em quatro subáreas previamente selecionadas, por apresentarem maior concentração de exposições: I) região de Cáceres-Glória/Mirassol d'Oeste, II) região de Tangará da Serra, III) região de Nobres-Diamantino e IV) região de Planalto da Serra (Figura 1.1).



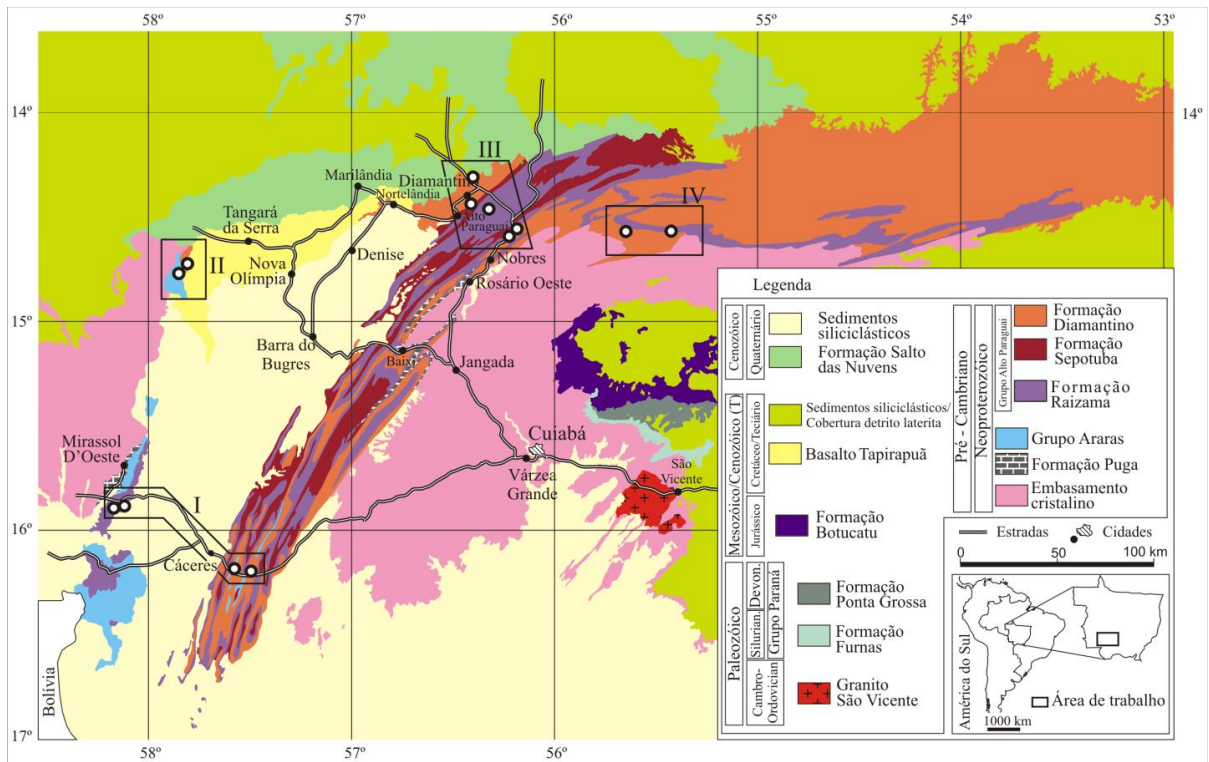


Figura 1.1: Mapa Geológico da Faixa Paraguai Norte e Sul do Cráton Amazônico, com destaque para as áreas estudadas. Modificado de Barros *et al.* (1982).

A tese está organizada em cinco capítulos onde são apresentados três artigos, sendo dois submetidos e um publicado. No capítulo introdutório constam: a localização da área, objetivos, métodos e, resumidamente, o contexto geológico, que é discutido em detalhes nos textos dos artigos. O primeiro artigo (Capítulo 2) trata da formalização dos depósitos siliciclásticos do Grupo Alto Paraguai com base na litoestratigrafia, auxiliado pela descrição de fácies e de sistemas deposicionais de suas formações integrantes: Raizama, Sepotuba e Diamantino. O segundo artigo (Capítulo 3) trata da análise de fácies dos depósitos litorâneos da Formação Raizama. O terceiro artigo (Capítulo 4) trata dos últimos estágios de deposição na Bacia Paraguai com o confinamento do Mar Sepotuba, que sucedeu a plataforma siliciclástica da Formação Raizama, formando um ambiente lacustre (Formação Diamantino), condicionado pelo evento de colisão no final do Neoproterozóico e início do Cambriano. Segue um breve capítulo com as conclusões principais da tese.

### 1.1.2. ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

A área de ocorrência dos depósitos do Grupo Alto Paraguai está inserida nos domínios das Folhas SD.21 Cuiabá e nos mapas geológicos confeccionados em convênio do DNPM/CPRM (Barros *et al.* 1982, Barros & Simões 1980). As rochas siliciclásticas do Grupo Alto Paraguai estão expostas ao longo das rodovias federais BR-163 e 070 e rodovias estaduais MT-123, 124 e 240 (Figura 1.2). Os afloramentos mas representativos ocorrem em pedreiras e escassos cortes de estrada, os demais encontram-se intemperizados e cobertos por solos, depósitos de talus e densa vegetação. Os afloramentos do Grupo Alto Paraguai foram descritos nas proximidades de Glória/Mirassol d'Oeste, Cáceres, Nobres, Tangará da Serra, Alto Paraguai, Diamantino e Planalto da Serra (Figura 1.2). Na margem do cráton os afloramentos apresentam camadas subhorizontais, enquanto na Faixa Paraguai os afloramentos encontram-se deformados, e as observações geralmente são feitas em flancos de dobras.

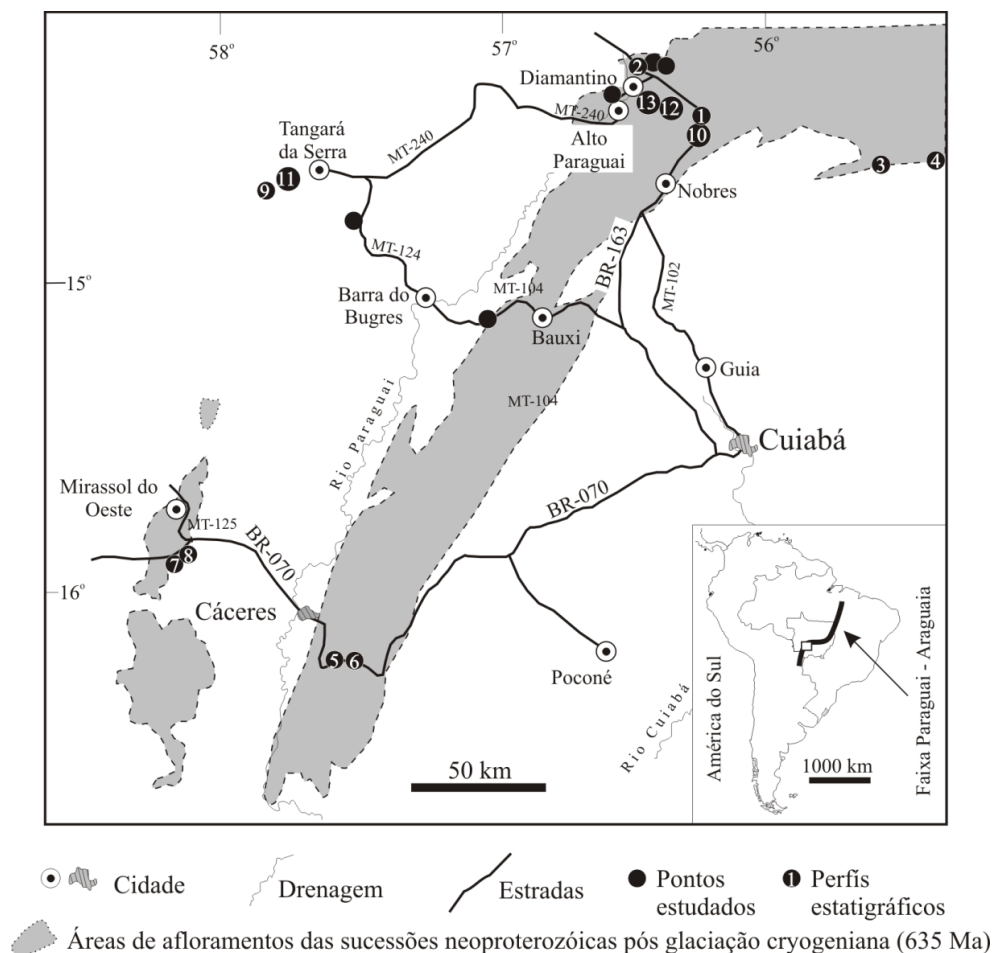


Figura 1.2: Mapa de localização dos pontos estudados com indicação do local onde ocorrem as unidades do Grupo Alto Paraguai. Modificado de Nogueira (2003).

### 1.1.3. OBJETIVO

Este trabalho visou contribuir para o melhor conhecimento da história deposicional do final do Neoproterozóico na parte sul do Cráton Amazônico, a partir da análise estratigráfica e sedimentológica, bem como, reavaliar a litoestratigrafia do Grupo Alto Paraguai, fornecendo um arcabouço estratigráfico operacional para subsidiar futuras correlações de depósitos siliciclásticos que sucederam a deposição carbonática pós-glaciação do Criogeniano.

Os objetivos específicos envolveram: 1) a descrição dos depósitos ediacaranos do Grupo Alto Paraguai, utilizando estudo faciológico e estratigráfico no intuito de possibilitar a reconstituição paleoambiental; 2) redescrição e redefinição litoestratigrafica do referido grupo; 3) a definição das áreas-fontes da bacia do Grupo Alto Paraguai; 4) contextualizar os depósitos estudados na evolução da Faixa Paraguai e correlacioná-los aos eventos regionais e globais do final do Neoproterozóico.

## 1.2. MÉTODOS

### 1.2.1. ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA E ESTRATIGRÁFICA

A litoestratigrafia é um método de classificação estratigráfica que leva em consideração apenas o caráter litológico de uma unidade de rochas (Petri *et al.* 1986). No entanto, esta técnica serviu para formalizar as unidades do grupo, gerando um arcabouço estratigráfico simplificado e operacional que subsidiou as análises sedimentológicas de detalhe. Nos últimos anos, a interpretação paleoambiental de rochas sedimentares tem evoluído em decorrência do desenvolvimento da análise faciológica moderna (Walker 1990, 1992) e dos conceitos da estratigrafia de seqüências. Este método é reconhecido como o mais adequado na análise de sucessões deposicionais dentro do contexto de flutuações do nível do mar (Vail *et al.* 1977), bem como a identificação mais precisa dos sistemas deposicionais.

Em geral, a metodologia de campo empregada nesta pesquisa considerou os seguintes aspectos:

1. individualização e definição de fácies, através da caracterização de composição, geometria, texturas, estruturas sedimentares e padrões de paleocorrentes. A coleta sistemática de amostras obedeceu à individualização faciológica;
2. mapeamento vertical e lateral da distribuição de fácies utilizando perfis litoestratigráficos, seções esquemáticas e panorâmicas, estas últimas obtidas a partir de fotomosaicos de afloramentos (Wizevic 1991, Arnott *et al.* 1997);

3. mapeamento das superfícies limitantes ou chaves formadas por erosão ou maior hiato na sedimentação, identificando o tipo de contato (erosivo, gradativo), sua geometria (plana, irregular), extensão geográfica e fácies associadas, que são utilizadas para subdividir a sucessão sedimentar em pacotes geneticamente relacionados ou elementos arquiteturais, ciclos ou parassequências (Miall 1985 e 1991, Bromley 1991, Cowan 1991). Na escala de afloramento, as superfícies mais proeminentes são aquelas formadas em períodos de milhares a centenas de milhares de anos incluídas em ciclos de 3ª a 5ª ordens (Vail *et al.* 1977, Miall 1985 e 1991, Mitchum & Van Wagoner 1991);
4. interpretação dos processos genéticos responsáveis pelas fácies, onde a análise de agrupamento destas, desde que contemporâneas e cogenéticas (associação de fácies), permitiu reconhecer com maior precisão os ambientes e sistemas deposicionais envolvidos.

#### **1.2.1.1. Petrografia de arenitos e carbonatos**

As amostras coletadas durante os levantamentos de campo foram selecionadas para análises texturais e composicionais por meio de microscopia óptica (seções delgadas), sendo efetuados os seguintes estudos: (1) distribuição granulométrica, o grau de arredondamento e esfericidade; (2) classificação dos arenitos segundo Folk (1974) e; (3) determinação do cimento carbonático nos arenitos após tingimento com uma solução de alizarina vermelha S e ferrocianeto de potássio utilizando o método de Friedman (1971, *apud* Adams *et al.* 1984), para a distinção dos diversos tipos de calcita e dolomita.

#### **1.2.2. PROVENIÊNCIA**

##### **1.2.2.1. Paleocorrente**

A análise de paleocorrentes permite determinar o sentido do paleofluxo, que reflete a localização do declive principal do terreno, além de contribuir em estudos de geometria dos corpos sedimentares e auxiliar na interpretação paleoambiental, fundamental na determinação da área fonte (Graham 1989). A aquisição dos dados de paleocorrentes consistiu em medir a direção e inclinação dos estratos cruzados de estruturas direcionais tais como estratificação e laminação cruzada e estratificação inclinada, seguindo as interpretações de fácies prévias. As medições foram feitas com bússola, tratadas estatisticamente e plotadas em diagramas de roseta. Eventualmente, os efeitos tectônicos foram corrigidos para acamamentos com mergulhos acima de 30° (Tucker 2003).

### 1.2.2.2. Geocronologia

Todas as amostras foram lavadas, peneiradas entre as frações 79–400 µm. A separação dos minerais pesados foi realizada utilizando iodeto de metileno. Os grãos de zircão detrítico foram separados manualmente e montados em disco de resina epóxi, posteriormente lixados e polidos expondo uma seção transversal de cada grão de zircão detrítico na superfície do disco.

A análise U-Pb foi realizada na Universidade de Adelaide, Austrália, utilizando LA-ICPMS acoplado a um espectrômetro de massa, utilizando procedimentos semelhantes àqueles detalhados em Payne *et al.* (2006). A metodologia para análise geocronológica deste trabalho é a mesma apresentada por McGee *et al.* (no prelo), que visou a determinação da idade máxima de sedimentação (grãos de zircões em arenitos) e a idade das rochas fontes da parte superior do Grupo Alto Paraguai.

## 1.3. FAIXA PARAGUAI – SEGMENTO NORTE

### 1.3.1. ORIGEM E ESTRATIGRAFIA

A Faixa de Dobramento Paraguai (Almeida 1964b, 1965a) localiza-se na borda sudeste do Cráton Amazônico e está inserida na parte oeste e noroeste da Província Tocantins e na parte sul da Província Tapajós (Almeida *et al.* 1977, Almeida 1984). A Faixa Paraguai é considerada como a continuação da Faixa Araguaia (Figuras 1.2), refletindo uma extensa sutura de colisão tipo himalaiano (Hasui *et al.* 1977), que resultou da colisão dos blocos continentais durante o final da tectônica Brasileira/Pan-Africana, em aproximadamente 550 e 500 Ma (Trompette 2000) ou tectônica Pampeana-Araguaia (Trindade *et al.* 2006). Os blocos convergentes seriam o Cráton Amazônico, São Francisco-Congo e Rio de la Plata ou Paraná (Almeida 1984, Trompette *et al.* 1998, Alkmin *et al.* 2001) (Figura 1.3). Como consequência, houve o fechamento do mar *Brazilides* (Alkmin *et al.* 2001) ou, localmente, o Oceano Clymene (Thover *et al.* 2010).

As rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá constituem a unidade mais antiga da Faixa Paraguai e encontram-se recobertas pelos diamictitos glaciogênicos da Formação Puga, correlatos à última glaciação global do Criogeniano de 635 Ma (Nogueira *et al.* 2003, Alvarenga *et al.* 2004) (Figura 1.1). Os carbonatos do Grupo Araras recobrem bruscamente os diamictitos, guardando o registro de mudanças das condições climáticas glaciais para as de efeito estufa, no contexto da hipótese de *Snowball Earth* (Hoffman & Schrag 2002, Nogueira *et al.* 2003, Allen & Hoffman 2005). Os carbonatos são sobrepostos por rochas siliciclásticas

do Grupo Alto Paraguai, constituídas pelas formações Raizama (arenitos e pelitos), Sepotuba (pelitos, folhelhos e arenitos) e Diamantino (ritmitos vermelhos, arenitos finos a conglomerados) interpretadas como sistemas glácio-marinhos, plataformas carbonática e siliciclástica, mar restrito, lago e delta (Almeida 1984, Alvarenga *et al.* 2007, Nogueira *et al.* 2007, Figueiredo *et al.* 2008) (Figura 1.4).

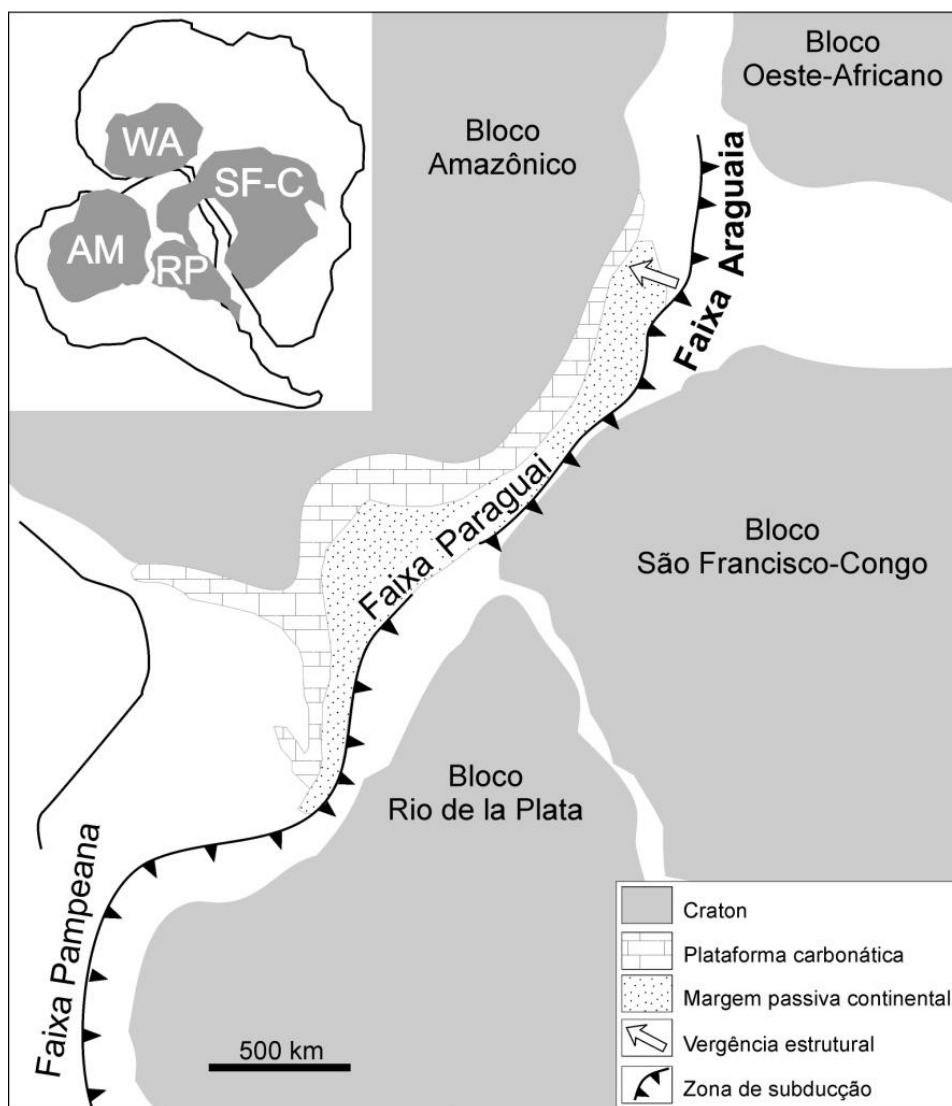


Figura 1.3: Contexto geológico da região central da América do Sul, relacionado à colisão dos blocos continentais Amazônia a oeste, São Francisco-Congo a sudeste e Rio de la Plata a sul, durante a tectônica Pampeana-Araguaia de 550 – 500 Ma, conforme Nogueira (2003).

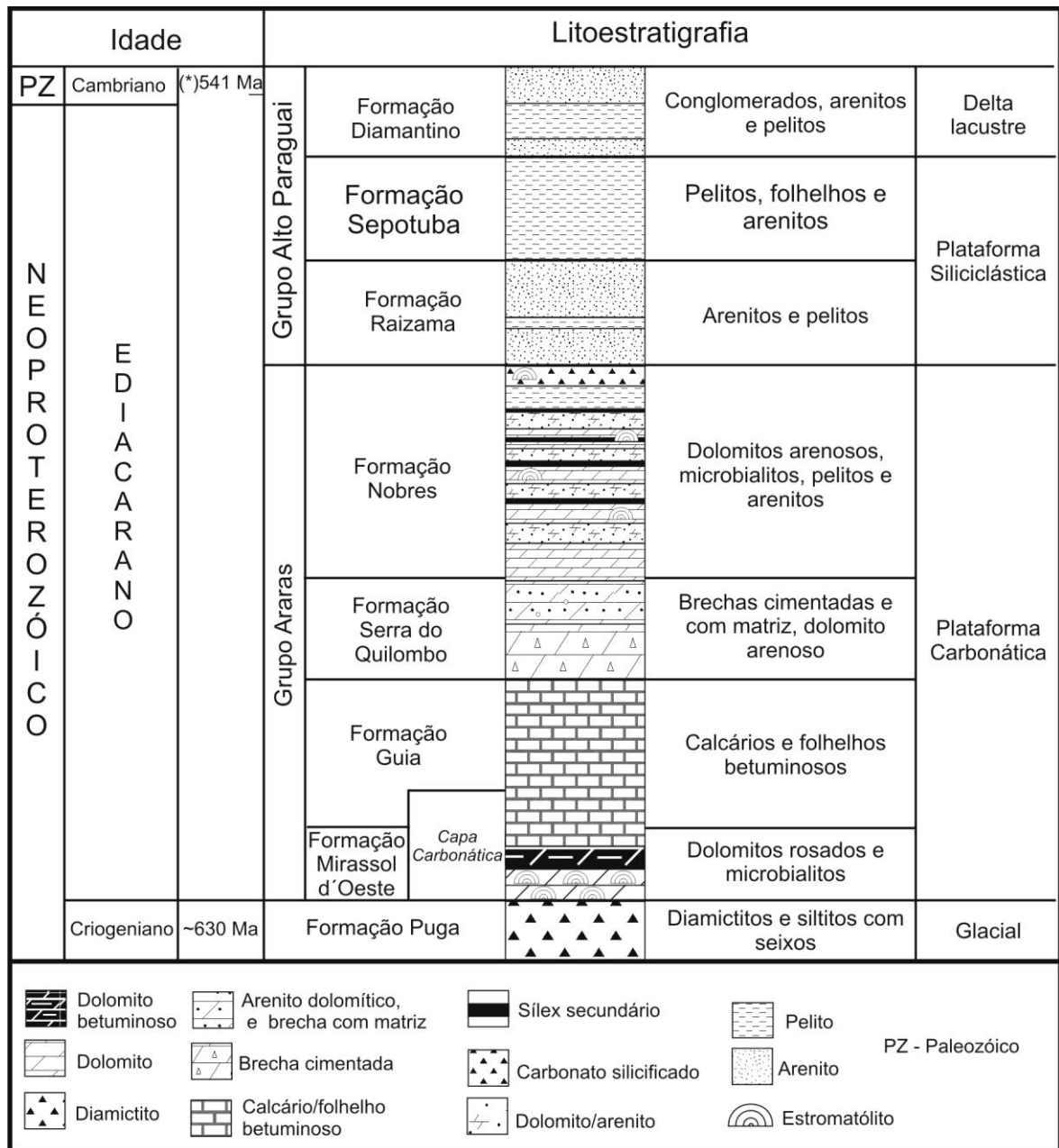


Figura 1.4: Coluna litoestratigráfica para as sucessões carbonáticas e, em destaque, para as rochas siliciclásticas pertencentes ao Grupo Alto Paraguai. Idade mínima da área fonte fornecida por datação de zircão detrítico (Bandeira *et al.* no prelo). Modificado de Nogueira (2003).

O tipo de bacia gerada para acomodar os depósitos da Faixa Paraguai ainda é uma incógnita. Uma das hipóteses é considerá-la como um mega-gráben formado durante a separação dos continentes Laurentia e Gondwana (Dalziel 1992) enquanto a outra, se refere a uma bacia do tipo ante-país (*foreland*) (Trompette 1994). O último evento da Tectônica Brasiliana/Pan-Africana (Almeida 1984) seria de idade eocambriana a ordoviciano (540-490 Ma) e teria ocorrido durante a Orogênese Pampeana-Araguaia (Trindade *et al.* 2006).

Recentemente, Dantas *et al.* (2009) sugeriu uma bacia de margem passiva que evoluiu para “Foreland” com áreas fontes da Faixa Brasília e maciço Goiano a oeste da Faixa. Eventos posteriores resultaram na intrusão local de corpos graníticos com idade de cerca de 500 Ma, fornecida pela datação radiométrica do Granito São Vicente (Almeida & Mantovani 1975) e  $518 \text{ Ma} \pm 4 \text{ Ma}$  obtidos por McGee *et al.* (no prelo).

### 1.3.2. ARCABOUÇO ESTRUTURAL E MODELO TECTÔNICO

A Faixa Paraguai foi denominada de Geossinclíneo Paraguai por Almeida (1964a, 1965b) que individualizou as seguintes faixas tectônicas (Figura 1.5): *Baixada do Alto Paraguai*, caracterizada por mergulhos baixos das camadas em direção ao oeste, sobrepondo rochas cratônicas; *Província Serrana*, constituída por dobramentos simétricos e assimétricos, de extensão até quilométrica, planos axiais verticais inclinados para E e SE, vergência para W-NW e associação a falhas inversas de alto ângulo; e *Baixada Cuiabana*, onde as rochas foram intensamente deformadas e metamorfizadas na fácies xisto verde, desenvolvendo foliação plano-axial orientada para NE e mergulhos para SE, com a ocorrência de plútons graníticos e alcalinos.

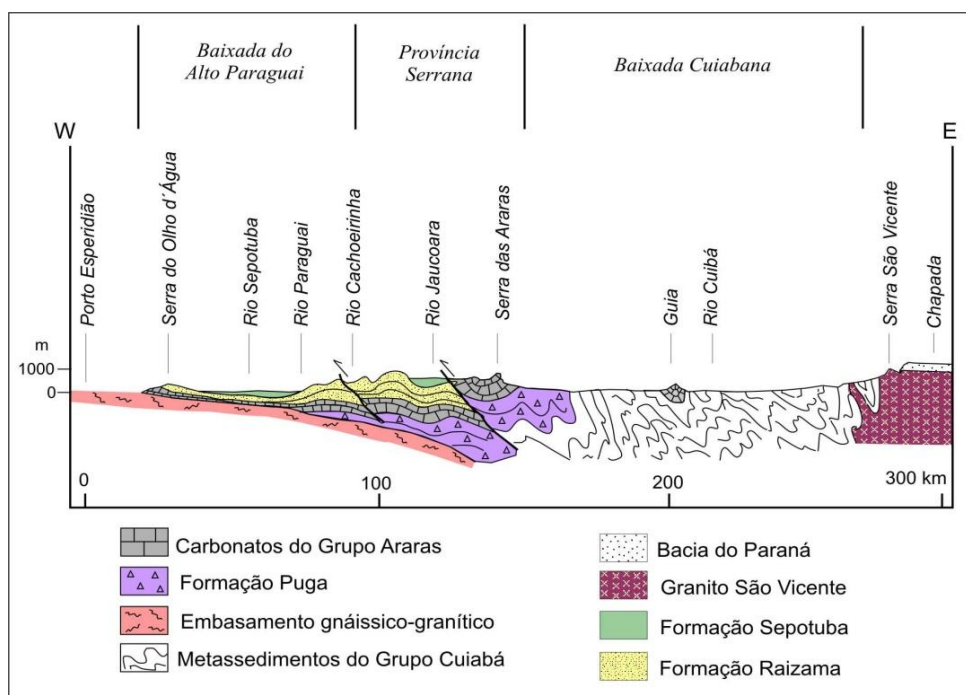


Figura 1.5: Estruturação tectônica e litoestratigráfica da Faixa Paraguai representada na forma de seção esquemática W-E, proposta por Almeida (1964a).



Posteriormente, Almeida (1984), denominou estas zonas estruturais de Brasilídes metamórficas e não-metamórficas, Antepaís (Cráton Amazônico) e Coberturas Brasilianas. Após esta definição seguiram-se outras propostas que usavam a mesma disposição quanto ao metamorfismo e à deformação, alterando apenas a nomenclatura (*e.g.* Alvarenga 1988, 1990). A Faixa Paraguai faz contato com bacias fanerozóicas e pode ser subdividida em duas porções estruturais principais: i) zona de deformação e cavalgamento e ii) as sub-bacias tipo *foredeep* Barra do Bugres e Paranatinga (Figura 1.6). A individualização destas sub-bacias foi efetuada em função do reconhecimento de depósitos fluviais e deltaico-lacustres da Formação Diamantino na região homônima, nordeste do Estado de Mato Grosso. Esses depósitos representam o estágio final da evolução da bacia tipo *foreland* da Faixa Paraguai, como admitido por Almeida (1968, 1974a) (Figura 1.6).

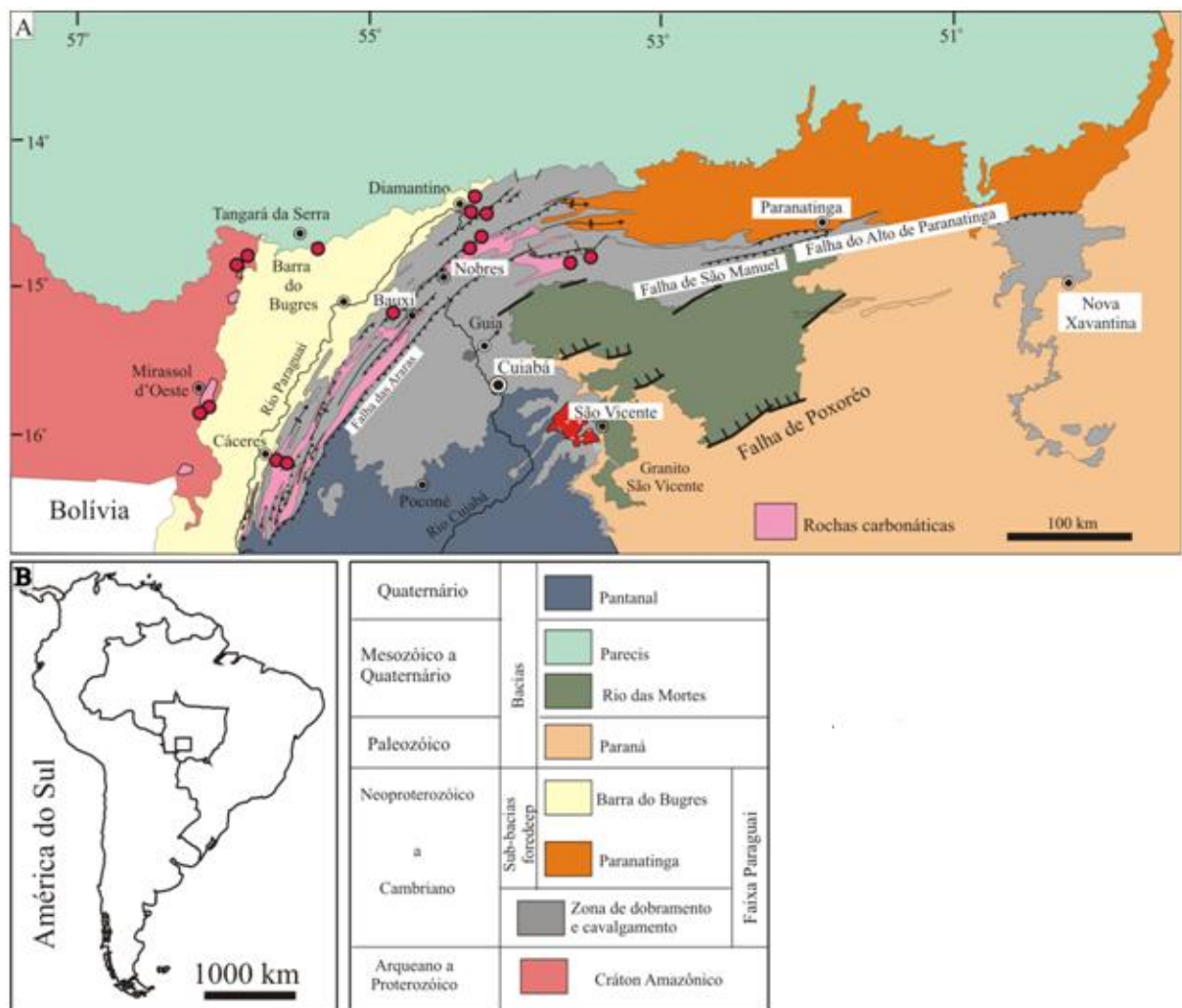


Figura 1.6: Estruturação tectônica e litológica da Faixa Paraguai Norte, com áreas estudadas destacadas em pontos vermelhos.

## CAPÍTULO 2

---

### 2.1. LITOESTRATIGRAFIA DO GRUPO ALTO PARAGUAI, NEOPROTEROZÓICO-CAMBRIANO DA FAIXA PARAGUAI NORTE E SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO

José Bandeira <sup>1, 2</sup>

Afonso César Rodrigues Nogueira <sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica e <sup>2</sup> Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Avenida Augusto Corrêa 1, Cidade Universitária. Campus Universitário do Guamá. CEP 66075-110. Belém - Pará - Brasil. jbandeira@ufpa.br ; anogueira@ufpa.br

#### RESUMO

O Grupo Alto Paraguai do Neoproterozóico-Cambriano é redescrito e redefinido com base em dados faciológicos e litoestratigráficos oriundos de afloramentos expostos ao longo da Faixa Paraguai Norte e sul do Cráton Amazônico, Estado do Mato Grosso, Brasil. Esta unidade, composta predominantemente por rochas siliciclásticas, de aproximadamente 2400 m de espessura, sobrepõe-se a sucessão carbonática do Grupo Araras, depositada após o último evento glacial do Criogeniano (~635 Ma). A proposta inicial de Almeida (1964a) que subdivide o Grupo Alto Paraguai nas formações Raizama, Sepotuba e Diamantino foi mantida e acrescida de membros estratigráficos. O membro inferior da Formação Raizama, restrito à porção leste da bacia, é caracterizado por espessuras decamétricas de pelitos, estes localmente com seixos de arenito disseminados, ritmitos arenito fino/pelito e arenitos finos intercalados com pelitos. O membro superior é constituído por arenitos finos a grossos, conglomerados, arenitos finos a médios com cimento de dolomita espática, siltitos, pelitos com espessuras centimétricas e, subordinadamente silexitos. O membro inferior da Formação Sepotuba ocorre apenas na porção oeste da bacia, sendo caracterizado por pelitos, arenitos finos, dolomitos finos e estromatólitos, geralmente silicificados; enquanto que o membro superior consiste de folhelhos/pelitos e arenitos finos. A Formação Diamantino consiste em três membros: inferior, constituído por arenitos finos e pelitos de típica coloração vermelha a roxa; intermediário, caracterizado por pelitos, siltitos e arenitos finos subordinados, com quase 1,5 km de espessura; e superior que consiste de arenitos

finos a médios e pelitos subordinados. O membro inferior da Formação Raizama foi depositado em plataforma marinha localmente influenciada por fluxo de detritos e face litorânea com influência de tempestades, enquanto o membro superior registra a deposição de face litorânea dominada por onda, tempestades e maré associada a uma planície costeira com canais fluviais entrelaçados. A Formação Sepotuba representa depósitos restritos de planície de maré carbonática (membro inferior) e de plataforma marinha siliciclástica (membro superior). A Formação Diamantino foi interpretada como depósitos de turbiditos (membro inferior), prodelta lacustre (membro intermediário) e frente deltaica (membro superior). O estudo litoestratigráfico e faciológico do Grupo Alto Paraguai estabeleceu a base para a correlação regional desta unidade ao longo da Faixa Paraguai e sul do Cráton Amazônico possibilitando entender os eventos de sedimentação ocorridos na região central do Brasil, durante o final do Neoproterozóico.

Palavras-chave: Grupo Alto Paraguai, rochas siliciclásticas, litoestratigrafia, Neoproterozóico, Faixa Paraguai, Cráton Amazônico.

## **ABSTRACT**

### *LITHOSTRATIGRAPHY OF THE NEOPROTEROZOIC-CAMBRIAN ALTO PARAGUAI GROUP, THE NORTHERN PARAGUAY BELT AND THE SOUTHERN AMAZON CRATON*

The Neoproterozoic-Cambrian Alto Paraguay Group is redescribed and redefined based on facies and lithostratigraphic data obtained from outcrops along the Northern Paraguay Belt and the southern Amazon Craton, State of Mato Grosso, Brazil. This unit, consisting primarily of 2400 m thick of siliciclastic rocks that overlies the carbonate Araras Group, was deposited after the last Cryogenian glacial event (~ 635 Ma). The previous proposal of Almeida (1964a), that subdivides the Alto Paraguay Group into the Raizama, Sepotuba and Diamantino formations, has been maintained now with distinctive stratigraphic members. The lower member of the Raizama Formation, restricted to the eastern portion of the basin, is characterized by decameter thick beds of mudstone, locally with scattered pebbles of sandstone, fine sandstone and mudstone and fine sandstones rhythmically interbedded with mudstone. The upper member consists of fine to coarse sandstones, conglomerates, fine to medium sandstone with sparry dolomite cement, siltstones, centimeter thick beds of mudstone and subordinate chert. The lower member of the Sepotuba Formation occurs only in the western portion of the basin and is characterized by mudstone, fine

sandstones, fine dolomites and stromatolites that are generally silicified, whereas the upper member consists of shales, mudstone and fine sandstones. The Diamantino Formation consists of three members: the lower member, consisting of fine sandstones and mudstone with typical reddish to purple color; a middle member, characterized by mudstone, siltstones and subordinated fine sandstones, that is more than 1,500 m thick; and upper member consisting of fine to medium sandstones and subordinated mudstone. The lower member of the Raizama Formation was deposited on a marine platform that was locally influenced by debris flows, and a storm-influenced shoreface. The upper member records the deposition of wave-, tidal- and storm-dominated shoreface deposits associated with a coastal plain with fluvial braided channels. The Sepotuba Formation represents a restricted carbonate tidal flat (lower member) environment that passes up into a siliciclastic marine platform. The Diamantino Formation is interpreted as a series of turbidites (lower member) that pass up into prodelta lacustrine deposits (middle member) and delta front deposits (upper member). This study of the lithostratigraphic facies of the Alto Paraguai Group establish a basis for regional correlation of this unit along the Northern Paraguay Belt and Southern Amazon Craton allowing understanding the depositional events that occurred in central Brazil during the Late Neoproterozoic.

**Keywords:** Alto Paraguai Group, siliciclastic rocks, lithostratigraphy, Neoproterozoic, Paraguay Belt, Amazon Craton.

### 2.1.1. INTRODUÇÃO

Rochas siliciclásticas de idade neoproterozóica-cambriana que ocorrem distribuídas ao longo da margem sul do Craton Amazônico e segmento norte da Faixa Paraguai são relacionadas ao Grupo Alto Paraguai, definido no trabalho clássico de Almeida (1964a). Nos últimos anos, o interesse por estas rochas tem aumentado em função de representarem o registro dos estágios finais da colisão entre os blocos Amazônia e Paranapanema que resultou no fechamento do Oceano Clymene em 540-520 Ma (Trindade *et al.* 2006, Thover *et al.* 2010). Esta nova temática tem ampliado o interesse científico da região central do Brasil, previamente colocada em destaque na literatura mundial pelas rochas carbonáticas pós-glaciação criogeniana (635 Ma), uma vez que estas registram anomalias climáticas, geoquímicas e bioevolutivas (Nogueira *et al.* 2003, Alvarenga *et al.* 2004, Nogueira *et al.* 2007). A primeira classificação estratigráfica para o Grupo Alto Paraguai de Almeida (1964a) propôs as formações Raizama (pelitos e arenitos finos a grossos), Sepotuba (folhelhos e arenito fino) e Diamantino (pelitos, siltitos e arenitos). Embora esta proposta forneça um arcabouço estratigráfico geral ainda necessita de uma melhor definição dos termos litoestratigráficos e as interpretações paleoambientais são geralmente calcadas em descrições pouco precisas e de cunho essencialmente litológico. O presente estudo estratigráfico do Grupo Alto Paraguai foi realizado em afloramentos das regiões de Glória/Mirassol d'Oeste, Tangará da Serra, Cáceres, Nobres e Planalto da Serra, Estado do Mato Grosso. Além disso, aos dados obtidos foi feita a integração dos principais trabalhos sobre o grupo, permitindo assim a redescritção e redefinição litoestratigráfica de acordo com a proposição de Petri *et al.* (1986), auxiliada pela análise de fácies (Walker 1992). Este procedimento levou a caracterizar os litotipos do Grupo Alto Paraguai, subdividindo-o em formações e membros além de melhorar o entendimento dos processos deposicionais e interpretações paleoambientais, fornecendo uma base operacional para o mapeamento e correlação regional.

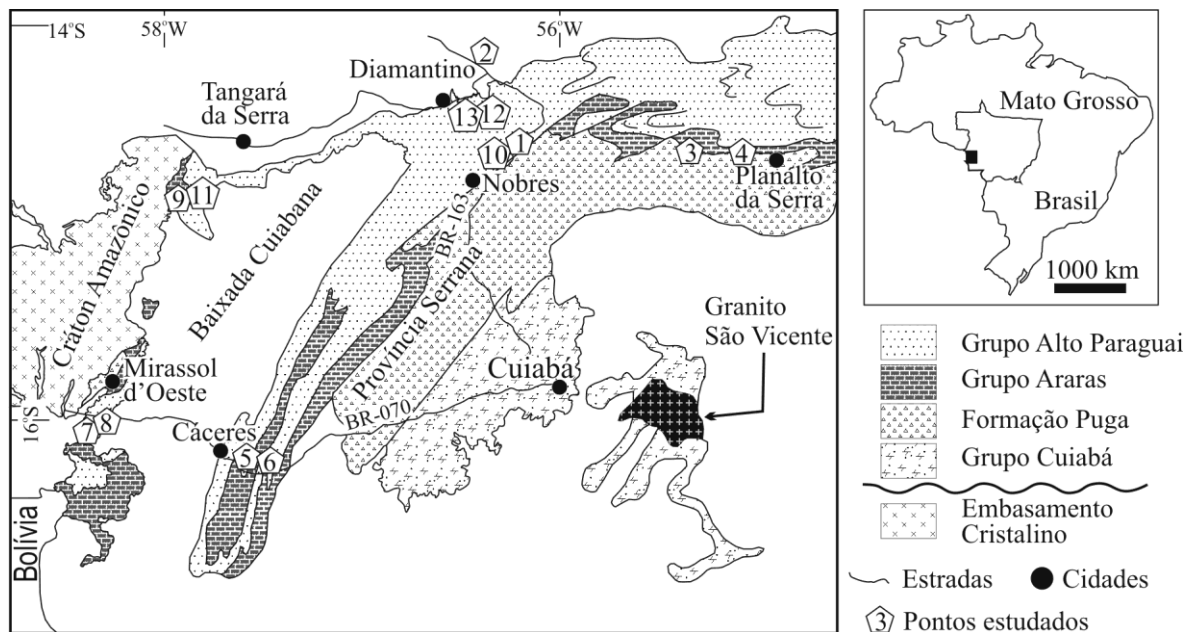


Figura 2.1: Localização dos pontos estudados ao longo da Faixa Paraguai Norte e borda sul do Cráton Amazônico. Posicionamento estratigráfico das unidades. Localidades: 1 – BR-163 (Região de Nobres –  $56^{\circ}29'10''\text{W}/14^{\circ}31'96''\text{S}$ ); 2 – Proximidades da hidrelétrica do município de Alto Paraguai ( $56^{\circ}13'56''\text{W}/14^{\circ}35'27''\text{S}$ ); 3 – Serra Azul ( $55^{\circ}30'29''\text{W}/14^{\circ}43'11''\text{S}$ ); 4 – Serra Azul (próximo do município de Planalto da Serra –  $55^{\circ}53'10''\text{W}/14^{\circ}38'27''\text{S}$ ); 5 – BR-070 (região de Cáceres –  $57^{\circ}33'56''\text{W}/16^{\circ}14'13''\text{S}$ ); 6 – BR-070 (Serra do Mangaval –  $57^{\circ}28'48''\text{W}/16^{\circ}14'51''\text{S}$ ); 7 – Pedreira Império (próximo ao município Mirassol d'Oeste –  $58^{\circ}9'32''\text{W}/15^{\circ}50'46''\text{S}$ ); 8 – Pedreira Império (próximo ao município Mirassol d'Oeste –  $58^{\circ}9'6''\text{W}/15^{\circ}50'42''\text{S}$ ); 9 – Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra –  $58^{\circ}1'38''\text{W}/14^{\circ}45'53''\text{S}$ ); 10 – BR-163 (Região de Nobres –  $56^{\circ}16'8''\text{W}/14^{\circ}37'39''\text{S}$ ); 11 – Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra –  $57^{\circ}58'8''\text{W}/14^{\circ}47'7''\text{S}$ ); 12 – Estrada de terra à sul de Diamantino ( $56^{\circ}22'35.81''\text{W}/14^{\circ}27'13.04''\text{S}$ ); 13 – Estrada de terra à sul de Diamantino ( $56^{\circ}25'11.69''\text{W}/14^{\circ}25'42.47''\text{S}$ )

### 2.1.2. NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

Foi Almeida (1964b, 1965a), quem formalizou pela primeira vez o Grupo Alto Paraguai composto pelas formações Raizama, Sepotuba e Diamantino, posicionando-a entre o Ordoviciano e Siluriano Médio. Hennies (1966), por sua vez, apoiado em datações do Granito São Vicente de  $\pm 500$  Ma, admitiu que o Grupo Alto Paraguai originou-se no final da Orogenia Baikaliana, no Cambriano inferior. Em projeto conjunto, o DNPM e a CPRM fizeram o levantamento geológico das folhas SD.21-Z-A e SD.21-Z-C (Barros & Simões 1980) e acrescentaram ao Grupo Alto Paraguai as formações Puga e Araras, passando, assim, a excluir as formações Batovi e Sepotuba previamente estabelecidas. Figueiredo & Olivatti (1974), assim como Luz *et al.* (1978, 1980), excluíram a Formação Sepotuba do Grupo Alto Paraguai e acrescentaram na base deste grupo as

Formações Puga e Araras, juntamente com as formações Raizama e Diamantino, no topo. Posteriormente, Barros & Simões (1980) acrescentaram na base do Grupo Alto Paraguai a Formação Bauxi e recolocaram a Formação Sepotuba entre as formações Raizama e Diamantino. Já Del'Arco *et al.* (1981, 1982) posicionaram a Formação Sepotuba no topo do Grupo Alto Paraguai. Almeida (1984) eliminou a Formação Sepotuba de sua nova proposta para a Faixa Paraguai, incluindo apenas as formações Raizama e Diamantino no Grupo Alto Paraguai. Alvarenga (1988) adotou a proposta de Almeida (1984) rebaixando a Formação Sepotuba a uma fácies da Formação Diamantino. Os autores que se seguiram denominaram as Formações do Grupo Alto Paraguai como unidades detríticas incluídas numa Sequência superior (Alvarenga & Saes 1992, Alvarenga & Trompette 1993, 1994). Esboço da proposta modificada de Almeida (1964). Esboços das propostas modificadas de Almeida (1964) contendo algumas indicações paleoambientais, têm sido mostrados por Nogueira *et al.* (2003, 2007). Alvarenga *et al.* (2007) e Figueiredo *et al.* (2008) propuseram uma nova unidade estratigráfica a “Formação Serra Azul”, posicionando-a, na base do Grupo Alto Paraguai. Esta unidade encontrada na serra homônima, na Faixa Paraguai Norte, seria formada por diamictitos e siltitos de até 300 m de espessura, considerada por aqueles autores como relacionada à glaciação Gaskier (582 Ma).

### 2.1.3. IDADE E CORRELAÇÃO

O referencial de idade mínima para as rochas da região da Província Serrana e áreas adjacentes foi fornecido a partir da datação K/Ar e Rb/Sr em 500 Ma do Granito São Vicente, intrusivo no Grupo Cuiabá a SE de Cuiabá (Hasui & Almeida 1970, Almeida & Mantovani 1975). Dados radiométricos Rb/Sr de sedimentos argilosos da Formação Sepotuba, relacionada à porção superior do Grupo Alto Paraguai forneceram idades de  $569 \pm 20$  Ma, previamente interpretadas como idades deposicionais (Cordani *et al.* 1978). Posteriormente, esta idade foi admitida como marcadora do evento deformacional Brasileiro que gerou a Faixa Paraguai (Bonhomme *et al.* 1982). Outra tentativa de se obter a idade do grupo foi efetuada por Cordani *et al.* (1985) em amostras de sedimentos finos da parte superior da Formação Diamantino, que forneceram idade de  $660 \pm 60$  Ma. Entretanto, esta determinação é considerada duvidosa devido à alta dispersão dos pontos ao longo da isócrona. Dados obtidos por análise de zircão detrítico da Formação Diamantino, sugerem uma idade mínima de deposição após  $541 \pm 7$  Ma analisados por

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , indicando que a sedimentação do Grupo Alto Paraguai se estendeu, pelo menos, até o Cambriano Inferior (Bandeira *et al.* no prelo).

## 2.1.4. LITOESTRATIGRAFIA E PALEOAMBIENTE

### 2.1.4.1. Aspectos Gerais

As unidades do Grupo Alto Paraguai distribuem-se ao longo da borda sudeste do Cráton Amazônico em camadas com mergulho sub-horizontal, e no segmento Norte da Faixa Paraguai, onde ocorrem dobradas pela tectônica Brasileira/Pan-Africana que pode ter alcançado o Cambriano (Almeida 1984, Trindade *et al.* 2006). Embora alguns autores sugiram que estas rochas foram metamorfizadas, isto nunca foi devidamente demonstrado (*cf.* Trompette 1994, Alvarenga *et al.* 2000). As idades de  $542 \pm 40$  Ma (Almeida & Mantovani 1975) e  $518 \pm 4$  Ma (McGee *et al.* no prelo) para o Granito São Vicente são consideradas um marcador de idade mínima para os depósitos da Faixa Paraguai. Da mesma forma, assume-se a idade de 540-520 Ma relacionada ao evento de remagnetização, pós-dobramento, que afetou a região no final da orogenia Brasileira/Pan-Africana (Trindade *et al.* 2003, Font *et al.* 2006).

As melhores exposições do Grupo Alto Paraguai encontram-se nas principais vias de acesso da região e em pedreiras de arenito. Embora a região possua um relevo que alcança cotas acima de 850 m, a vegetação é densa e geralmente desenvolve-se um perfil de solo espesso, o que em muitos lugares não favorece a ocorrência de exposições naturais.

A espessura estimada acima de 3000 m obtida pela soma das espessuras de cada unidade foi sugerida por Almeida (1964a). Segundo este autor, a Formação Raizama teria 1600 m de espessura e os depósitos pelíticos da Formação Sepotuba alcançariam aproximadamente 900 m, medida no flanco oriental do sinclinal existente atrás da Serra do Tombador. Para os pelitos e arenitos da Formação Diamantino, a espessura da unidade estaria em torno de 600 m (Almeida 1964a). Este trabalho sugere uma espessura para o Grupo Alto Paraguai de aproximadamente 2400 m. A Formação Raizama alcança uma espessura em torno de 570 m, distribuídos em 270 m para o membro inferior, e até 300 m para o membro superior (Figura 2.2). O membro inferior da Formação Raizama descrito neste trabalho é correlato à Formação Serra Azul, de Alvarenga *et al.* (2007). Para os depósitos da Formação Sepotuba é aferida espessura de 60 m, divididos em 20 m para o membro inferior e 40 m para o membro superior (Figura 2.2). A Formação Diamantino



alcança uma espessura de aproximadamente 1710 m, dividida em membro inferior (120 m), membro intermediário (1470 m) e membro superior (120 m) (Figura 2.2).

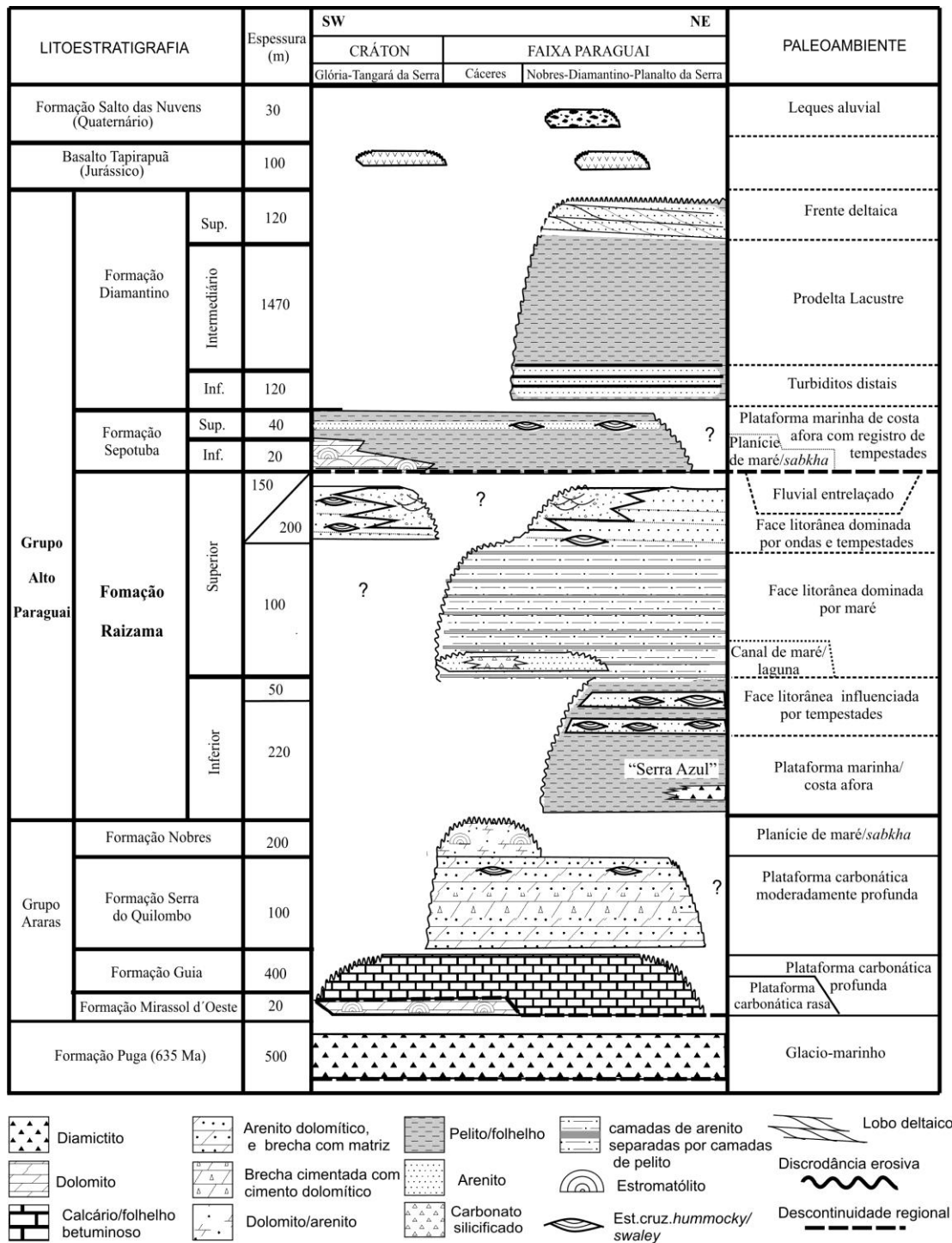


Figura 2.2: Carta litoestratigráfica da Bacia neoproterozóica do sul do Cráton Amazônico/Faixa Paraguai Norte. A distribuição das unidades reflete a posição geográfica de afloramento. Superfícies erosivas representam eventos sindeposicionais ou exposição descontínua atual das unidades. Com exceção da Formação Sepotuba, as unidades interpretadas como depositadas em águas profundas ocorrem mais à NE da Bacia.

Apesar da sucessão do Grupo Alto Paraguai não ter sido investigada continuamente, as correlações foram efetuadas levando-se em consideração a identificação das associações de fácies, de superfícies-chaves, os contatos entre as unidades e superfícies de menor hierarquia como limites de ciclos, de fácil correlação, compondo um arcabouço estratigráfico confiável e operacional (Figura 2.2).

#### **2.1.4.2. Limites Estratigráficos**

O limite inferior da Formação Raizama pode ser observado a 7 km ao norte do município de Nobres (rodovia BR-163), na base da Serra do Tombador. Neste local os perfis de plataforma marinha do membro inferior intercalam-se com os dolomitos finos de plataforma marinha da Formação Serra do Quilombo. A oeste da bacia o contato com os dolomitos e siliciclásticos de planície de maré da Formação Nobres é brusco e erosivo, feito diretamente com o membro superior da Formação Raizama (Nogueira & Riccomini 2006). Na região da Serra Azul, próximo a cidade Planalto da Serra, pelitos seixosos do membro inferior podem ser encontrados diretamente sobre a Formação Puga (Figuras 2.2 e 2.3). Na região de Cáceres clastos de carbonatos são observados na base do membro superior marcando base de canais de maré (Figuras 2.2 e 2.3). O contato entre os membros inferior e superior da Formação Raizama é transicional, sendo caracterizados pelas intercalações de arenito e pelitos com estratificação cruzada *hummocky* de face litorânea até passar para os arenitos e pelitos com estruturas produzidas por onda e maré, também de face litorânea. (Figura 2.2 e 2.3).

O limite superior da Formação Raizama com a Formação Sepotuba, usando somente a litologia, é planar e brusco. Entretanto, se for levada em consideração a interpretação paleoambiental, o contato é transicional. Na região de Glória, a passagem é feita com arenitos carbonáticos de face litorânea dominada por onda e tempestade que grada para dolomitos, pelitos e arenitos de planície de maré da Formação Sepotuba, marcados por sucessivos horizontes com gretas de contração e moldes de evaporitos, como descrito por Silva Jr *et al.* (2007) (Figura 2.2). Em Tangará da Serra e Nobres a passagem é feita com os depósitos fluviais, separados por um intervalo métrico de ritmitos de maré até passar para os folhelhos de costa afra da Formação Sepotuba. Esta relação estratigráfica indica aumento abrupto da lâmina d'água, caracterizando também uma superfície transgressiva que pode ser considerada um importante *datum* na

correlação regional do topo do , assim como a base dos calcários da Formação Guia no Grupo Araras (Figura 2.2 e 2.3).

## 2.1.5. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES

### 2.1.5.1. Formação Raizama – membro inferior

A melhor exposição do membro inferior da Formação Raizama ocorre na região da Serra Azul, nordeste de Cuiabá, e proximidades da cidade Planalto da Serra (Figura 2.1, pontos 3 e 4; Figura 2.3). Representa sucessões de camadas de pelitos, de coloração roxa a cinza, lateralmente contínuas por dezenas de metros e alcançando aproximadamente 450 m de espessura (Figura 2.3, Perfil 3 e 4). Arenitos finos a médios compõem as litologias da unidade inferior, separados por ciclos de raseamento ascendente (Figura 2.3, Perfil 3 e 4). As principais estruturas descritas são: pelito maciços ou com laminação plano-paralela com seixos de arenito dispersos de até 30 cm de diâmetro, arredondados a subarredondados e, às vezes, estriados (Figura 2.3, Perfil 3 e 4; Figura 2.4A e B). A laminação incipiente do pelito abaixo de alguns clastos apresenta-se, algumas vezes, deformada. São descritas, também, como estruturas pelito com laminação ondulante (Figura 2.4C), arenito muito fino com laminação cruzada cavalgante, arenito fino com laminação cruzada *hummocky* (Figura 2.4D) e arenito médio com acamamento ondulado, estratificação cruzada *swaley* e variação lateral do espessamento da camada. (Figura 2.3, Perfil 3 e 4; Figura 2.4E, F e G).

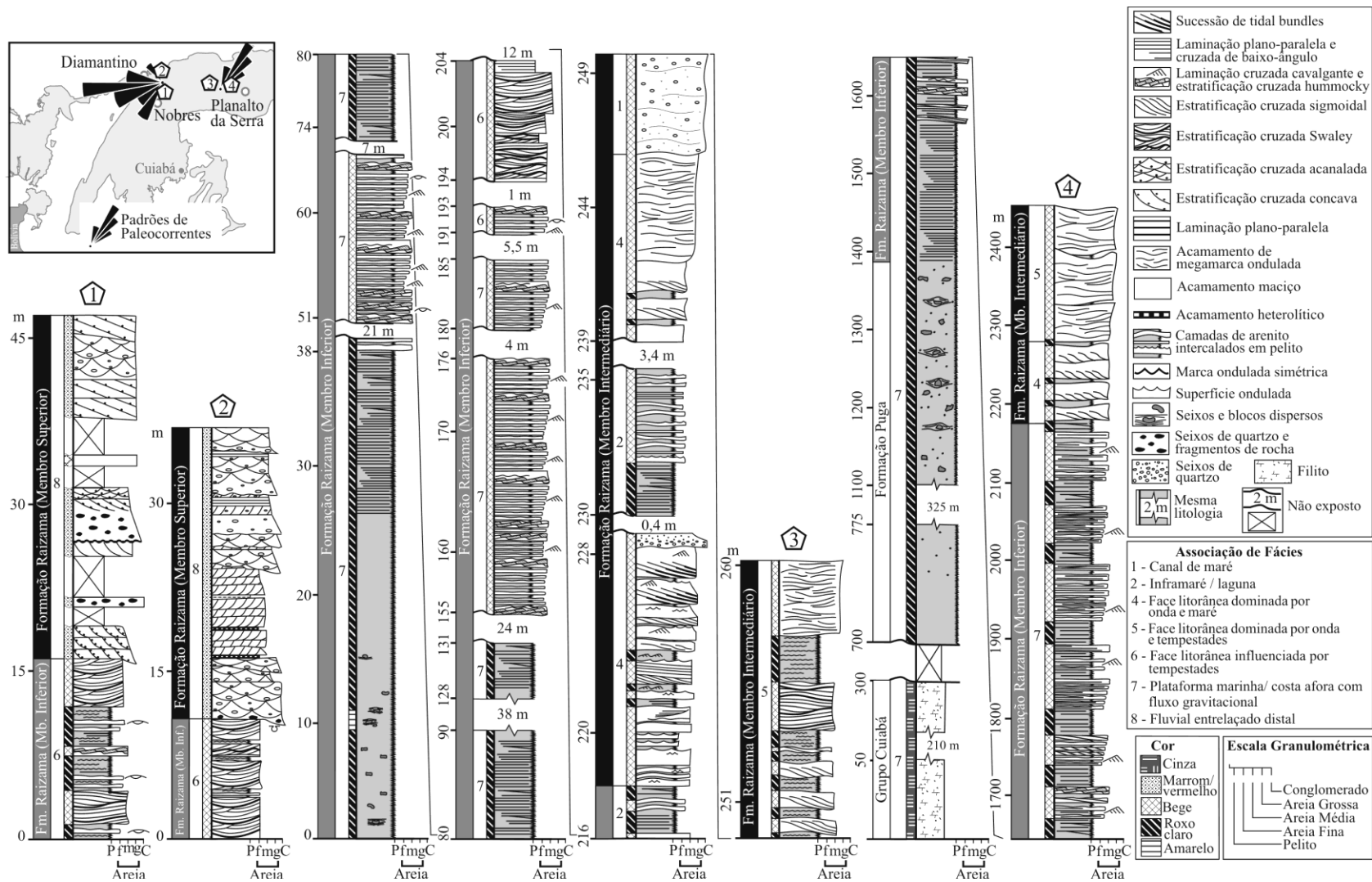


Figura 2.3: Membro inferior da Formação Raizama. Perfis 1 e 2 – contato brusco entre os membros inferior e superior da Formação Raizama. Perfis 3 e 4 – Estratótipo do membro inferior da Formação Raizama, com passagem gradual para o membro superior. Notar os padrões de paleocorrentes do membro superior da Formação Raizama.

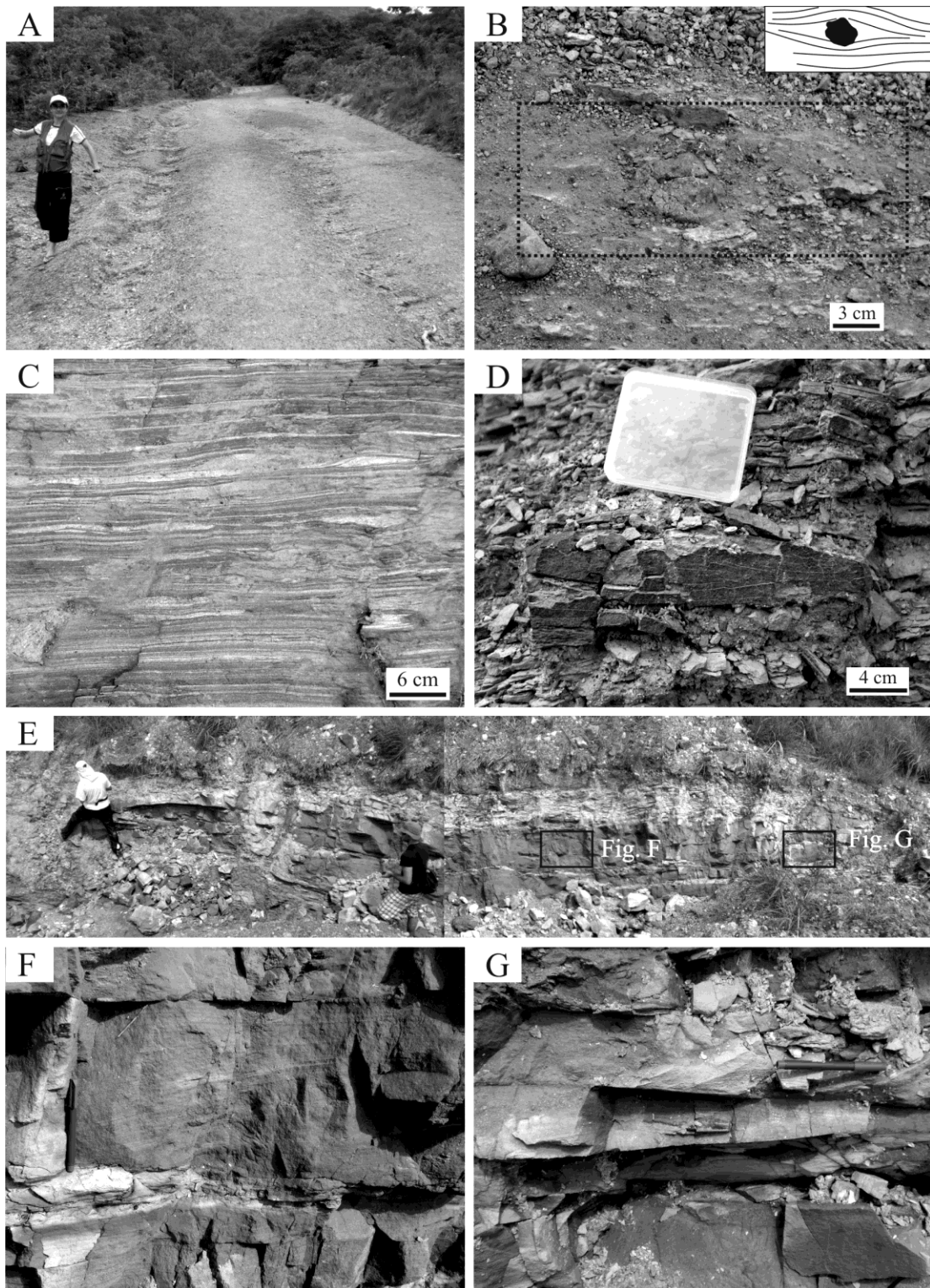


Figura 2.4: Fácies representativas do membro inferior da Formação Raizama. A) Pelito com laminação plano-paralela. B) Pelito maciço com laminação incipiente com seixos dispersos. C) Pelito com laminação ondulante. D) Arenito fino com estratificação cruzada *hummocky*. E) Arenito com acamamento ondulado. Localização das figuras F e G na seção. F) Arenito com estratificação cruzada *swaley*. G) Variação do espessamento lateral das camadas.

#### 2.1.5.1.1. Interpretação

A avaliação da seção tipo do membro inferior, que foi denominado de “Formação Serra Azul” por Alvarenga *et al.* (2007), tem revelado algumas particularidades do modo de afloramento e interpretações dos processos e paleoambiente desta polêmica unidade estratigráfica considerada o registro da glaciação Gaskier de 580 Ma (*cf.* Alvarenga *et al.* 2007, Figueiredo *et al.* 2008). Enquanto Alvarenga *et al.* (2007) coloca na seção tipo o contato com o Grupo Araras, Figueiredo *et al.* (2008) admite que este não está exposto, sugerindo um contato erosivo apenas com a presença de fragmentos de carbonato e *chert* que seriam característicos da Formação Nobres. A nossa observação da área-tipo vai de encontro com a observação de Figueiredo *et al.* (2008), realmente o contato com o Grupo Araras não é observado. Figueiredo *et al.* (2008) tem descrito uma diversidade de clasto, que estariam dentro do pacote sedimentar, pelítico, com granulometria desde seixo a matacão, de composição diversa (dolomitos, sílex, quartzo, argilito, arcósio, granito, diabásio, vulcânica, gnaisses, quartzito, metaconglomerados). Na avaliação da área-tipo existem certas dúvidas sobre os diamictitos/peliros seixosos: (a) são depósitos coluviais ou pedimentos? (b) a origem é realmente glacial? (c) podem pertencer a Formação Puga?

A área tipo é um vale na base da denominada Serra Azul, repleto de fragmentos das serras circundantes, onde praticamente todas as unidades da Faixa Paraguai encontram-se sob a atuação de intemperismo físico. Fragmentos dessas unidades são encontrados na forma de colúvios e pedimentos geralmente separados da rocha *in situ* por uma linha de pedra (*stone line*) ou camadas de pedra (*stone layer*). É notório na seção-tipo que a parte inferior da chamada Formação Serra Azul, os “diamictitos glaciais” parecem ser colúvios ou pedimentos que se distribuem sobre a fácies de pelitos com clastos de arenito do membro inferior (Figura 2.5).

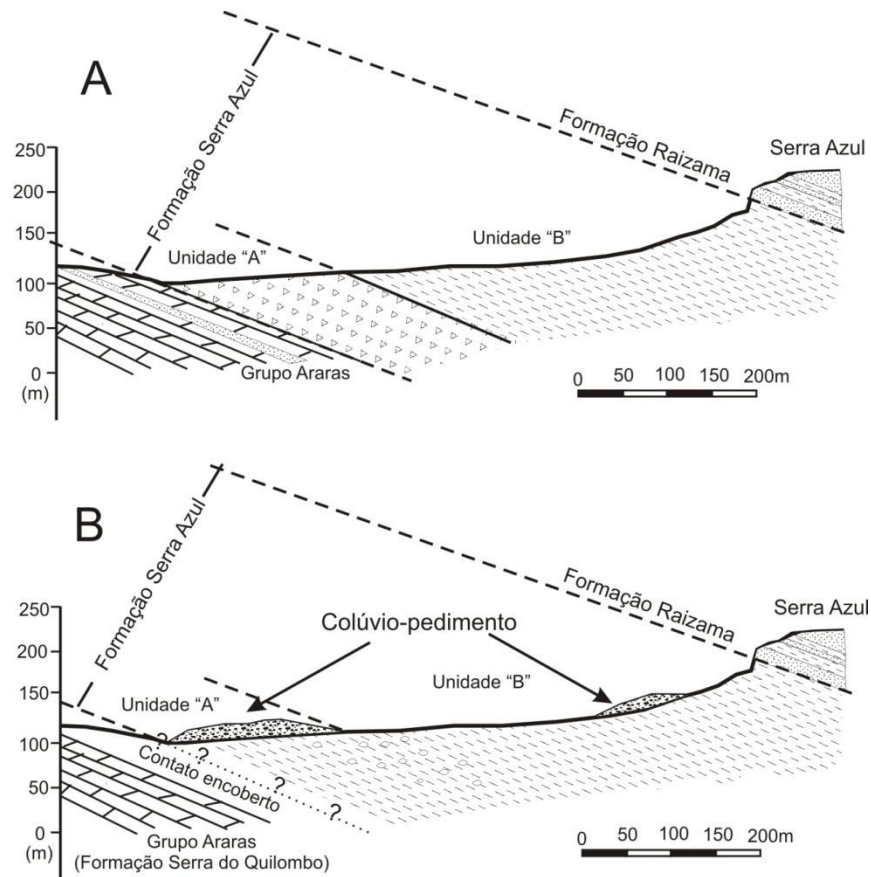


Figura 2. 5: Situação de afloramento do membro inferior na área-tipo da Formação Serra Azul. A situação mostrada em (A) por Alvarenga *et al.* (2007) é completamente diferente da encontrada naquele local (B). Colúvios e pedimentos formam um depósito similar a diamictitos alterados. O contato com o Grupo Araras não é observado diretamente e a área-tipo da denominada Formação Serra Azul é isolada de outras exposições, sendo difícil a sua correlação.

Atenta-se para o fato de que alguns clastos de dolomitos estromatolíticos silicificados dentro desse “diamictito” têm sido descritos como clastos da Formação Nobres, a unidade de topo do Grupo Araras rica em microbialitos (*cf.* Nogueira & Riccomini 2006). De acordo com a figura 2.2, a Formação Nobres é restrita à porção oeste da bacia, enquanto na porção leste ocorrem apenas os dolomitos finos de plataforma marinha da Formação Serra do Quilombo, que são desprovidos de estromatólitos dômicos. Uma fácies não é definitiva de uma formação, por isso o fato de encontrar estromatólitos não quer dizer que seja da Formação Nobres, porque esta unidade não é a única portadora deste traço fóssil (Figura 2.2). Outra dificuldade é entender o fato destes fragmentos encontrarem-se dolomitizados e silicificados, implicando que estes processos ocorreram antes da suposta erosão glacial. Esta interpretação vai de encontro com uma fragmentação mais recente associada aos processos de denudação atual. Diamictitos com matriz

alterada (inconsolidada) com fragmentos de dolomitos silicificados é mais facilmente explicado como um colúvio ou pedimento.

O mapeamento de detalhe da região de Nobres permitiu verificar que não ocorrem diamictitos na base do membro inferior, a denominada unidade A da Formação Serra Azul (Figura 2.5). O contato observado é sempre com os pelitos do membro inferior da Formação Raizama se intercala com os dolomitos da Formação Serra do Quilombo. Desta forma, se comparar com as evidências mais robustas de glaciação que são os depósitos da Formação Puga, que se estendem por mais que 600 km ao longo da Faixa Paraguai, os pelitos com clastos de arenitos observados na área-tipo da Formação Serra Azul são fortemente controlados pela paleogeografia da bacia neoproterozóica e estão situados na porção considerada mais profunda, a parte leste da Faixa Paraguai (Figura 2.2). A extensão limitada desses pelitos com clastos não coaduna com uma sedimentação glacial (Figura 2.2). Da mesma forma, clastos estirados não são definitivos de ambiente glacial e determinar todo um sistema glacial só com uma fácies de degelo (diamictito com seixos pingados) é muito sintético e pouco analítico.

Existe a possibilidade de que os afloramentos deformados e descontínuos do membro inferior estejam próximos dos diamictitos glaciogênicos da Formação Puga, causando confusão no empilhamento como observado em Rosário d'Oeste e Planalto da Serra (Figura 2.2 e 2.3, Perfil 4). Este contato direto entre o membro inferior e a Formação Puga tem sido interpretada como uma profunda incisão glacial durante o intervalo Gaskier, como observada em diversos locais do mundo, como Austrália, Omã, etc. (comunicação verbal com Allan Collins, Universidade de Adelaide, Austrália). Admitir que os 700 m do Grupo Araras foram completamente erodidos e inferir a glaciação com uma única “fácies de degelo”, onde predomina processo de suspensão, sem nenhuma fácies de alta energia preservada é uma hipótese a ser testada. Não sabemos a extensão total da sedimentação Puga que pode ser encontrada sobre o embasamento e Grupo Cuiabá, gerando um substrato para a deposição de unidades da bacia. Da mesma forma, não sabemos também a extensão do membro inferior (= Formação Serra Azul) que pode ter se depositado numa paleogeografia bem diferente daquela da borda oeste da Bacia Paraguai, sobrepondo unidades mais antigas. A interpretação de fluxos gravitacionais em uma plataforma marinha, na zona de costa afora (Bandeira *et al.* submetido) para estes depósitos parece ser uma alternativa mais simples do paleoambiente de deposição. Até o momento, os elementos estratigráficos, faciológicos e de idade sobre esses depósitos ainda são muito



incipientes, em parte causados pela falta de mapeamento para formalizar uma unidade e fazer inferências mais globais.

#### **2.1.5.2. Formação Raizama – membro superior**

A característica mais marcante do membro superior da Formação Raizama é a grande tabularidade das camadas de arenito, lateralmente contínuas por dezenas de metros. O membro superior da Formação Raizama pode sobrepor o membro inferior de forma discordante (Figura 3, Perfís 1 e 2), mas geralmente a passagem é gradual, passando para arenitos médios a grossos com camadas onduladas intercaladas com pelitos, compondo as seguintes fácies: arenito com laminações cruzada, plano-paralela e cruzada de baixo-ângulo, arenito médio com estratificação cruzada sigmoidal com marcas onduladas simétrica e assimétrica, por vezes, bidirecionais, e arenito médio a grosso com megamarca ondulada (Figura 2.3, Perfil 3 e 4).

Na região de Cáceres, o membro superior sobrepõe em discordância os depósitos de planície de maré da Formação Nobres. (Figura 2.1, Ponto 5; Figura 2.6, Perfil 5). A melhor exposição da parte basal do membro superior da Formação Raizama é descrito na Serra do Mangaval na rodovia BR-070, a 30 km de Cáceres (Figura 2.1 e 2.6, Perfil 6). Nesta seção, camadas de arenitos médios a grossos, de coloração cinza a rosa, lateralmente contínuas por dezenas de metros, alcançam 79 m de espessura (Figura 2.6, Perfil 6). Arenitos feldspáticos finos a grossos e, subordinadamente, conglomerados compostos principalmente por grânulos e intraclastos de pelitos, silexites e ritmitos pelito/arenito, compõem os litotipos desses depósitos, organizados em ciclos de raseamento e granocrescente ascendente de até 4 m, separados por superfícies de inundação (Figura 2.6, Perfil 6). Geralmente as camadas centimétricas de arenitos tabulares e raros corpos com estratificação cruzada sigmoidal (Figura 2.7A) são separadas por lâminas ou camadas centimétricas de pelitos (Figura 2.7B, C). As principais estruturas sedimentares são: estratificação cruzada de baixo-ângulo, estratificação cruzada com *mud drapes* interpretados com *tidal bundles* (Figura 2.7D), estratificação cruzada acanalada com moldes de clastos tabulares (Figura 2.7E), estratificação inclinada heterolítica e estratificação cruzada complexa, estas duas últimas, inseridas em conjuntos de camadas de até 3 m, lateralmente contínuas por até 5 m e com base irregular. Escavações centimétricas ou *gutter cast* marcam a

base de algumas camadas (Figura 7F). As paleocorrentes indicam um padrão bimodal agudo com predominância para NW e subordinadamente para NE (Figura 2.6).

Arenitos finos a médios, subordinadamente grossos, com grãos bem selecionados e arredondados, cimentados por dolomita formam espessas camadas amalgamadas, lateralmente contínuas e com base irregular (Figura 2.9A e B). Predominam a estratificação cruzada *swaley* (Figura 2.9C e D) e, subordinadamente, estratificação cruzada *hummocky*. Ainda ocorre laminação cruzada de baixo-ângulo e laminação plano-paralela, associadas a marcas onduladas assimétricas e simétricas recobertas por filmes argilosos. Na proximidade do contato com a Formação Sepotuba são observados arenitos e pelitos com gretas de contração e moldes de evaporitos (Figura 2.8; Perfis 7 e 8), e arenitos com estratificação cruzada acanalada (Figuras 2.8, 2.9E e F). Estes últimos correspondem à litofácies predominante na região de Tangará da Serra, onde formam camadas lateralmente contínuas por centenas de metros e alcançam espessura de acima de 100 m. Os dados de paleocorrentes obtidos nos arenitos na região de Tangará da Serra sugerem um padrão unimodal de migração, predominantemente para SE (Figura 2.8).

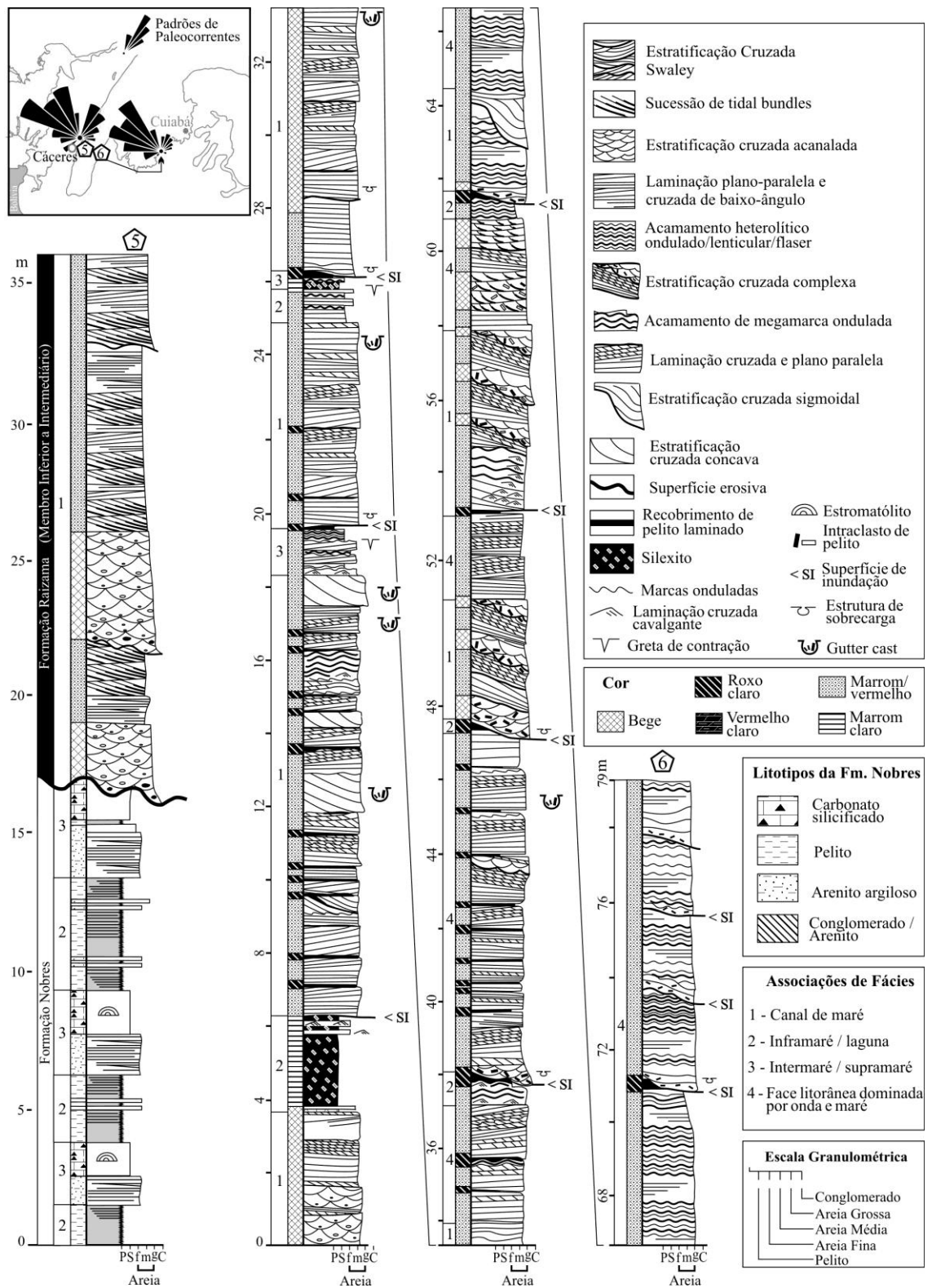


Figura 2.6: Porção basal do membro superior da Formação Raizama. Perfil 5 – contato com o Grupo Araras (Formação Nobres, exposto no km 690 da rodovia BR-070, sudeste de Cáceres). Perfil 6 – Perfil composto da Formação Raizama na Serra do Mangaval. Os padrões de paleocorrentes estão indicados na figura superior a esquerda.

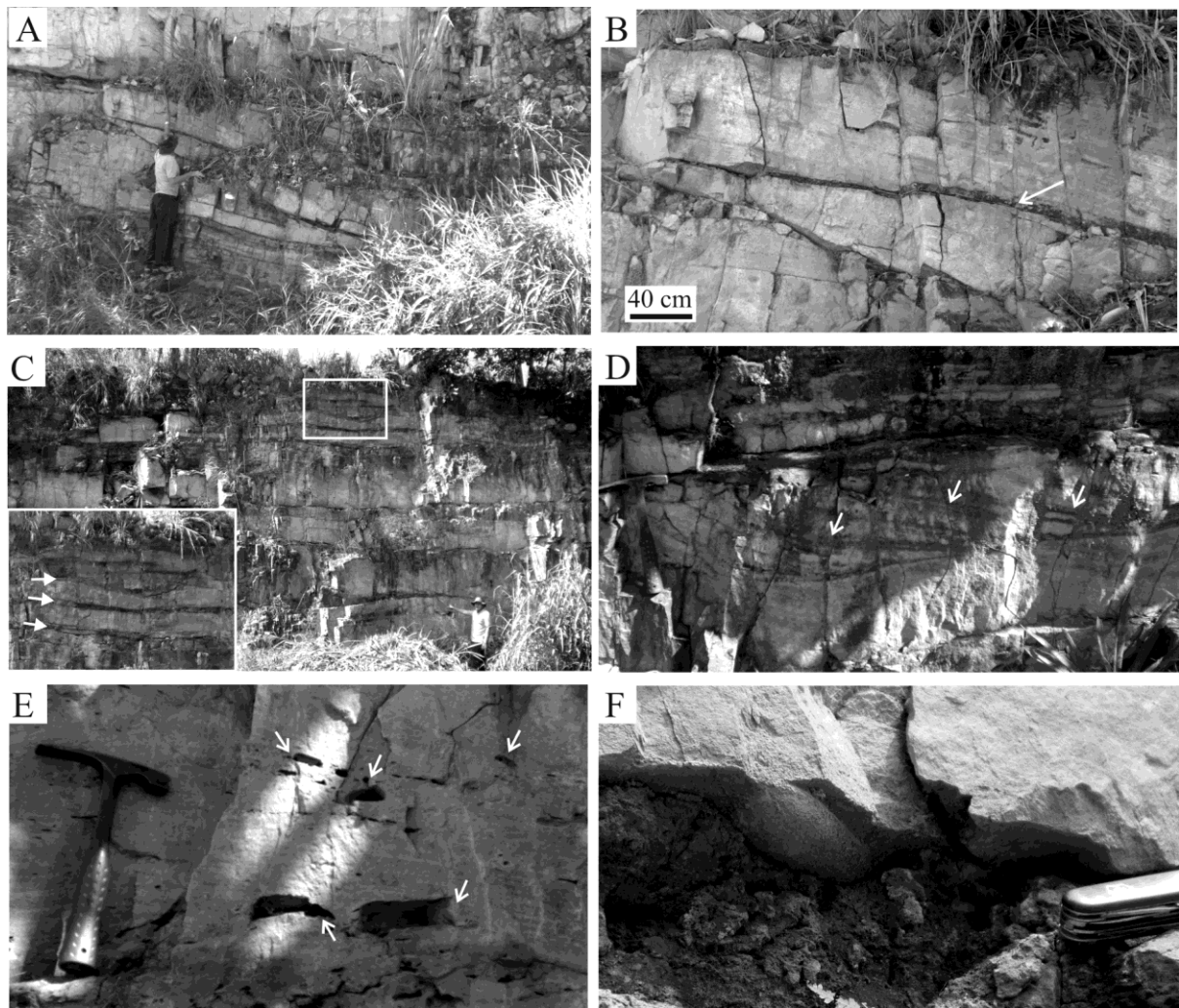
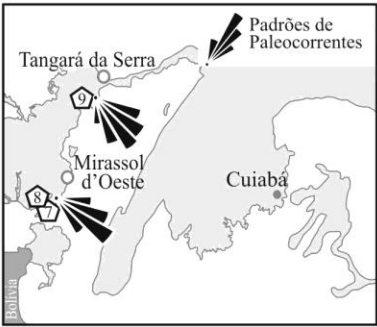


Figura 2.7: Geometria e fácies do membro superior. A) Feição lobada característica de um delta de maré. B) Detalhe do recobrimento pelítico no lobo sigmoidal. C) Topo de ciclo de raseamento, marcado por camadas de pelito (setas brancas) e acamamento de megamarca ondulada. D) *Tidal bundles*, pares de argila indicado por seta. E) Arenito com espaço deixado por clastos tabulares. F) *Gutter cast* na base de camadas de arenito.

A característica principal da porção basal do membro inferio da Formação Raizama é a frequência de recobrimentos argilosos (*mud drapes*) separando camadas ou cobrindo localmente os estratos cruzados, o que denuncia um sistema influenciado por correntes de maré (Boersma & Terwindt 1981, Nio & Yang 1991). O empilhamento dos ciclos de rasamento ascendente da porção superior da Formação Raizama, atestam a mudança de regime de micro a mesomaré, de um sistema de ilha-barreira para um regime de plataforma rasa de macromaré (Boyd *et al.* 2006). As fácies de laguna consistem de pacotes métricos de pelito e silexito, este último interpretado como carbonato posteriormente substituído. Arenitos finos com laminação plano-paralela e

cruzada tangencial dentro dos pelitos e silexitos são associados ao influxo esporádico de areias (leques de lavagem) por processos de tempestades ou marés de sizígia. Depósitos de canais de maré são constituídos de arenitos e conglomerados com intraclastos pelíticos, estratificação cruzada acanalada de médio a pequeno porte e estratificação cruzada plano-paralela. Depósitos de praia são interpretados pela presença de estratificação cruzada com truncamentos de baixo-ângulo, laminação cruzada e marcas onduladas simétricas e assimétricas com padrão de interferência. A associação de depósitos de canal e de praia sugere a migração lateral de canais principais (*tidal inlets*) sobre uma ilha-barreira retrabalhada por correntes litorâneas.

A ocorrência de estratificações cruzadas *swaley* e *hummocky* em camadas amalgamadas são características da ação de ondas de tempestade retrabalhando a *shoreface* (Figura 2.9A e C) (Walker & Plint 1992, Cheel & Leckie 1993). Os espessos pacotes de arenitos com estratificação cruzada acanalada e lateralmente contínuos, sem evidência de canais e pelitos intercalados, com paleocorrente unidirecional sugerem a migração de uma extensa planície fluvial entrelaçada (*cf.* Miall 1977). A presença de moldes de evaporitos e gretas de contração sugerem exposição subaérea e temperaturas acima de 35° em planície de maré/inundação (Figura 2.8, Perfil 7 e 8; Figura 2.9G) (Goodall *et al.* 2000).



31

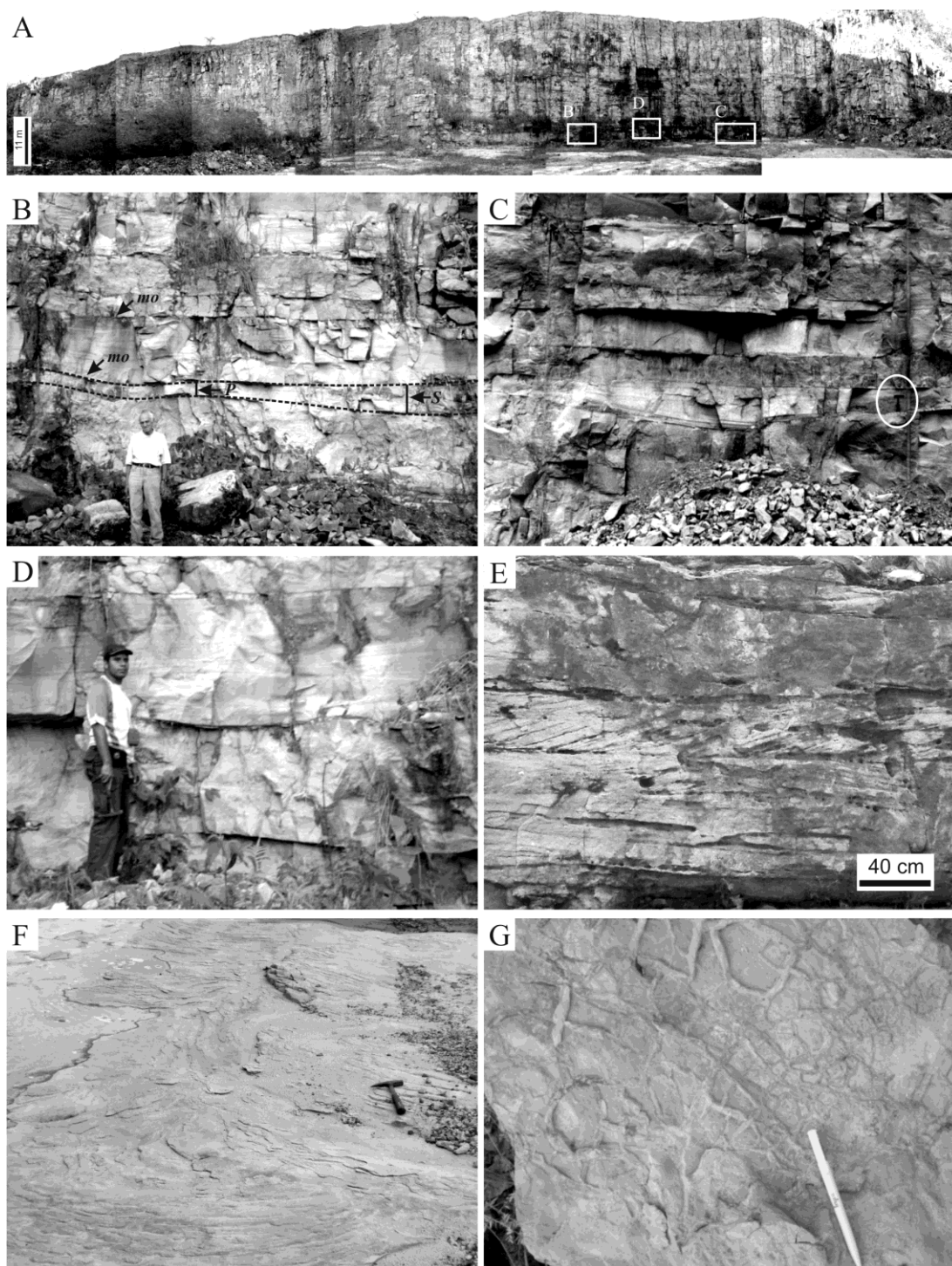


Figura 2. 9: Pedreira Império, região de Glória d'Oeste. A) Frente de lavra da pedreira, corpos amalgamados de arenito com cimento de dolomita. B) Camadas lateralmente contínuas de arenitos com adelgaçamento e espessamento sistemático, separados por camadas/recobrimentos de pelito, e localmente, preservando a forma de megaripple. Megamarcas onduladas com estruturas de *pinch-and-swell*. Abreviações, p= *pinch* (adelgaçamento), s= *swell* (espessamento), mo= *megaripple*. C) Estratificação cruzada *swaley*. O martelo se encontra na base da *swaley*. D) Base ondulada de estratificação cruzada *swaley*. E) Fácies fluvial da Formação Raizama, arenito com estratificação cruzada acanalada, vista de perfil. F) Estratificação cruzada acanalada, vista em planta. G) Gretas de contração no contato com a Formação Sepotuba.

### 2.1.5.3. Formação Sepotuba

A Formação Sepotuba tem suas melhores exposições na região de Glória d'Oeste, Nobres, Diamantino e na estrada de acesso à usina hidrelétrica da Hochtief do Brasil, na região de Tangará da Serra, alcançando aproximadamente 40 m de espessura (Figura 2.10). Rochas basálticas da Formação Tapirapuã recobrem a Formação Sepotuba na região de Tangará da Serra (Figuras 2.2 e 2.10, Perfil 11), possivelmente causando metamorfismo de contato, indicado pelo crescimento de micas e endurecimento dos litotipos pelíticos. A Formação Sepotuba foi dividida nos membros inferior e superior (Figura 2.8, Perfis 7 e 8; Figura 2.10). O membro inferior consiste de pelitos laminados, arenitos finos e dolomitos em contato direto com o membro superior da Formação Raizama (Figura 2.8, Perfil 7 e 8). A fácies carbonática é composta por dolomitos finos associadas a níveis de sílex maciço na base, compondo ciclos de raseamento ascendente (Figura 2.8, Perfil 7 e 8). Os dolomitos finos apresentam como principais estruturas acamamento de megamarca ondulada, laminação ondulada, intraclastos tabulares dispersos e *curled flakes* (Figura 2.8, Perfil 8; Figura 2.11C e D). Como registros de exposição são descritos moldes de nódulos evaporíticos silicificados e gretas de contração (Figura 2.8, Perfil 7 e 8; Figuras 2.9G e 2.11E). São descritos ainda, estromatólitos dômicos e estratiformes, além de níveis oolíticos (Figura 2.8, Perfil 8; Figura 2.11F).

Na região de Nobres e Diamantino, próximo ao contato com a Formação homônima, o membro superior da Formação Sepotuba consiste em arenitos finos e siltitos, além de pelitos subordinados, de coloração bege a cinza, alcançando 11 m de espessura (Figura 2.10, Perfis 12 e 13). Predominam as estruturas acamamento de marcas onduladas/laminação cruzada cavalgante desenvolvidos tanto em arenitos finos como em siltitos, estratificação plano-paralela, acamamento maciço, marcas onduladas no topo da camada, lineação de partição e estruturas de sobrecarga. Os pelitos e arenitos são dispostos em acamamento ondulado (Figura 2.11A) e exibem laminação cruzada cavalgante supercrítica, e os arenitos finos exibem estratificação cruzada *swaley* (Figura 2.12E). Arenitos finos a médios com estratificação plano-paralela e estratificação cruzada sigmoidal com recobrimento de filmes de pelito ou com seqüências de *tidal bundles* ocorrem subordinadamente (Figura 2.11B).



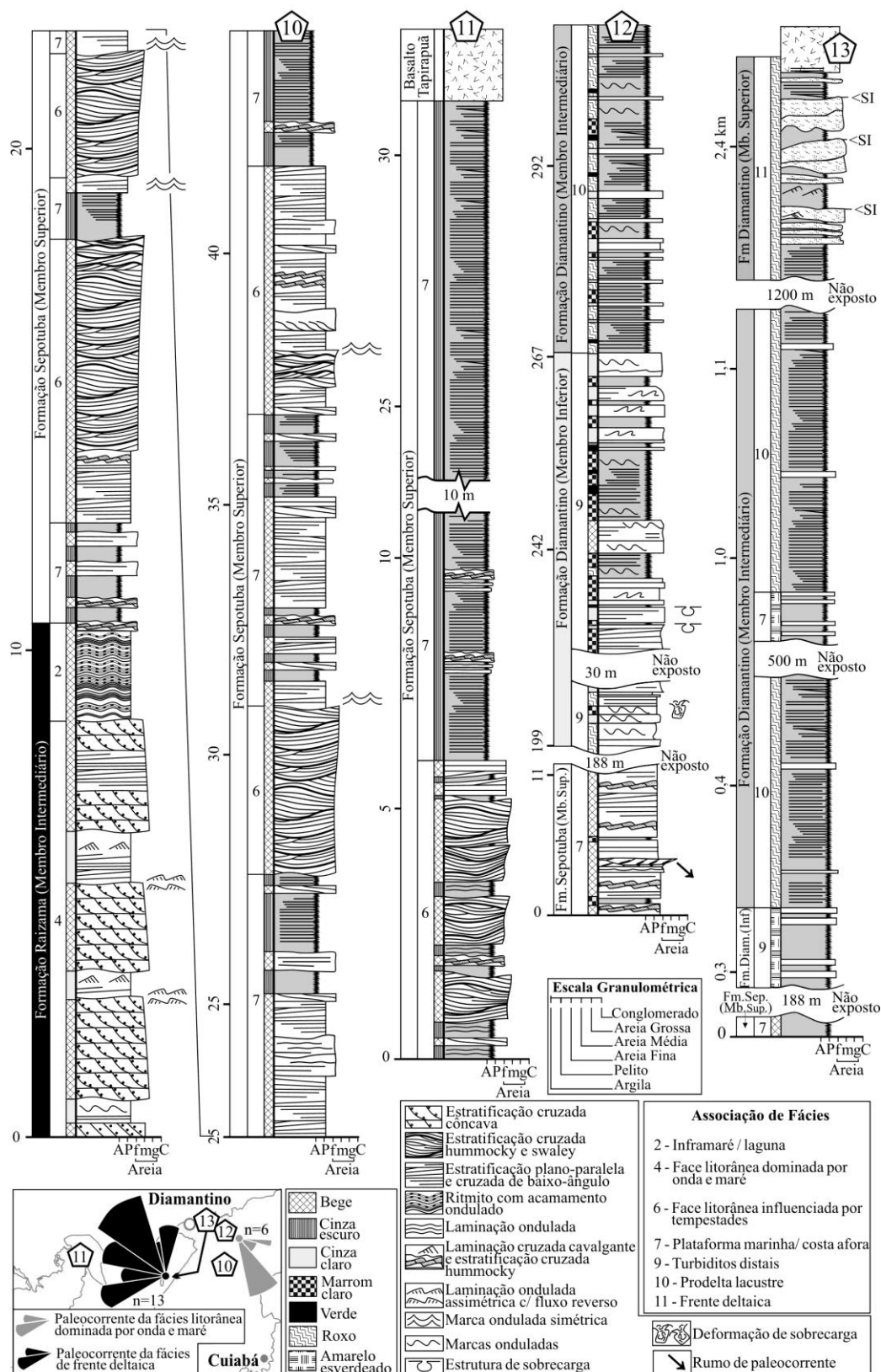


Figura 2.10: Perfis estratigráficos da Formação Sepotuba. Perfil 10 – Contato entre o membro superior da Formação Raizama com o membro superior da Formação Sepotuba. Perfil 11 – membro superior da Formação Sepotuba recoberto pelo Basalto Tapirapuã. Perfil 12 e 13 – membro superior da Formação Sepotuba em contato com o membro inferior da Formação Diamantino. Notar os padrões de paleocorrentes do membro superior da Formação Sepotuba e membro superior da Formação Diamantino.

Os folhelhos e pelitos laminados representam os litotipos de mais baixa energia da Formação Sepotuba e indicam deposição a partir de suspensão durante condições normais de sedimentação na zona de costa afora (*offshore*) ou na transição para a face litorânea inferior (cf. Walker & Plint 1992). Esta deposição tranqüila era interrompida eventualmente por influxos de areia induzidos por fluxos oscilatórios gerados por eventos de tempestades como indicado pelas presenças de arenitos com laminação plano-paralela, laminação cruzada de baixo ângulo e laminação ondulada, além da presença de estratificação cruzada *swaley*. Fluxos oscilatórios gerados por tempestites são desacelerados em águas profundas, resultando na deposição de camadas arenosas mais contínuas (Myrow 1992). O declínio deste fluxo de onda causaria o retrabalhamento das camadas, gerando laminação plana e marcas onduladas (De Raaf *et al.* 1977).

Os recobrimentos e pares de pelitos (*mud couplets*) sobre os estratos cruzados denotando uma variação cíclica de espessura dos *foresets* ou *tidal bundles*, sugerem influência de maré relacionada a ciclos de maré vazante/enchente (De Boer *et al.* 1989, Nio & Yang 1991). A forma sigmoidal dos estratos é sugestiva da migração de *megaripples* sob altas taxas de suspensão, provavelmente no contexto de face litorânea inferior. A ocorrência de fluxo oscilatório é indicada pela presença de laminação cruzada truncada por ondas.

#### 2.1.5.4. Formação Diamantino

A Formação Diamantino é composta por três membros inferior, intermediário e superior. A região de Diamantino é a área-tipo desta unidade (Figura 2.1) e apresentam mais de 1.500 m de espessura (Figura 2.9, Perfil 13). O contato com os arenitos e siltitos do membro superior da Formação Sepotuba nesta região é transicional, marcado pelo aparecimento de maiores espessuras de siltito laminado e o desaparecimento dos arenitos/siltitos com influência de onda (Figura 2.10, Perfis 12 e 13). Apesar das fácies da Formação Sepotuba ainda ocorrer esporadicamente nos primeiros metros do membro inferior da Formação Diamantino, estas são envolvidas por espessos pacotes de siltito. Níveis centimétricos de arenito maciço ou com estratificação plano-paralela, ou raramente com acamamento de marcas onduladas (*ripple bedding*), intercalam-se aos siltitos (Figura 2.10, Perfis 12 e 13). Existe uma tendência das colorações bege/acinzentado, comuns ao membro inferior da Formação Diamantino tornarem-se arroxeadas e avermelhadas no membro intermediário, típicas de “*red beds*” (cf. Tucker 1992) (Figura 2.10, Perfis 12 e 13; Figura 2.13A e B). Cores esverdeadas na Formação Diamantino estão associadas a cimento de calcita,

dispostos de forma plana e lateralmente contínua, acompanhando a laminação (Figura 2.10, Perfis 12; Figura 2.13B).

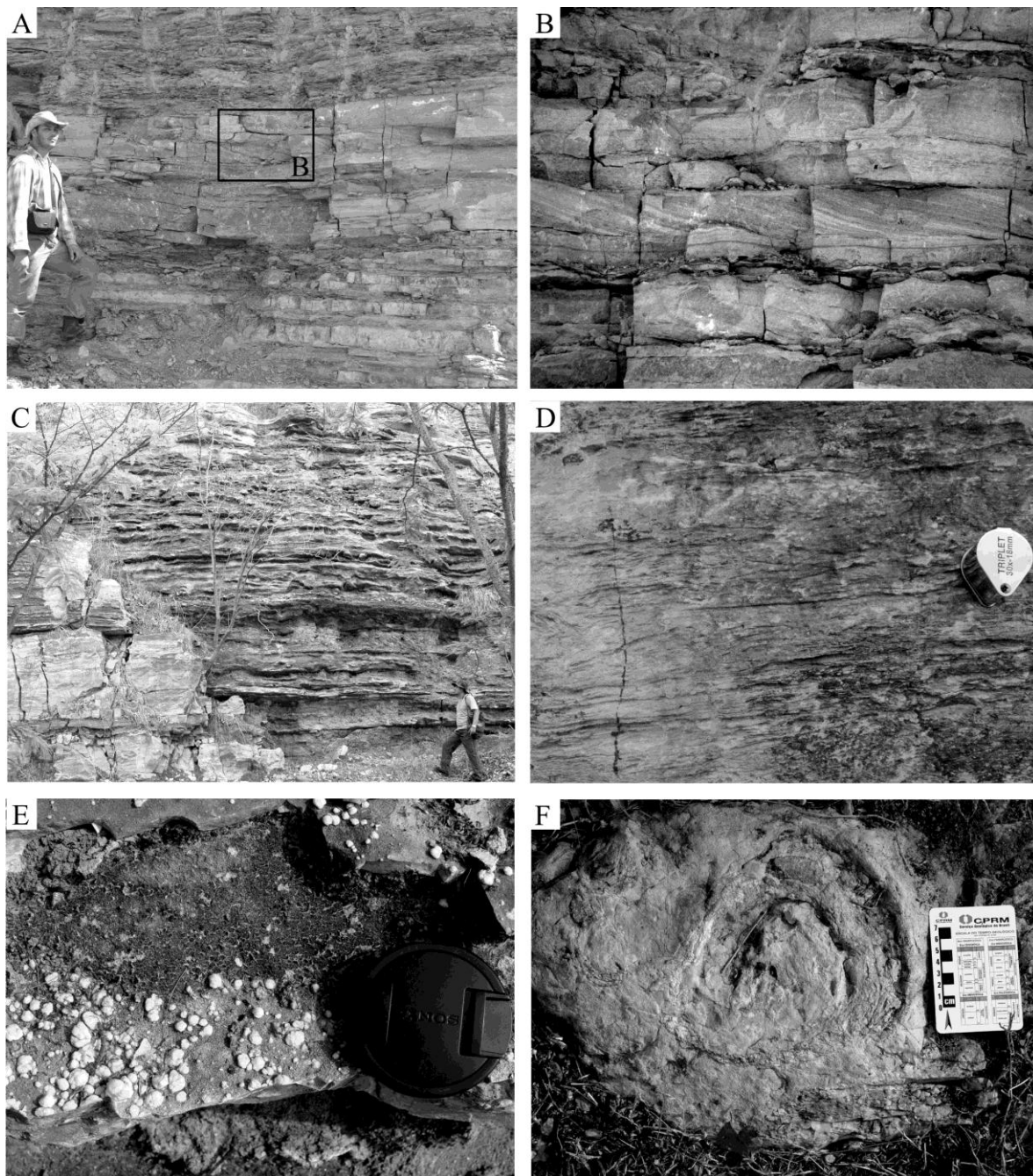


Figura 2. 11: Fácies da Formação Sepotuba (membro inferior). A) Camadas lateralmente contínuas e onduladas. B) Camadas de arenito individualizado por pelito e com estratificação cruzada com recobrimento pelítico (bandamento de maré). C) Camadas de dolomitos ondulados lateralmente contínuas. D) Dolomitos com laminação ondulada. E) Moldes de nódulos evaporíticos silicificados. F) Estromatólito em planta.

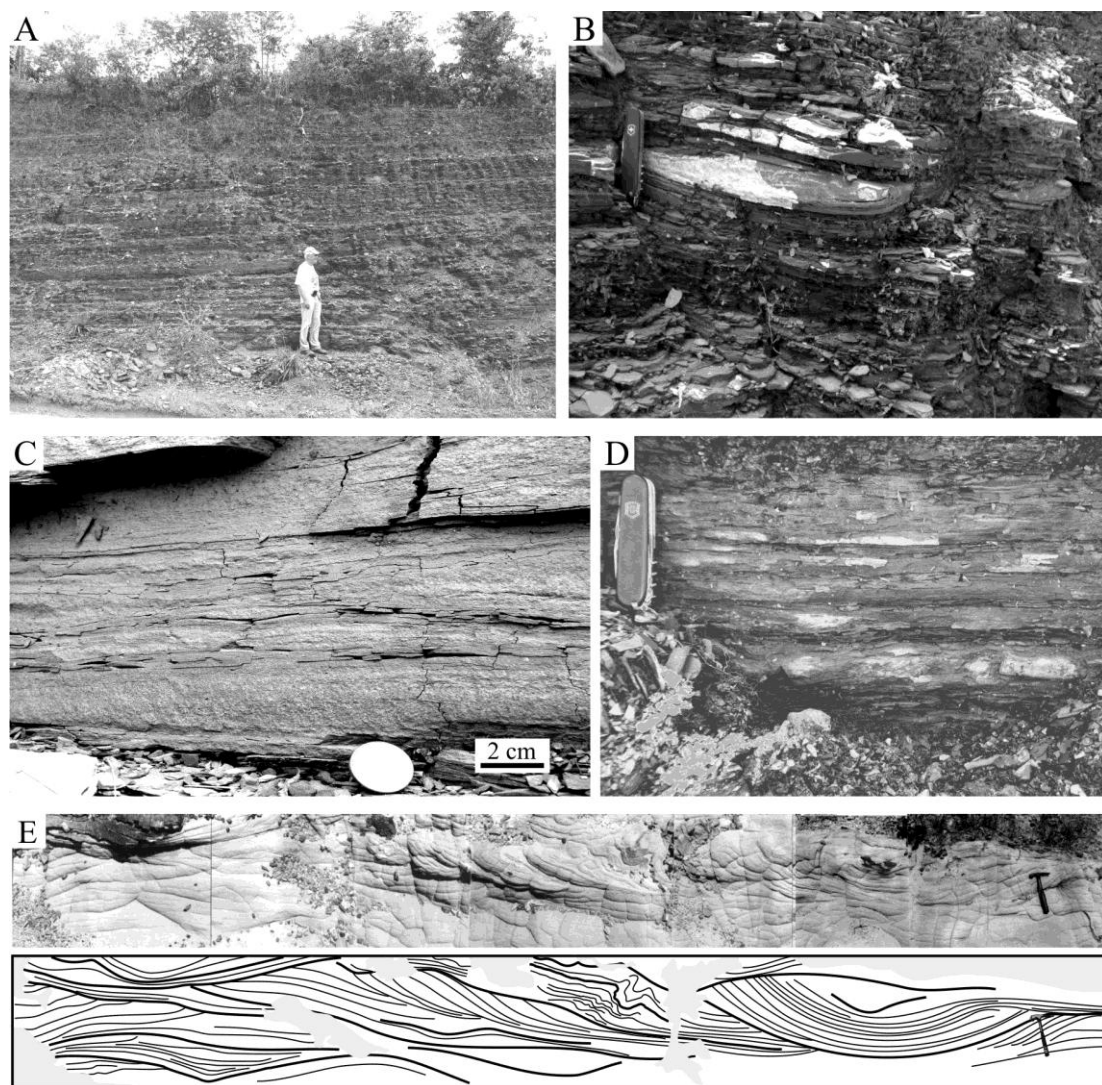


Figura 2. 12: Fácies da Formação Sepotuba. A) Camadas lateralmente contínuas do folhelho Sepotuba. B) Detalhe do folhelho Sepotuba. C) Laminação ondulada com recobrimento pelítico. D) Arenito com topo ondulado em folhelhos. E) Arenito com estratificação cruzada *swaley*.

O membro inferiro da Formação Diamantino é caracterizado por uma distribuição monótona e extensa lateralmente por dezenas de quilômetros de arenitos de granulação fina, siltitos e argilitos subordinados, chegando a aproximadamente 30 m de espessura (Figura 2.10, Perfis 12). As estruturas sedimentares mais evidente nesta fácies são laminação ondulada e laminação cruzada cavalgante desenvolvidas nos arenitos e siltitos. Os arenitos também exibem laminação plano-paralela, acamamento maciço e marcas onduladas, lineação de partição e estruturas de sobrecarga (Figura 2.10, Perfis 12). A litofácies são organizadas em ciclos granodecrescentes ascendente (0,5 a 6 metros de espessura) com espessamento ascendente das camadas de silito / argilito. Cada ciclo é composto de: 1) arenito finos e médios subordinado; 2) arenito com estratificação plano-paralela; 3) arenito fino com laminação cruzada e marcas onduladas; 4) arenito e silito com eventual laminação plano-

paralela, e às vezes; 5) pelito laminado (Figura 2.10, Perfis 12). O membro intermediário é caracterizado por depósitos com espessura de até 1.500 m de pelitos, siltitos e arenitos finos laminados, localmente com laminação cruzada subcrítica (Figura 2.13A e B). Distribui-se por centenas de quilômetros ao longo de Diamantino, Nobres e Planalto da Serra.

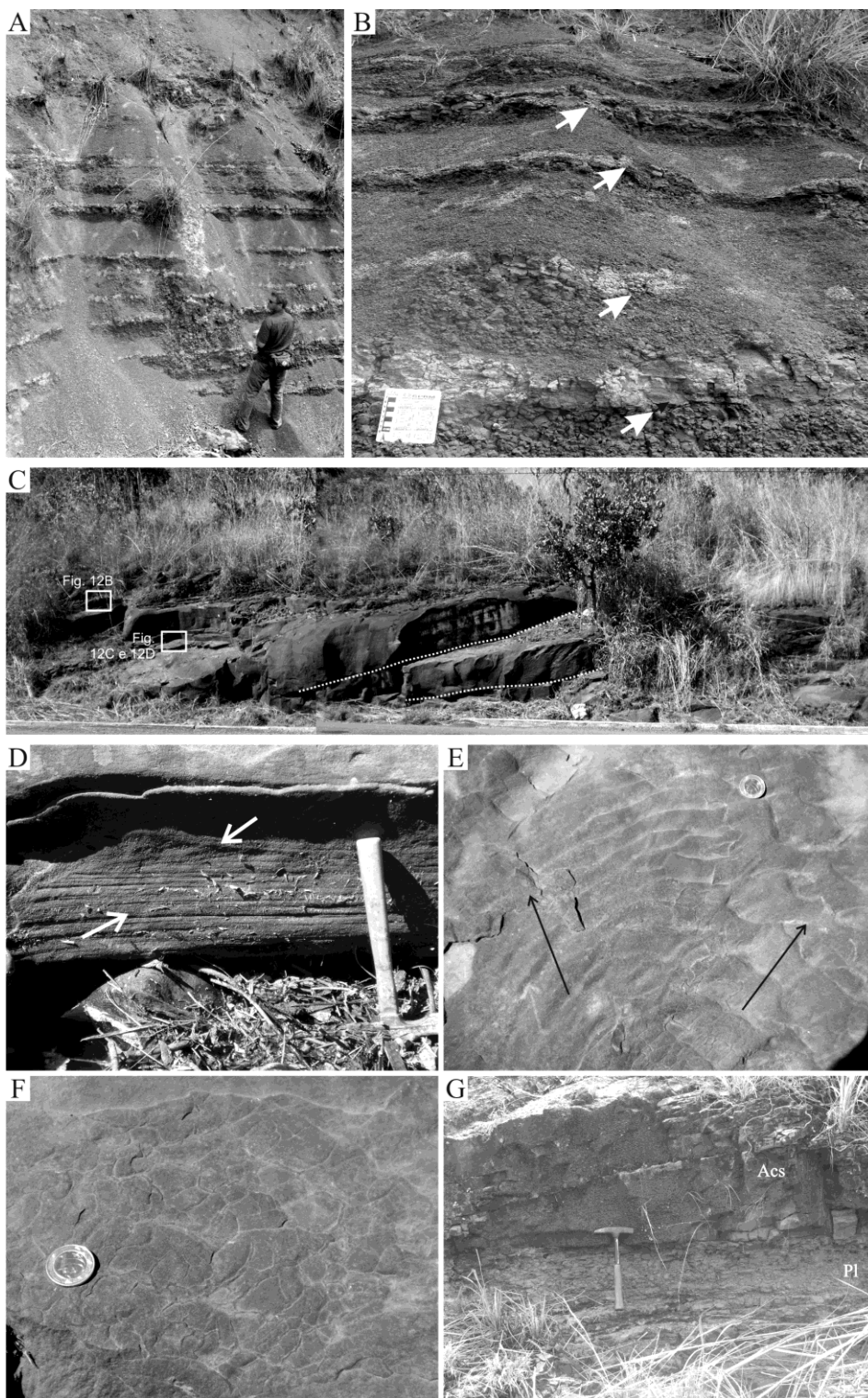


Figura 2.13: Fácies da Formação Diamantino. A) e B) Pelito do membro intermediário formando camadas planas e contínuas por quilômetros, com camadas de arenito cimentado por calcita (setas). C) Seção panorâmica do membro superior da Formação Diamantino, na rodovia BR-240. D) Arenito com

laminação plano-paralela (seta à esquerda) e laminação cruzada de baixo-ângulo (seta à direita). E) Marcas onduladas assimétricas paralelas (seta à esquerda) e linguóides (seta à direita). F) Gretas de contração sobre marcas onduladas. G) Ciclo granocrescente ascendente. Siglas: Pl: pelito laminado, Acs: arenito com estratificação cruzada sigmoidal.

O membro superior da Formação Diamantino é representado por ciclos com granocrescência e espessamento ascendente que alcançam de 40 a 60 m de espessura (Figura 2.10, Perfis 13). A base dos ciclos é formada por pelitos laminados (Figura 2.13C e G) e arenitos com estratificação plano-paralela (Figura 2.13D) e ritmitos com laminação cruzada cavalgante supercrítica. O topo dos ciclos é caracterizado por arenitos com grãos bem selecionados e subangulosos a subarredondados, exibem acamamento maciço, estratificação cruzada sigmoidal, plano-paralela (Figura 2.13C, D e G), esta última associada à lineação de partição. São também encontradas marcas onduladas e gretas de contração (Figura 2.13E e F). Os corpos com estratificação cruzada organizam-se em camadas lenticulares ou geometria de lobos (Figura 2.13C), com espessuras de até 2m com sentido de migração para NW e SW. Formam corpos amalgamados ou, às vezes, individualizados por pelitos (Figura 2.13G), quando desenvolvem estruturas de sobrecarga e acamamento convoluto.

Durante a acumulação dos membros inferior e intermediário Formação Diamantino, interpretados como depósitos de turbiditos, o espaço de acomodação gerado parece ter sido significativo se consideramos a espessura de mais de 1 km destes depósitos, relacionada a uma contínua subsidência da bacia (Bandeira *et al.* no prelo). Os ciclos granodecrescentes do membro inferior são correlatos a seqüência de Bouma (Stow 1986) com os intervalos, B (arenito com laminação plana), C (arenito com laminação cruzada e deformação sindeposicional), D/E (pelitos laminados). A natureza relativamente horizontal dos depósitos, acumulados principalmente por suspensão e se estendendo por muitos quilômetros, é sugestiva de um ambiente plano e relativamente profundo (*basin plain*) num contexto de lago tectônico ou de mar restrito (membro intermediário). Os ciclos com granocrescência e espessamento ascendente registram o aumento gradual do conteúdo de areia, típico de ambientes deltaicos (Coleman & Prior 1982, Bhattacharya & Walker 1992, Reading & Collinson 1996). Os corpos de arenitos deformados foram acumulados sob condições de alto influxo de areia e instabilidades gravitacionais condizentes com depósitos de barras de desembocadura em uma frente deltaica (Reading & Collinson 1996). A desaceleração do fluxo trativo com altas taxas de suspensão explica a formação de estratificação cruzada sigmoidal com formas lobadas (Röe 1987). O sistema deltaico era conectado com um sistema fluvial (não encontrado na área de



trabalho) preenchendo um lago/mar restrito e representa a última deposição do Grupo Alto Paraguai (Bandeira *et al.* no prelo).

### 2.1.7. CONCLUSÕES

O Grupo Alto Paraguai do Neoproterozóico-Cambriano representa uma sucessão siliciclástica de aproximadamente 2.400 m de espessura, composta por três formações Raizama, Sepotuba e Diamantino, seguindo a proposta de Almeida (1964a). O estudo faciológico e litoestratigráfico permitiu formalizar membros para o referido Grupo. O membro inferior da Formação Raizama, restrito à porção leste da bacia, é caracterizado por espessuras decamétricas de pelitos, estes localmente com seixos de arenito disseminados, ritmitos arenito fino/pelito e arenitos finos intercalados com pelitos. O membro superior é constituído por arenitos finos a grossos, conglomerados, arenitos finos a médios com cimento de dolomita espática, siltitos, pelitos com espessuras centimétricas e, subordinadamente silexites. O membro inferior da Formação Sepotuba ocorre apenas na porção oeste da bacia, sendo caracterizado por pelitos, arenitos finos, dolomitos finos e estromatólitos, geralmente silicificados; enquanto que o membro superior consiste de folhelhos/pelitos e arenitos finos. A Formação Diamantino consiste em três membros: inferior, constituído por arenitos finos e pelitos de típica coloração vermelha a roxa; intermediário, caracterizado por pelitos, siltitos e arenitos finos subordinados, com quase 1,5 km de espessura; e superior que consiste de arenitos finos a médios e pelitos subordinados.

A análise de fácies sugere que o ambiente deposicional do Grupo Alto Paraguai variou de uma plataforma marinha profunda de costa afora (*offshore*), plataforma marinha rasa influenciada por onda/maré e depósitos de intermaré/supramaré, depósitos de plataforma rasa influenciado por ondas de tempestade, ambientes de *sabkha*, planície de maré e fluvial entrelaçado (formações Raizama e Sepotuba) para depósitos turbidíticos, prodelta lacustre e frente deltaica (Formação Diamantino).

A redefinição e redescrição do Grupo Alto Paraguai retoma a classificação do grupo proposta por Almeida (1964a) para as rochas siliciclásticas da Faixa Paraguai Norte, bem como resgata a designação “Sepotuba” proposta pelo mesmo autor. O estudo litoestratigráfico e faciológico do Grupo Alto Paraguai estabeleceu a base para a correlação regional desta unidade ao longo da Faixa Paraguai e Sul do Cráton Amazônico, possibilitando entender os eventos de sedimentação ocorridos na região central do Brasil durante o final do Neoproterozóico.

## CAPITULO 3

---

### **3.1. DEPÓSITOS PROGRADANTES FLÚVIO-COSTEIROS INFLUENCIADOS POR MARÉ E TEMPESTADES DA FORMAÇÃO RAIZAMA, GRUPO ALTO PARAGUAI, NEOPROTEROZOICO DO SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO E FAIXA PARAGUAI NORTE**

José Bandeira <sup>1, 2</sup>

Afonso César Rodrigues Nogueira <sup>1, 2</sup>

Claudio Riccomini<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica e <sup>2</sup> Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Avenida Augusto Corrêa 1, Cidade Universitária. Campus Universitário do Guamá. CEP 66075-110. Belém - Pará - Brasil. jbandeira@ufpa.br ; anogueira@ufpa.br,

<sup>3</sup> Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, 05508-080, São Paulo, SP, Brasil. riccomin@ufpa.br

#### **RESUMO**

Uma das arquiteturas estratigráficas observadas em muitas bacias *foreland* é o adelgaçamento das unidades siliciclásticas em direção a porção mais profunda da bacia caracterizadas por diversas escalas de ciclos deposicionais. A Formação Raizama do Grupo Alto Paraguai de idade Ediacarana é um excelente exemplo de sucessão siliciclástica com essa arquitetura, exposta no sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte, região central do Brasil. Esta unidade sobrepõe a seqüência de capa carbonática do Grupo Araras, depositada após a glaciação global do final do Criogeniano (635 Ma). A análise de fácies e estratigráfica de afloramentos de Formação Raizama, permitiu a identificação de uma sucessão de 570 m de espessura distribuídas em 3 membros, compostos por diversos ciclos de raseamento ascendentes representativo de um sistema costeiro-marinho. Os ciclos são tipicamente menores que 10 metros e, algumas vezes, decamétricos, geralmente com tendências granocrescentes e espessamento ascendentes dos arenitos (membro inferior) e granodecrescente com adelgaçamento ascendente dos arenitos (membro superior). Esta ciclicidade deposicional resultou da progradação episódica e recorrente de uma região costeira dominada por processos fluviais, de onda, maré e tempestades (membro superior) sobre uma plataforma marinha rasa a moderadamente profunda influenciada por tempestades e localmente por fluxos gravitacionais (membro inferior). O modelo deposicional para este



antigo sistema marinho raso consiste de uma sucessão vertical de fácies na qual pelitos e arenitos finos de costa-afora transicionam verticalmente para arenitos e pelitos costeiros de face litorânea dominados por onda e tempestades, sobrepostos por arenitos, às vezes seixosos, e conglomerados de face litorânea influenciado por onda, maré e processos fluviais. As relações laterais de fácies sugerem que a predominância de tempestade versus maré na geração de estruturas sedimentares é simplesmente uma função da posição paleogeográfica dentro da bacia Alto Paraguai, com maior profundidade direcionada para leste. Depósitos influenciados por maré e tempestites amalgamados com estratificação cruzada *swaley* ocorrem em seções proximais à oeste da bacia, enquanto em seções mais distais a leste exibem apenas a influência de tempestades com a ocorrência da estratificação cruzada *hummocky*. Pelitos com seixos de arenitos dispersos encontrado nos depósitos de costa afora do membro inferior da Formação Raizama, previamente considerados como diamictitos glaciogênicos ligados ao evento Gaskier (580 Ma), são interpretados aqui como fluxos gravitacionais localizados.

*Palavras-chave:* Cráton Amazônico, Grupo Alto Paraguai, Neoproterozóico, Análise de fácies, Depósitos costeiros a marinhos.

## ABSTRACT

*FLUVIAL TO COASTAL PROGRADATIONAL DEPOSITS OF THE RAIZAMA FORMATION, NEOPROTEROZOIC ALTO PARAGUAI GROUP, SOUTHERN AMAZONAS CRATON AND NORTHERN PARAGUAY BELT*

One type of the stratigraphic architecture observed in many foreland basins is basinward pinch out of the siliciclastic units on various scales of depositional cycles. The Ediacaran Raizama Formation of the Alto Paraguay Group, exposed on the southern Amazonas Craton and northern Paraguay belt, Central Brazil, is such an example. This unit overlies the cap carbonate sequence of the Araras Group, deposited after the last Cryogenian global glaciation (635 Ma). Outcrop-based facies and stratigraphic analysis of the Raizama Formation allowed the identification of a 570 m thick succession consisting of several shallowing upward cycles, distributed into three stratigraphic members, representative of a coastal to marine system. The cycles consist of both small-and large-scale thickening, are typically less than 10 m thick but sometimes are decameter-scale, and usually exhibit coarsening and thickening upward (Lower Member) and fining and thinning upward (Upper Member) trends. This depositional cyclicity resulted from episodic and recurrent progradation of a fluvial to tide- and storm-dominated

shoreline (Upper Member) onto a storm-influenced shallow to moderately deep marine platform (Lower Member). The depositional model consists of a vertical facies succession in which storm-dominated offshore marine mudstone and fine sandstone pass transitionally upsection into to wave-and storm-influenced marine shelf and shoreface sandstone and mudstone, overlain by fluvial and tide-dominated pebbly sandstone and conglomerates. Lateral facies relationships show that the dominance of storm- vs. tide-generated sedimentary features is simply a function of palaeogeographical position within the basin, with the deepest portion directed eastward. Amalgamated tide and storm deposits with swaley cross bedding occurs in the proximal sections in the western basin, while in the eastern portion of the basin only hummocky cross-stratification indicates the existence of storms dominated deposits. Mudstones with scattered pebble sized sandstone clast found in the Lower Member, previously considered to be glaciogenic diamictites related to Gaskier Event (580 Ma) are interpreted here as local offshore gravitational flux.

**Keywords:** Amazon craton, Alto Paraguai Group, facies analysis, Neoproterozoic, Coastal to marine deposits.

### 3.1.1. INTRODUÇÃO

É crescente o interesse sobre a origem dos depósitos siliciclásticos logo após as seqüências de capas carbonáticas relacionadas à última glaciação do Criogeniano (635 Ma) em diversos crátons do planeta (James *et al.* 2001, Hoffman & Schrag 2002, Allen & Hoffman 2005, Allen & Leather 2006). Além de comporem a fase final de deposição de muitas bacias neoproterozóicas, alcançaram tempos cambrianos, com indícios das primeiras formas de vida, além de representar um controle global ou inter-regional no estilo sedimentar. Esta alternância de ciclos carbonáticos-siliciclásticos requer um controle eustático ou da tectônica regional na sua formação (Sloss 1963). Geralmente, consistem na evolução de plataformas carbonáticas que passam para plataformas siliciclásticas dominadas por maré e/ou onda, sendo uma feição típica do mundo pós-glacial Neoproterozóico (Anderton 1976, Eyles 1988, McKie 1990, Jiang *et al.* 2002, Cozzi *et al.* 2004, Allen & Leather 2006). No Brasil, a unidade basal do Grupo Alto Paraguai, a Formação Raizama, que recobre a seqüência de capa carbonática do Grupo Araras (Nogueira *et al.* 2007) é um exemplo destes depósitos siliciclásticos neoproterozóicos ainda pouco estudados (Figura 1). Previamente interpretados como depósitos fluviais (Almeida 1964a, Alvarenga & Saes 1992, Alvarenga *et al.* 2004, Dantas *et*

al. 2009), a origem costeira a marinha localmente indicada por Nogueira (2004) e Silva Jr. *et al.* (2007) é aqui corroborada para estes depósitos, por meio da investigação faciológica e estratigráfica realizada em duas áreas principais no estado do Mato Grosso, Brasil (Figura 3.1): (1) a região de Glória, Mirassol d'Oeste e Tangará da Serra, no Sul do Cráton Amazônico; e (2) a região que engloba os municípios de Cáceres, Nobres, Diamantino e Planalto da Serra, na Faixa Paraguai. As exposições da Formação Raizama exibem uma assembléia hierarquicamente organizada de ciclos deposicionais métricos e decamétricos com tendência de raseamento ascendente que foram detalhadamente medidas em diversas seções estratigráficas que muitas vezes ultrapassam os 100m de espessura.

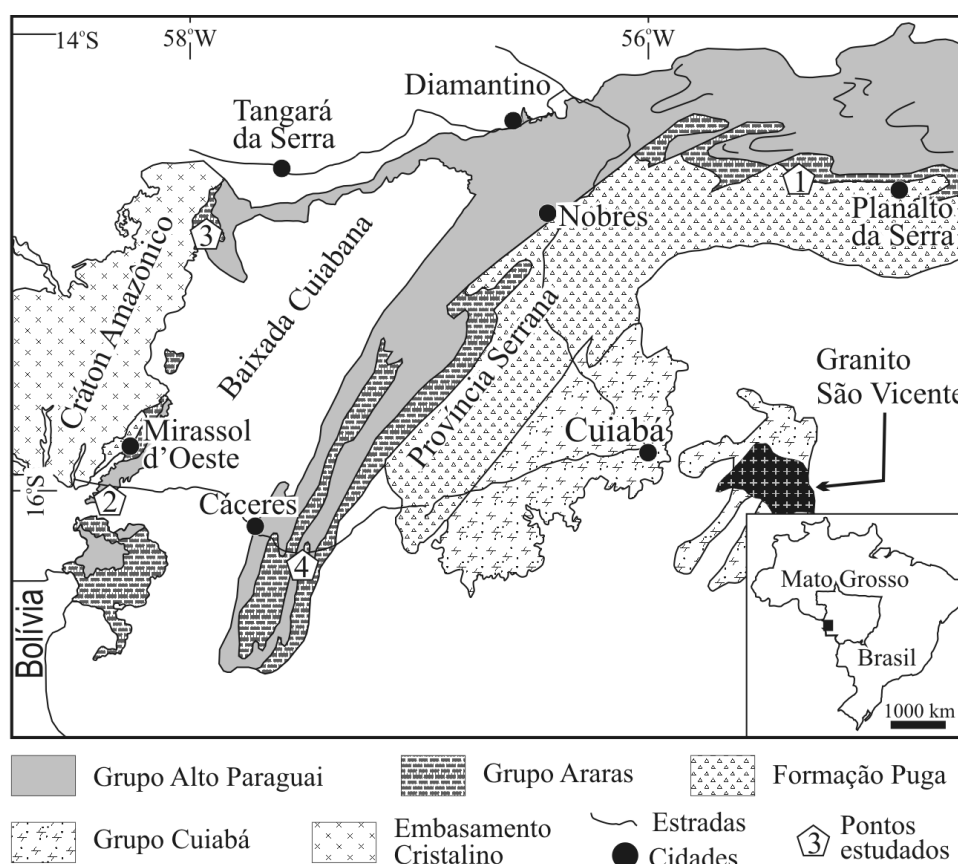


Figura 3. 1: Localização dos pontos estudados ao longo da Faixa Paraguai Norte e borda sul do Cráton Amazônico. Posicionamento estratigráfico das unidades. Localidades: 1 – Serra Azul (próximo do município de Planalto da Serra –  $5^{\circ}53'10''\text{W}/14^{\circ}38'27''\text{S}$ ); 2 – Pedreira Império (próximo ao município Mirassol d'Oeste –  $58^{\circ}9'32''\text{W}/15^{\circ}50'46''\text{S}$ ); 3 – Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra –  $58^{\circ}1'38''\text{W}/14^{\circ}45'53''\text{S}$ ); 4 – BR-070 (Serra do Mangaval –  $57^{\circ}28'48''\text{W}/16^{\circ}14'51''\text{S}$ ).

O principal objetivo deste trabalho foi documentar a sedimentologia e a natureza da ciclicidade deposicional regional da Formação Raizama, bem como demonstrar um esboço de distribuição de fácies na Bacia Alto Paraguai com implicações paleoambientais, paleoclimáticas e paleogeográficas importantes que desfavorece a presença de depósitos

glaciais dentro da unidade. Quatro seções representativas são apresentadas da sucessão de fácies com dados de paleocorrente. Os ciclos deposicionais foram tentativamente correlacionados e uma formalização de membros litoestratigráficos foi estabelecida sugerindo a proposição de Bandeira & Nogueira (submetido). A sucessão vertical de fácies da Formação Raizama reflete a transição de depósitos de costa afora dominados por tempestades para uma sedimentação dominada por processos de maré e fluviais. Esta sucessão indica sucessivos eventos de progradação de uma região costeira sobre uma plataforma marinha nesta parte central do Brasil, durante o Neoproterozóico.

### 3.1.2. O SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO E FAIXA PARAGUAI NORTE

A borda sul do Cráton Amazônico encontra-se limitada pela Faixa Paraguai (Almeida 1964a, 1965a) é recoberta por depósitos sedimentares que datam do Neoproterozóico, Paleozóico e Cenozóico (Barros *et al.* 1982, Almeida 1984, Alvarenga & Saes 1992, Nogueira 2003, Nogueira *et al.* 2003, Nogueira & Riccomini 2006). As rochas sedimentares carbonáticas e siliciclásticas apresentam-se distribuídas descontinuamente, margeando as partes sul (Glória, Mirassol d'Oeste) e sudeste (região de Tangará da Serra) do Cráton Amazônico, com mergulhos sub-horizontais sobre rochas cristalinas, principalmente granitos, gnaisses e rochas metassedimentares do Grupo Aguapeí (Almeida 1984, Alvarenga & Saes 1992, Nogueira *et al.* 2003, 2007). Na região da Faixa Paraguai (Cáceres-Nobres-Diamantino-Planalto da Serra) as rochas apresentam-se dobradas e falhadas, muitas vezes apresentando mergulhos subverticais. Os diamictitos glaciogênicos da Formação Puga recobrem não só as rochas do embasamento como também as rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá, a unidade sedimentar mais antiga que ocorre na Faixa Paraguai (Figura 3.1 e 3.2). A extensão dos depósitos Puga ultrapassa 500 km, sendo correlatos à glaciação global do final do Criogeniano, de 635 Ma, contemporâneo as formações Ghaub na Namíbia, Elatina na Austrália, Grupo Nafun, em Omã, entre outras (Nogueira *et al.* 2003, 2007, Alvarenga *et al.* 2004, Allen & Hoffman 2005, Halverson *et al.* 2007). Os carbonatos do Grupo Araras recobrem bruscamente os diamictitos, guardando o registro de mudanças das condições climáticas glaciais para as de efeito estufa, no contexto da hipótese de *Snowball Earth* (Hoffman & Schrag 2002, Nogueira *et al.* 2003). Somente as unidades mais basais do Grupo Araras, as formações Mirassol d'Oeste e Guia, estão representadas na região de Glória, Mirassol d'Oeste e Tangará da Serra, sendo que unidades mais superiores, as formações Serra

do Quilombo e Nobres (dolomitos e arenitos dolomíticos), são comumente encontradas nos domínios da Faixa Paraguai (Nogueira & Riccomini 2006).

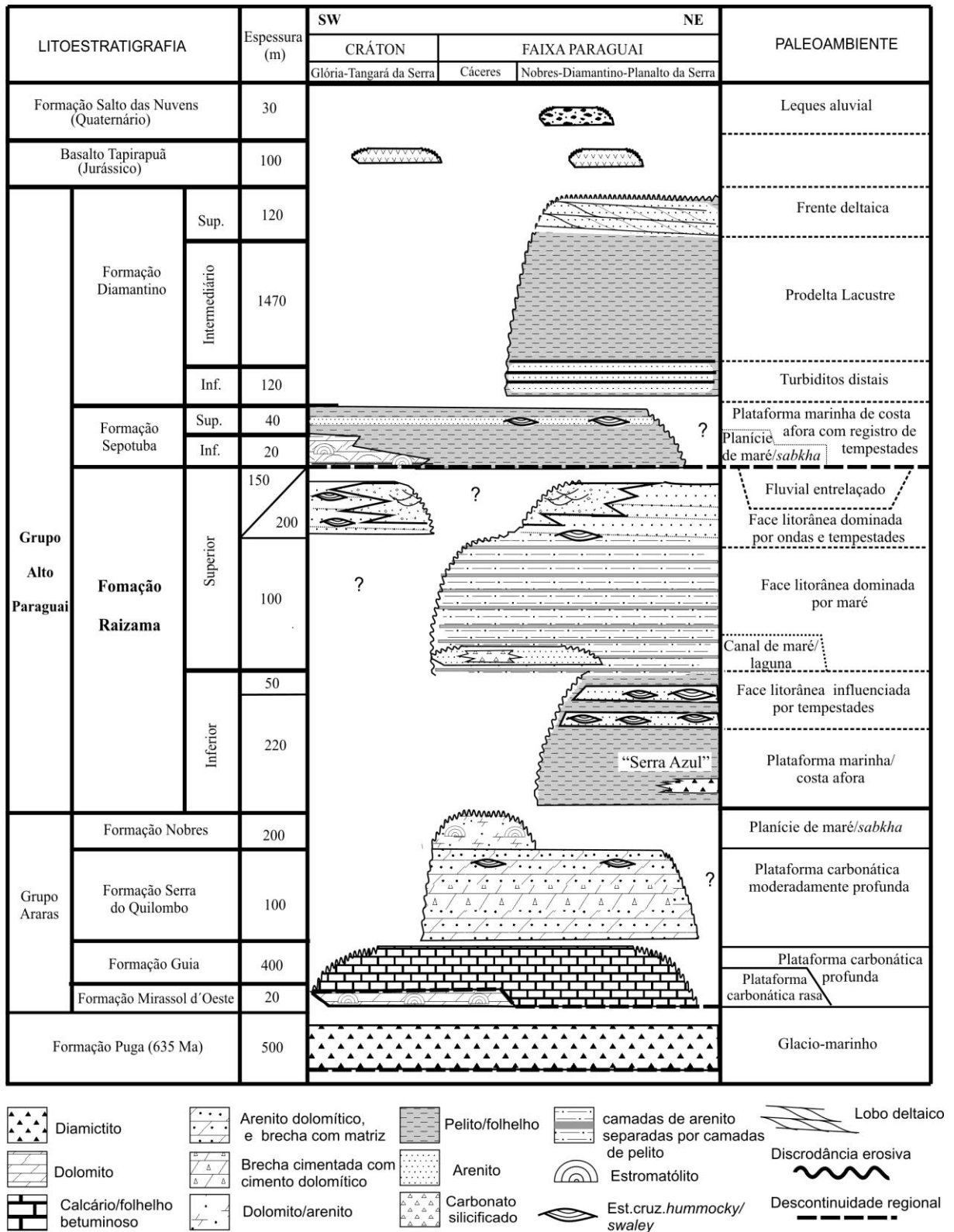


Figura 3.2: Subdivisão litoestratigráfica da sucessão neoproterozóica aflorante no Sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte (Bandeira & Nogueira, submetido).

A Formação Raizama do Grupo Alto Paraguai, objeto deste estudo, teve como primeira denominação o termo “*Rizama sandstone*” (arenito Raizama), proposto por Evans (1894) para os arenitos feldspáticos da Província Serrana. Posteriormente estes arenitos foram englobados dentro das rochas do “Alto Paraguai”, termo criado por Oliveira & Leonardos (1943) e adotado por Almeida (1964a), considerando-o como grupo; este recobriria em discordância as rochas carbonáticas do Grupo Araras, subdividindo-o, da base para o topo nas formações Raizama (arenitos ortoquartzíticos e siltitos e folhelhos subordinados), Sepotuba (folhelhos argilosos e siltitos, arenitos e calcários subordinados) e Diamantino (arcóseos, siltitos e folhelhos com calcários subordinados). Este grupo passou por diversas propostas estratigráficas que incluíram novos nomes e categorias hierárquicas, porém a proposta original de Almeida (1964a, 1965a) foi mantida nos trabalhos mais recentes. A sucessão estudada da Formação Raizama consiste em 3 membros litoestratigráficos definidos por Bandeira & Nogueira (submetido) (Figura 3.2). O membro inferior ocorre na porção oriental da Faixa Paraguai desde a região de Nobres-Planalto da Serra e refere-se a folhelhos e arenitos finos, localmente com diamictitos interpretados como depósitos de plataforma marinha. Este membro tem sido descrito como “Formação Serra Azul”, considerada como registro do evento de glaciação Gaskier de 580 Ma (Alvarenga *et al.* 2007). A gênese glaciogênica deste membro ainda não está completamente estabelecida e neste trabalho foi feita uma discussão sobre seu processo de sedimentação.

A unidade de topo do Grupo Alto Paraguai é a Formação Diamantino, composta por ritmitos vermelhos, arenitos finos e conglomerados relacionados a depósitos de turbiditos, prodelta lacustre e frente deltaica (Figura 3.2). Esta unidade não aflora na região do sudoeste do Cráton Amazônico, sendo restrita à porção oriental da Faixa Paraguai (Almeida 1964a, Barros *et al.* 1982, Silva Jr. *et al.* 2007, Bandeira *et al.* no prelo). A Formação Diamantino representaria o registro do fechamento do Oceano Clymene, preenchendo uma bacia *foredeep* após a fase final de sutura do Gondwana ocidental (Bandeira *et al.* no prelo).

O referencial de idade mínima para as rochas do Grupo Alto Paraguai e Diamantino foram dadas a partir da datação K/Ar e Rb/Sr em 500 Ma do Granito São Vicente, intrusivo no Grupo Cuiabá e SE de Cuiabá (Hasui & Almeida 1970, Almeida & Mantovani 1975) e  $518 \pm 4$  Ma por McGee *et al.* (no prelo). Dados radiométricos com método Rb/Sr de sedimentos argilosos da Formação Sepotuba forneceram idades de  $569 \pm 20$  Ma., previamente interpretada como deposicional por Cordani *et al.* (1978). Posteriormente, esta idade foi admitida como marcadora do evento deformacional Brasileiro que gerou a Faixa Paraguai (Bonhomme *et al.* 1982, Cordani *et al.* 1978). Outra tentativa de se obter a idade do Grupo foi

feita por Cordani *et al.* (1985) em amostras de sedimentos finos da parte superior da Formação Diamantino que forneceu idade de  $660 \pm 60$  Ma. Entretanto, esta medição foi considerada duvidosa devido a alta dispersão dos pontos ao longo da isócrona e da mesma forma a separação entre as formações Sepotuba e Diamantino é dúbia e não se sabe ao certo qual nível foi datado. Estruturas consideradas como icnofósseis foram descritas na Formação Raizama por Zaine (1991) e Zaine & Fairchild (1991, 1992) representados pelos icnogêneros *Planolites*, *Paleophycus* e *Cochlichnus* são atribuídos ao Vendiano e *Lockeia* ao Ordoviciano. A abiogenicidade destas estruturas já tem sido sugerida por Albuquerque (2001) e corroborada por Silva Jr. *et al.* (2007) que admite que os "icnofósseis" são na verdade vários tipos de gretas de ressecamento não sendo referência de idade para o referido grupo.

Os depósitos siliciclásticos do Grupo Alto Paraguai sucederam a deposição carbonática do Grupo Araras e se relacionam diretamente com áreas-fonte associadas aos blocos soerguidos que produziram abundante influxo de terrígenos (Nogueira 2003, Nogueira & Riccomini 2006). Estas áreas soerguidas foram articuladas à colisão de blocos continentais relacionada aos eventos finais do Brasileiro/Pan-Africano (Almeida 1984) de idade eocambriana a ordoviciano (540-490 Ma) e teria ocorrido durante a Orogênese Paraguai (Basei & Brito Neves 1993) ou Pampeana-Araguaia (Tohver *et al.* 2006). Dantas *et al.* (2009) obteve dados de isótopos de Nd da parte superior da Formação Raizama e pelitos da Formação Diamantino, concluindo que o material siliciclástico foi derivado da canibalização de áreas-fonte jovens relacionada ao Arco magmático de Goiás, de idade neoproterozóica, ou rochas da Faixa Brasília. Bandeira *et al.* (no prelo) tem confirmado estas áreas-fonte com base na geocronologia de grãos detríticos de zircão (método do U/Pb por *laser ablation*) que forneceram idades de 600 to 500 Ma, adicionando o retrabalhamento do próprio orógeno Paraguay. Eventos posteriores resultaram na intrusão local de corpos graníticos com idade de cerca de 518 Ma, fornecida pela datação radiométrica do Granito São Vicente (Almeida & Mantovani 1975, McGee *et al.* no prelo).

### 3.1.3. FÁCIES E PALEOAMBIENTE

A análise de fácies e estratigráfica de afloramentos de Formação Raizama, permitiu a identificação de uma sucessão de 570 m de espessura distribuídas em 2 membros, compostos por diversos ciclos de raseamento ascendentes representativo de um sistema costeiro-marinho. Os ciclos são tipicamente menores que 10 m e, algumas vezes, decamétricos, geralmente com tendências granocrescente e de espessamento ascendentes para o membro inferior, e

granodecrescente e de adelgaçamento ascendentes para o membro superior. O modelo deposicional para este antigo sistema marinho raso consiste de uma sucessão vertical de fácies na qual depósitos de plataforma marinha com fluxos gravitacionais localizados transicionam verticalmente para depósitos costeiros de face litorânea dominados por onda e tempestades, sendo sobrepostos por depósitos de face litorânea influenciado por onda, maré e processos fluviais. O membro superior é composto predominantemente por arenitos finos a médios, subarredondados a arredondados, composta por quartzo, feldspato, cimento de sílica e dolomita, este último, presente apenas na região de Glória d'Oeste. São descritos ainda fragmentos de rochas sedimentar e *cutans* de argila de infiltração para amostras distribuídas ao longo da Faixa Paraguai Norte (região de Cáceres e Nobres). Os arenitos desta região são predominantemente, quartzo-arenito e, subordinadamente, subarcósio e dolomitos e localmente sublitarenitos e *chert*, distribuídos entre os depósitos de face litorânea dominada por onda e maré e fluvial entrelaçado (Figura 3.2). Estas rochas são encontradas ao longo da Faixa Paraguai, além de, sublitarenitos e *cherts* encontrados localmente na Serra do Mangaval (Figura 3.2, Ponto 4), relacionados a depósitos de face litorânea dominada por maré.

Em detalhe, 6 associações de fácies foram reconhecidas, compostas por fácies sedimentares distintas (Tabela 3.1). O membro inferior compreende as associações AF1: Plataforma marinha com fluxo gravitacional; e AF2: Face litorânea inferior dominada por tempestade. O membro superior consiste nas associações AF3: Planície costeira (subdividida em depósitos de canal de maré, inframaré/laguna e intermaré/supramaré); AF4: Face litorânea dominada por onda e maré; AF5: Face litorânea superior dominada por ondas e tempestade e a AF6: Fluvial entrelaçado distal. A posição estratigráfica das associações de fácies é mostrada na Figura 3.2.

Tabela 3. 1: Fácies e processos sedimentares da Formação Raizama do Grupo Alto Paraguai.

| Fácies                                             | Estrutura                                                                                                                                                                                                                       | Processos                                                                                                     |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pelito laminado (Pl)                               | Laminação plano-paralela                                                                                                                                                                                                        | Deposição a partir de suspensão.                                                                              |
| Pelito com clastos de arenito fino (Pc).           | Pelito maciço com clastos de arenito disseminado de até 5 cm. Os clastos são predominantemente arredondados e esporadicamente subarredondados. Localmente ocorre laminação incipiente, às vezes, deformada na base dos clastos. | Deposição por fluxo detritos esporádico intercalado por períodos onde predominam processos de suspensão.      |
| Ritmito pelito/arenito com laminação ondulada (Ro) | Laminação plano-paralela, laminação cruzada esporádica, acamamento ondulado formadas por marcas onduladas simétricas e assimétricas com                                                                                         | Deposição a partir de suspensão. Fluxo oscilatório. Ajuste plástico por processos de liquefação e sobrecarga. |



|                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                 | estrutura interna complexa e base erosiva; mergulho unidirecional e bidirecional de lâminas e dessemelhança entre a laminação interna e o contorno externo. Estruturas de sobrecarga, <i>ball-and-pillow</i> , laminação convoluta e acamamento maciço. |                                                                                                                                                                                                                              |
| Ritmito com intercalação de arenito fino a médio com pelito com acamamento wavy e lenticular (Rwl)              | Acamamento flaser, wavy e linsen. Laminação cruzada com <i>mud drapes</i> e padrão bidirecional de paleocorrente.                                                                                                                                       | Alternância de tração e suspensão associada à migração de marcas onduladas por correntes de maré.                                                                                                                            |
| Arenito muito fino a fino, bem arredondado (Ag)                                                                 | Gretas de contração ou de <i>sinérese</i> .                                                                                                                                                                                                             | Exposição subaérea ou desidratação de material coloidal.                                                                                                                                                                     |
| Arenitos finos com laminação ondulada truncada por ondas (Ao)                                                   | Laminação plana a ondulante com padrão <i>pinch-and-swell</i> , passando lateralmente para laminação cruzada. Laminação cruzada interna exibe arranjo interno unidirecional e bidirecional, em <i>chevron</i> . Estruturas de sobrecarga.               | Fluxo oscilatório produzido por ondas de intensidade e duração variável. Ajuste plástico por sobrecarga e liquefação.                                                                                                        |
| Arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc)                                                                  | Laminação cruzada cavalgante supercrítica e/ou subcrítica. Laminação convoluta.                                                                                                                                                                         | Depósitos de tração e suspensão com rápida deposição e abundante influxo de areia por meio da migração de marcas onduladas. Processos de liquefação secundários.                                                             |
| Sílex maciço com grãos de quartzo (Sm)                                                                          | Acamamento maciço                                                                                                                                                                                                                                       | Precipitação de carbonato, posteriormente substituído por sílica.                                                                                                                                                            |
| Arenito fino com estratificação cruzada <i>hummocky</i> intercalados com a fácies PI (Ah)                       | Estratificação cruzada <i>hummocky</i> com comprimento de onda de até 1,5 m..                                                                                                                                                                           | Fluxo combinado predominantemente oscilatório resultante do declínio de tempestades, alternando-se com estágios de deposição por suspensão.                                                                                  |
| Arenitos finos com laminação /estratificação plano-paralela (Ap).                                               | Laminação plano-paralela e quasi-planar.                                                                                                                                                                                                                | Fluxo oscilatório com predominância de fluxo unidirecional ( <i>flat bed</i> ). Regime de fluxo superior .                                                                                                                   |
| Arenito fino a grosso com estratificação cruzada complexa (Acx)                                                 | Estratificação planar a ondulante, estratificação cruzada, acanalada e sigmoidal. Superfícies de reativação. Falhas sinsedimentares e laminação convoluta. Arenito com estratificação cruzada de baixo-ângulo                                           | Deposição por corrente trativas em regime de fluxo superior com rápida desaceleração da energia. Episódios de parada e retomada da deposição. Instabilidades gravitacionais e ajustes plásticos por processos de liquefação. |
| Arenito médio a grosso e conglomerados com arcabouço fechado com seixos de pelitos com geometria de canal (ACc) | Seixos de pelito arredondado e tabulares intraformacionais (intraclastos pelíticos). Acamamento maciço. <i>Gutter cast</i>                                                                                                                              | Retrabalhamento de camadas de pelito previamente depositadas por fluxo canalizado.                                                                                                                                           |
| Arenito fino a médio com estratificação cruzada tangencial/sigmoidal com <i>mud drapes</i> (Ats)                | Estratificação cruzada tengencial a sigmoidal com foresets e limite de sets recobertos por pelitos ( <i>mud drapes</i> ). Superfícies de reativação marcadas por                                                                                        | Migração de forma de leito em resposta ao fluxo dominante de maré. Retrabalhamento da face de avalanche por fluxo subordinado. Deposição por                                                                                 |

|                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                 | marcas onduladas e/ou <i>mud drapes</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | suspensão e fluxo oscilatório durante períodos de águas paradas.                                                                                                                   |
| Arenito finos a médios com grãos bem arredondados e selecionados com estratificação cruzada <i>swaley</i> (As). | Os arenitos formam bancos amalgamados em sucessões de até 10 m de espessura com estratificação cruzada <i>swaley</i> que alcançam comprimentos de até 2 m e 80 cm de amplitude, cujas lâminas internas têm mergulhos que ficam geralmente entre 10° a 15°. Estratificação plano-paralela e localmente estratificação cruzada <i>hummocky</i> . Marcas onduladas simétricas e de cristas retas, mostrando por vezes um padrão de interferência, ocorrem no topo dos sets. | Fluxo combinado predominantemente oscilatório de grande intensidade, relacionado ao declínio de tempestade. Fluxo oscilatório com componente unidirecional gerando camadas planas. |
| Arenito/conglomerado com estratificação cruzada acanalada (Aa)                                                  | Estratificações cruzadas acanalada. Estruturas de escape de águas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Deposição por migração de formas de leito 3D sob fluxo unidirecional. Instabilidades gravitacionais e processos de liquefação subordinados.                                        |
| Arenito fino a grosso com estratificação cruzada tabular (At)                                                   | Estratificação cruzada tabular. Segregação de granulométrica nos <i>foresets</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Deposição por migração de formas de leito 2D sob fluxo unidirecional.                                                                                                              |
| Arenito com acamamento maciço (Am)                                                                              | Acamamento maciço                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Liquefação, alto influxo de sedimentos e instabilidade por gravidade, rápida deposição.                                                                                            |

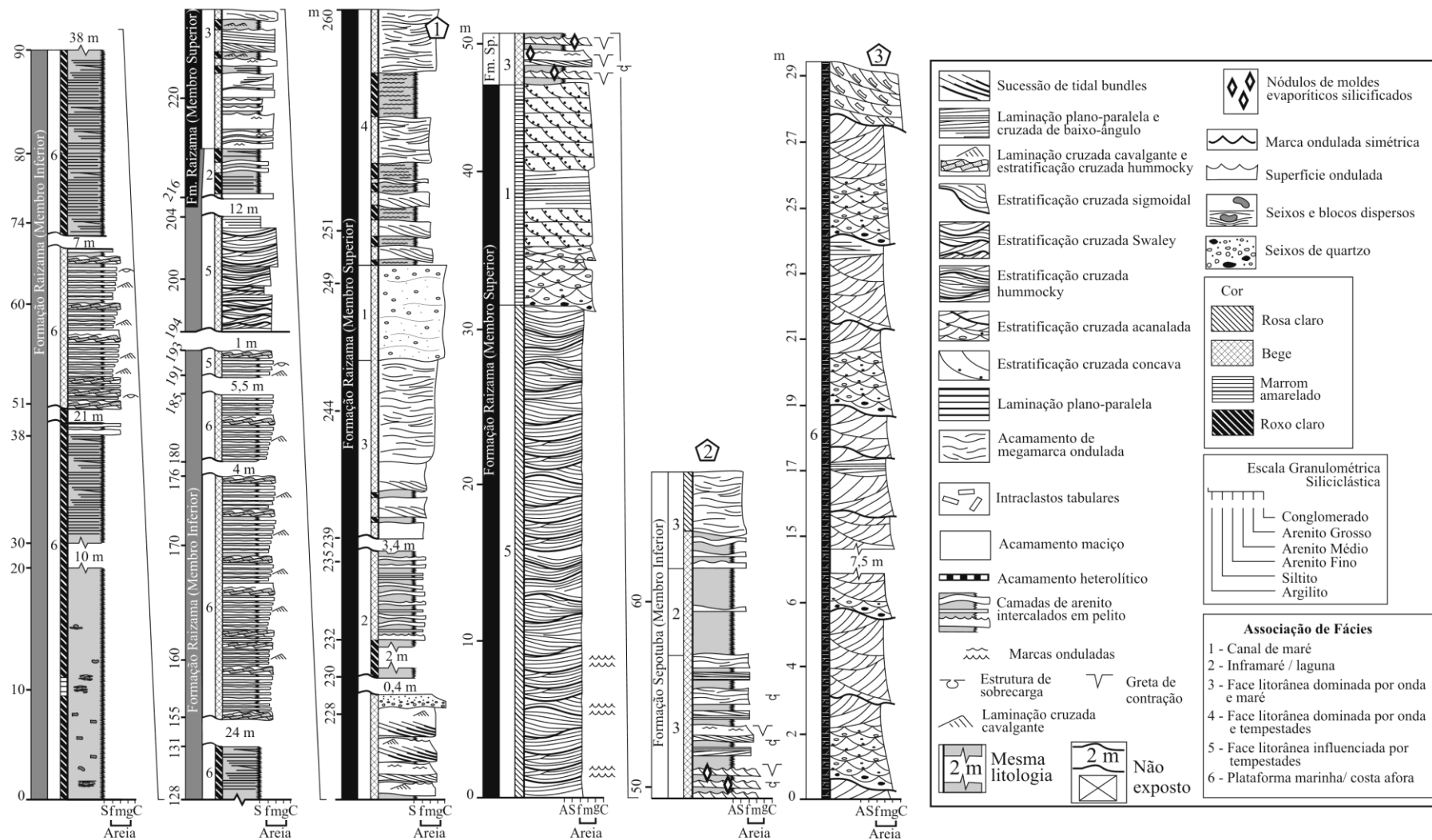


Figura 3.3: Perfis estratigráficos do Grupo Alto Paraguai no sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte. Perfil 1 – Membros inferior e superior da Formação Raizama. Perfil 2 – membro Superior da Formação Raizama e membro inferior da Formação Sepotuba. Perfil 3 – membro superior da Formação Raizama. Localização dos perfis na Figura 3.1.

### 3.1.4. ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES

#### 3.1.4.1. Membro inferior

##### 3.1.4.1.1. AF1: Plataforma marinha

Esta associação é constituída por pelitos laminados (fácies Pl), ritmitos pelito/siltito (fácies Ro) e arenito finos subordinados (fácies Ao), alcançando mais de 100 m de espessura (Figura 3.2, 3.3, 3.4, Tabela 3.1). Os pelitos laminados representam os litotipos de mais baixa energia do membro inferior indicam deposição a partir de suspensão durante condições normais de sedimentação na zona de costa afora (*offshore*) (*cf.* Walker & Plint 1992). A deposição tranqüila indicada pela fácies Pl era interrompida eventualmente por influxos de areia induzidos por fluxos oscilatórios gerados por eventos de tempestades como indicado pelas fácies Ro e Ao. Os arenitos exibem laminação plano-paralela a ondulante com padrão *pinch-and-swell*, gradando lateral a verticalmente para laminação cruzada e de baixo ângulo. Marcas onduladas simétricas e assimétricas compõem acamamento ondulado, este mostrando laminação cruzada cavalgante supercrítica, mergulho unidirecional e bidirecional de lâminas cruzadas, dessemelhança estrutural entre *sets* adjacentes de laminação ondulada, geralmente de base erosiva, e entre a laminação interna e contorno externo (*cf.* De Raaf *et al.* 1977). Durante a desaceleração da tempestades fluxos oscilatórios/combinação são gerados em águas profundas, resultando na deposição de camadas arenosas mais contínuas (Myrow 1992). O declínio deste fluxo de onda causaria o retrabalhamento das camadas, gerando morfologias e estrutura interna complexa das microondulações típicas do fluxo oscilatório/combinação (De Raaf *et al.* 1977, Harms *et al.* 1982, Arnott & Southard 1990, Dumas & Arnott 2006). Embora, estas estruturas possam ser geradas por ondas normais, na sucessão estudada estas geralmente estão associadas a tempestites indicado pela presença de arenitos com estratificação cruzada *hummocky* (fácies Ah; Tabela 3.1, Figura 3.4). Marcas onduladas isoladas (*starved ripples*) com base plana, interpretadas como marcas de correntes, geralmente estão associadas com estruturas de sobrecarga, *ball-and-pillow*, microfalhas e acamamento convoluto indicando deformação pós-deposicional com predominância de processos de liquefação e sobrecarga.



Figura 3.4: Depósitos do membro inferior da Formação Raizama. A) Ritmito pelito/arenito com laminação quase - planar e de baixo-ângulo produzido por ondas (AF1). B) Estratificação cruzada *hummocky* individualizada por pelitos laminados da (AF2).

Pelito maciço com clastos de arenito disseminados ( fácies Pc) na base do membro inferior (Figura 3.5) tem sido descritos como a unidade A da Formação Serra Azul de Alvarenga *et al.* (2007) e Figueiredo *et al.* (2008) considerados o registro da glaciação Gaskier de 580 Ma. Bandeira & Nogueira (submetido) revelaram que a fácies de pelito seixoso não se trata de um diamictito como evidências de ação de processos glaciais. Embora ocorram seixos estriados no arcabouço, muitos clastos são angulosos e as estrias observadas não podem ser consideradas como diagnóstico de ação glacial. Além disso, não foi observada relação lateral com outras associações de fácies indicativas de ambiente glacial. Deformação plástica observada na laminação incipiente associada à base de alguns clastos, interpretados previamente como *dropstones* também não é determinante para a inferência glacial. Bandeira & Nogueira (submetido) observaram que a fácies Pl sobrepõem diamictitos da Formação Puga e essa particularidade pode ter causado erros no empilhamento (Figura 3.5), colocando os diamictitos da Formação Puga como base do membro inferior (inidade A, da Formação



Serra Azul de Alvarenga *et al.* 2007). Outras possibilidades levantadas por Bandeira & Nogueira (submetido) é que os diamictitos com clastos exóticos sejam colúvio ou pedimentos.



Figura 3.5: Aspectos faciológicos da seção-tipo da “Formação Serra Azul” (membro inferior da Formação Raizama), na Serra Azul, leste da Faixa Paraguai Norte. Pelitos laminados e ritmitos com laminação ondulada (A, C), sobrepõem pelitos seixosos foliados (Formação Puga) (B).

A análise desta fácies onde a maioria dos clastos encontra-se em pelitos com acamamento maciço ou com uma incipiente laminação às vezes deformada na base dos clastos sugere uma deposição rápida onde os clastos foram depositados junto com a matriz (fluxos gravitacionais) ou foram jogados numa região onde predominava a deposição por suspensão. Pelitos seixosos consistem de grânulos e seixos, comumente junto com clastos de arenito, envolvidos em uma matriz pelítica deformada ou maciça. Dois mecanismos são sugeridos para este tipo: depósito fluxos de detritos e correntes de turbidez (Crowell 1957 *apud* Posamentier & Walker 2006). O processo de fluxos de detritos é caracterizado pela viscosidade da matriz lamosa que impede a suspensão dos seixos e clastos maiores durante o

transporte. Alguns fluxos de detritos podem deslizar rapidamente em uma camada basal com fluido lubrificante (água do mar) (Mohrig *et al.* 1998), embora seja provável que pelo menos parte da massa em movimento cause erosão do substrato gerando clastos (Posamentier & Kolla 2003) e formando uma reologia complexa. Com o aumento da velocidade de fluxo, há uma tendência de sedimento a ser suspenso na parte frontal do lobo de detritos, bem como nas partes superiores do fluxo. Fluxo de detritos que se move rapidamente pode se transformar parcialmente em correntes de turbidez. Um segundo mecanismo para depositar pelitos seixosos envolve a passagem de uma corrente de turbidez com areia e cascalho sobre um leito lamoso, não compactado e saturado em água. O material grosso do fluído pode ser depositado na superfície do substrato lamacento e então afunda rapidamente na lama não compactada. A mistura seixo-areia-lama pode então fluir por uma curta distância quando se desidrata, misturando os tamanhos de grãos diversos depositando-se como um pelito seixoso, maciço e mal selecionado.

A interpretação dessa fácies como diamictito com seixos pingados advindo de *icebergs* (Alvarenga *et al.* 2007) é muito sintética e pouco analítica. Os pelitos seixosos do membro inferior são muito restritos em comparação com a Formação Puga, reconhecidamente um sistema glacial global, que tem uma extensão de centenas de quilômetros e com diversos ambientes reconhecidamente interpretados como glaciais (Alvarenga & Trompette 1992). Os elementos estratigráficos, faciológicos e de idade sobre esses depósitos ainda são muito incipientes. É necessário um melhor mapeamento desses depósitos para inferir um contexto glacial. Da mesma forma, é sem sentido admitir que somente uma fácies de degelo (pelito com *dropstone*) representaria um evento de glaciação global do final do Neoproterozóico.

#### 3.1.4.1.2. AF2: Face litorânea inferior influenciada por tempestades

Esta associação é constituída pelas fácies de arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* (fácies Ah) e estratificação plano-paralela (Ap) que formam camadas de até 5 m de espessura individualizadas por camadas centimétricas de pelitos da fácies Pl. A ocorrência desta estrutura no registro geológico tem sido atribuída à atuação de ondas de tempestades envolvendo poderosos fluxos combinados e/ou oscilatórios que retrabalham sedimentos depositados desde a zona de intermaré até a plataforma externa (*offshore*), de 200 m de profundidade, onde há maior potencial de preservação (Harms *et al.* 1982, Cheel & Leckie 1993). A granulometria fina desta fácies e, na maioria das vezes, individualizadas por camadas de pelitos laminados relacionados à deposição durante condições de bom tempo

(Figura 3.3, Perfil 1). Fluxos oscilatórios de alta velocidade, em regime de fluxo superior, com predominância da componente unidirecional, gerariam subordinadamente as camadas planas (*flat bed* segundo Duke *et al.* 1991, Swift & Niedoroda 1985). São interpretados como tempestitos distais (*discrete hummocky cross stratified sandstone*, segundo Cheel & Leckie 1993) acumulados na zona de *offshore*.

### 3.1.4.2. Membro superior

#### 3.1.4.2.1. AF3: Planície costeira

A análise de fácies de mais de 80 m do membro superior da Formação Raizama na região de Cáceres, que recobre o Grupo Araras em discordância, permitiu a identificação dos principais litotipos interpretados como depósito de maré (AF3 e AF4). Caracterizam-se por arenitos feldspáticos finos a grossos e, subordinadamente, conglomerados compostos principalmente por grânulos e intraclastos pelíticos, pelitos, sillexitos e ritmitos pelito/arenito. A organização dos conjuntos de fácies reflete ciclos ou parasseqüências que são os *building blocks* da sucessão estratigráfica da Formação Raizama (Figura 3.7). A análise do afloramento lateralmente contínuo por 2,5 km da porção basal do membro superior na Serra do Mangaval, região de Cáceres, permitiu o mapeamento de superfícies-chave (Sd1-Sd9) que limitam ciclos granodecrescentes ascendentes (Figuras 3.6 e 3.7). No geral, as superfícies chaves interpretadas como superfícies de inundação marinha são planares a subplanares de caráter erosivo, sendo extensas por mais de 2 km, truncando as partições pelíticas que destacam individualmente as camadas desta sucessão (Figuras 3.6 e 3.7). Estas superfícies formam depressões de até 2 m, e geralmente são recobertas por camadas de arenito esbranquiçado, sem nenhum conteúdo de argila. Existe uma tendência do conteúdo de argila aumentar para o topo dos ciclos sedimentares quando as fácies apresentam tonalidades avermelhadas, relacionado ao tingimento por óxido e hidróxido de ferro. É comum se observar níveis de intraclastos pelíticos tabulares ao longo da base das camadas ou mesmo acompanhando estratos cruzados (Figura 3.7). A concentração de intraclastos em depressões em forma de U ou V de 10 a 20 cm de profundidade denuncia estruturas tipo *gutter cast* e canalizações (Figura 3.8). O contato entre arenito/conglomerado e pelito geralmente desenvolve estruturas de sobrecarga.



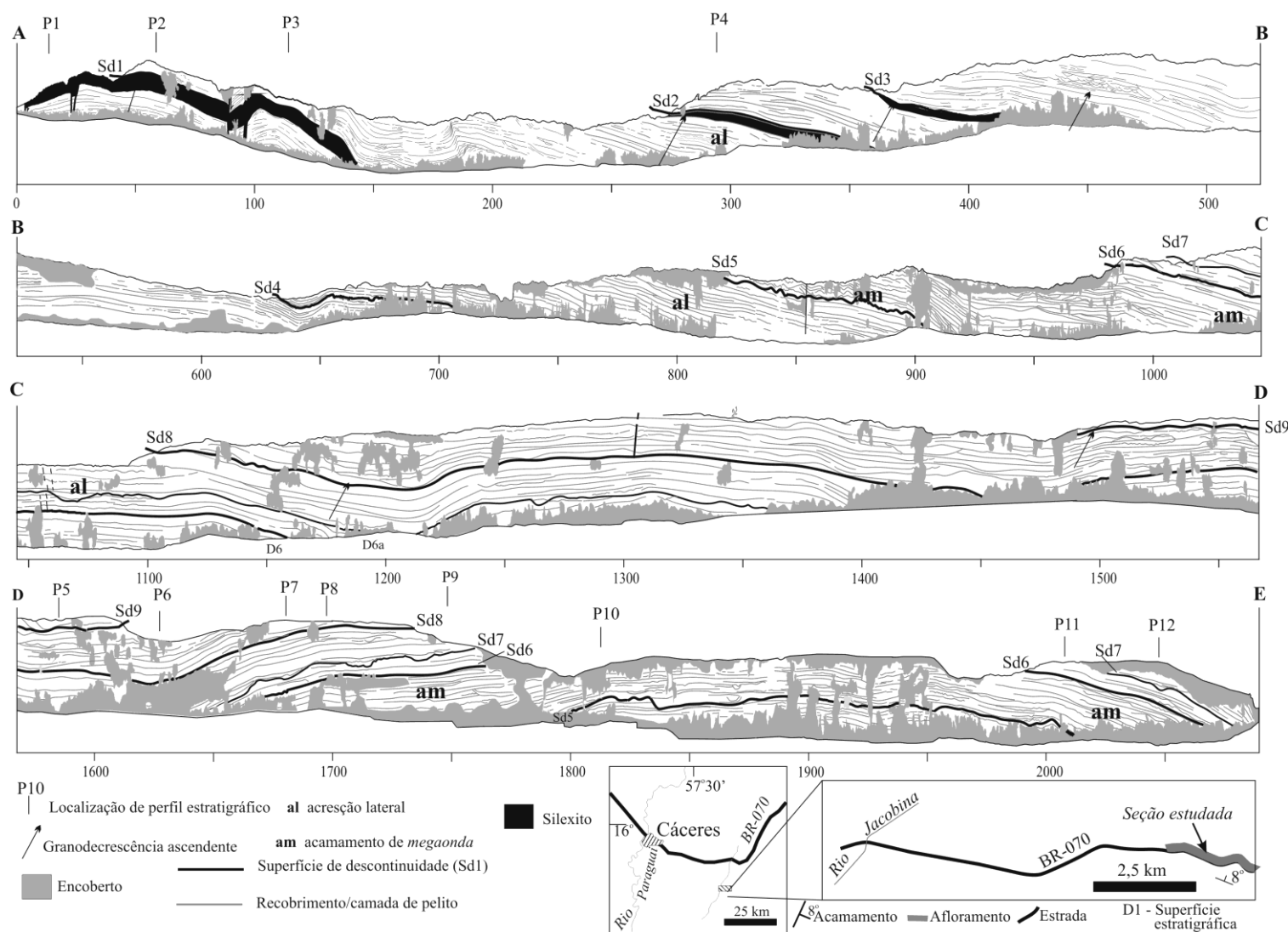


Figura 3.6: Seção estratigráfica da Formação Raizama na Serra do Mangaval, região de Cáceres. Seção obtida através de fotomosaicos. A exposição é a sela de um anticlinal quilométrico, onde as camadas apresentam-se subhorizontais. A principal característica desta sucção são camadas de arenitos lateralmente contínuos por centenas de metros separadas por lâminas ou camadas de pelito. Perfis confeccionados nesta seção estão ilustradas na figura 3.7.

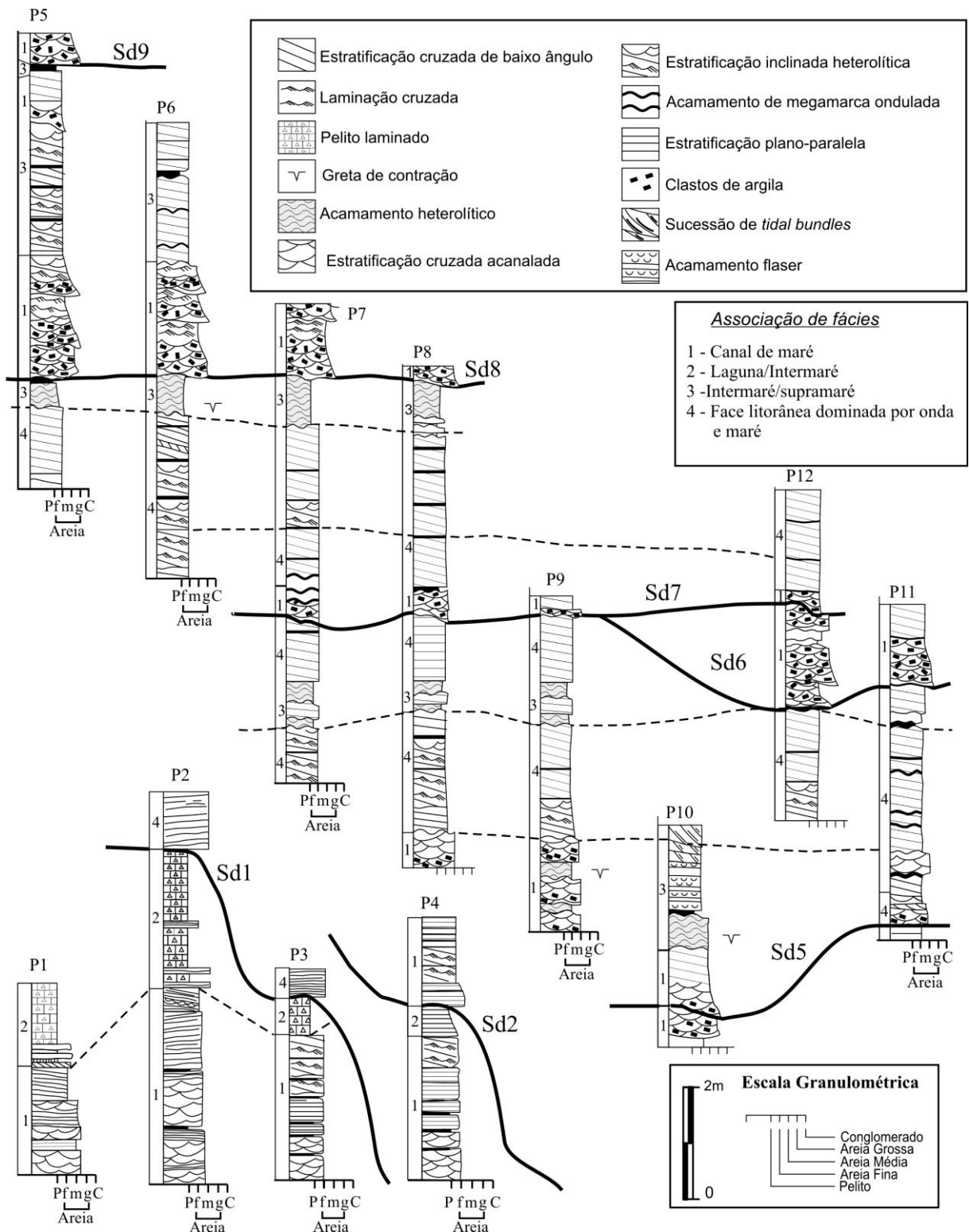


Figura 3.7: Perfis estratigráficos do membro superior da Formação Raizama, Serra do Mangaval, região de Cáceres. Localização dos perfis na Figura 3.2. A AF3 ocorre estratigraficamente abaixo da Sd1, recoberta pelos depósitos da AF4. Abreviaturas, P1= perfil 1, Sd1= superfície de descontinuidade erosiva.

Os depósitos representativos de laguna e leques de lavagem (*washover*) são caracterizados por pacotes métricos de silexito, lateralmente contínuos, interpretados como carbonato substituído, eventualmente intercalados com camadas centimétricas de arenito fino com laminação plano-paralela (Figuras 3.7, 3.9A e B). Os silexitos apresentam-se intensamente fraturados em relação às fácies adjacentes devido a sua natureza mais competente às deformações tectônicas (ver segmento de 0 a 150m da Figura 3.6). Esta associação sugere processos de precipitação química de carbonatos alternados com influxos esporádico de areias (leques de lavagem), advindos da região costeira por processos de tempestades ou marés de sizígia em contexto de um sistema lagunar. Os carbonatos foram posteriormente substituídos por sílica.

Depósitos de canais de maré, interpretados como *tidal inlets*, consistem em arenitos e conglomerados intraformacionais (intraclastos pelíticos – Figura 3.10A e B) com estratificação cruzada acanalada de médio a pequeno porte e estratificação cruzada plano-paralela (Figuras 3.9C, D e 3.10 C e D). Depósitos de *foreshore* são interpretados pela presença de pacotes centimétricos de estratificação cruzada de baixo-ângulo constituída de laminação plano-paralela, laminação cruzada e estratificação cruzada acanalada de pequeno porte (Figura 3.10E). O topo das camadas é geralmente marcado por ondulas simétricas, assimétricas e com padrão de interferência. Estas fácies sugerem a migração lateral de canal principal sobre uma ilha-barreira retrabalhada por processos de fluxo-refluxo gerando praias.

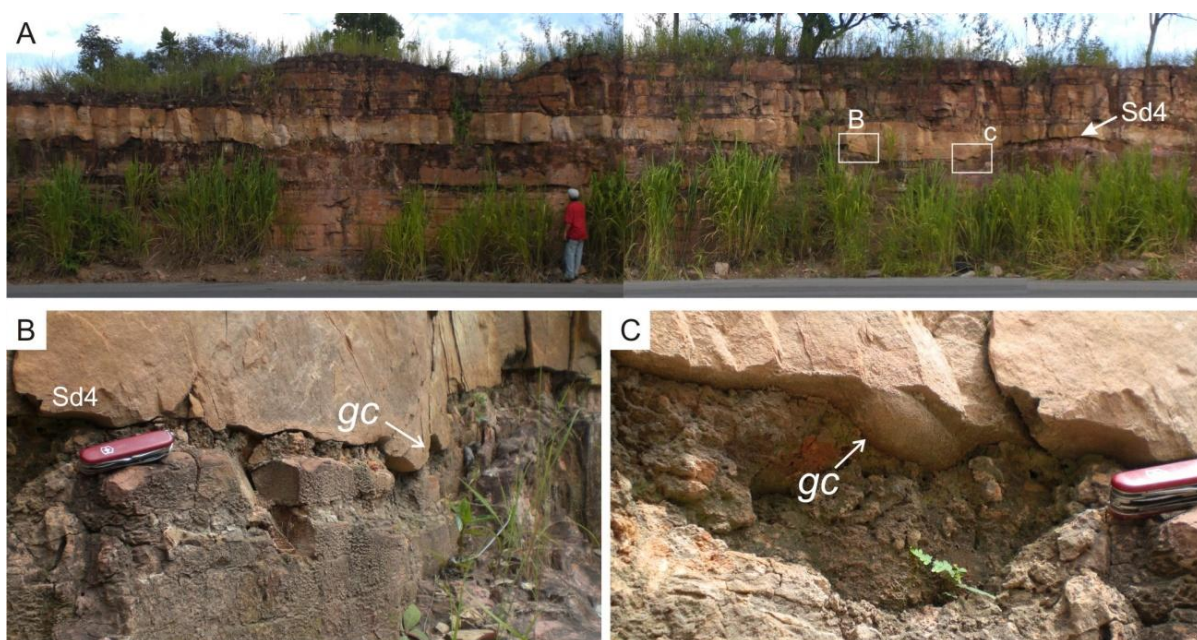


Figura 3.8: Camadas lateralmente contínuas sobre a superfície Sd4. A) Observar a coloração esbranquiçada da camada de arenito logo acima da Sd4. B e C) Estruturas tipo *gutter cast* (gc) na base da Sd4.





Figura 3.9: Depósitos de laguna da AF3, Serra do Mangaval. A) Superfície chave Sd1 é marcada por arenitos esbranquiçados (ver perfís 2 e 3 da figura 3.7). B) Pelitos laminados e arenitos são intercalados nas camadas de silexito, interpretado como leque de lavagem (*washover*). C e D) Estratificação cruzada acanalada.



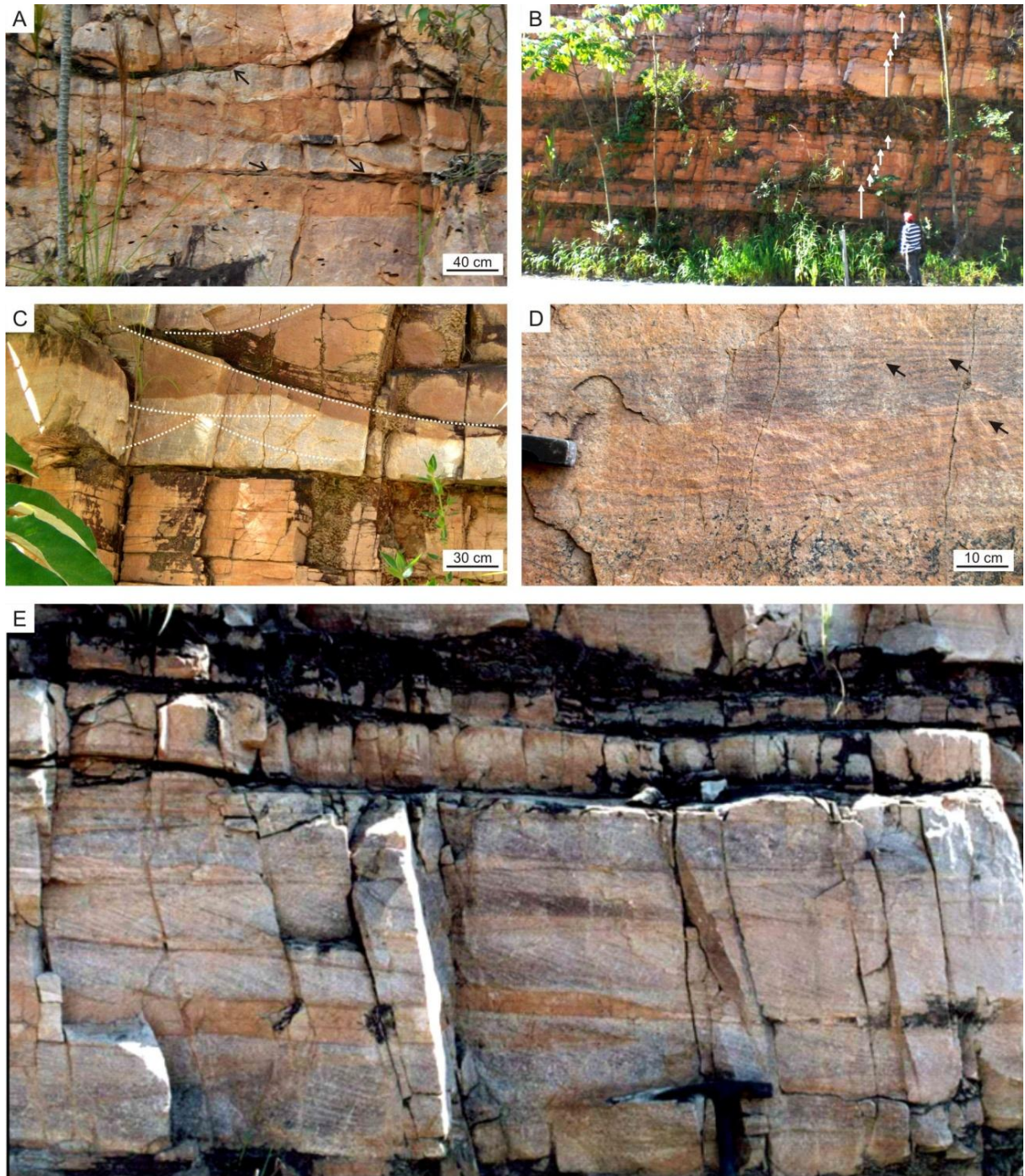


Figura 3.10: Depósitos de canal de maré (*tidal inlet*). Intervalo de 430 m a 460 m da seção mostrada na Figura 3.6. A e B) Ciclos granodecrescentes formados por arenitos/conglomerados com estratificação cruzada acanalada recobrendo superfície erosiva (seta). C) Superfícies de reativação em arenito com estratificação cruzada acanalada. D) Arenitos com laminações plana e cruzada cavalgante, e E) Depósitos de *foreshore*. Alternância de arenito com laminação cruzada e laminação plano-paralela. A espessura dos sets sugere lâmina d'água muito rasa.

#### 3.1.4.2.2. AF4: Face litorânea dominada por onda e maré

A frequência de depósitos de canais e barras de inframaré, caracterizam essa associação, constituída por uma sucessão de camadas tabulares com até 4m de espessura em média, sendo lateralmente contínua por dezenas de metros, composta por arenitos de granulação fina a média, com grãos subarredondados e mal selecionados (Figura 3.7), equivalendo aos ciclos deposicionais de 5 a 9 na seção da Serra do Mangaval (Figuras 3.6 e 3.7). Internamente ou em composições, as camadas de arenito possuem uma variedade de estratificações/laminações planas e cruzadas ( fácies Ap, Acx) (Figuras 3.6 e 3.7). A estratificação plano-paralela (Ap) é a mais freqüente nesta unidade, geralmente forma estratos que apresentam lâminas planares e passam para laminação cruzada de baixo-ângulo ou laminação ondulada, intercalando-se muitas vezes com *cosets* de laminação cruzada ( fácies Acx). As estratificações cruzadas tabulares e mesmo as acanaladas, geralmente de médio a pequeno porte, dispõem-se em camadas de geometria tabular ( fácies At, Aa) (Figura 3.6 e 3.10B). *Foresets* planares, tangenciais e, às vezes, sigmoidais com abundantes superfícies de reativações e planos de pausa são geralmente destacados por recobrimentos argilosos que separam também lâminas finas e espessas de arenito, formando um padrão em pares ( fácies Ats) (Figura 3.11A). A fácies (Ag) ocorre associada ao acamamento heterolítico, e sugere processos de sineresis ou exposição parcial (Figura 3.12). A composição de vários tipos de estratificação associada ao acamamento de megamarca ondulada gera *foresets* complexos ( fácies Acx) (Figuras 3.13A). A forma de leito preservada, geralmente capeada por recobrimento pelítico, cuja inclinação serve de acamamento principal (*master bedding*) formado por vários tipos de estratificações plana e cruzada (Figuras 3.13B e 3.14). Níveis de pelitos arenosos e arenitos finos a médios, grãos subarredondados, bem selecionados, formando camadas tabulares com 1,5 m de espessura, lateralmente contínuos, muitas vezes, compondo acamamento heterolítico são interpretados como depósitos de baía/laguna? ( fácies Rwl) (Figura 3.11B).



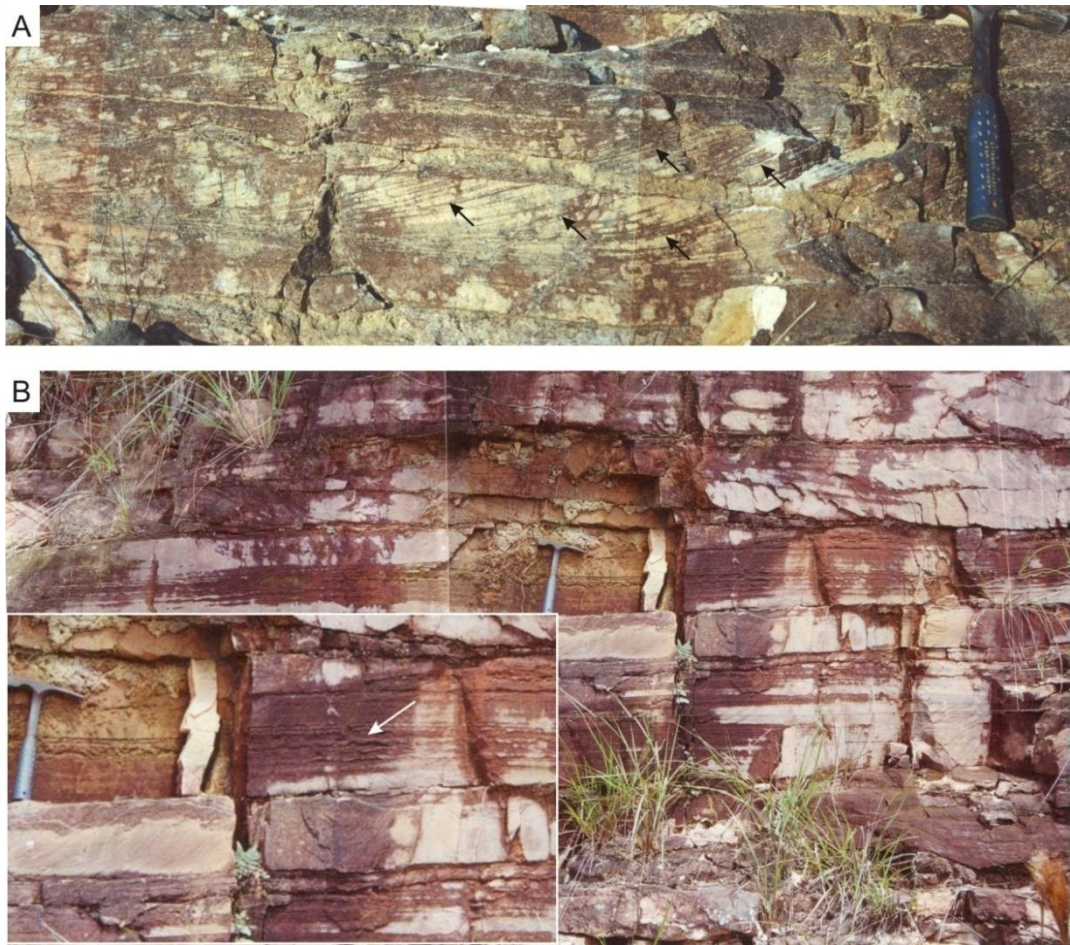


Figura 3.11: Acamamento heterolítico relacionado ao topo da parassequência 8. A) *Tidal bundles*. B) Ritmito pelito/arenito com laminação plana e acamamento wavy.



Figura 3.12: Gretas de contração em pelito ( fácies Ag). Topo de parassequência mostrada no perfil 6 da Figura 3.7.





Figura 3.13: Aspecto faciológico da AF4 no segmento 850 a 880 m da seção mostrada na figura 3.6. Cosets de estratificação cruzada complexos formados por camadas (*master bedding*) que inclinam suavemente para direita. B) Acamamento de megamarca ondulada, onde os corpos de arenito se adelgaçam e se espessam sistematicamente e são separados por camadas/recobrimentos de pelito, preservando a forma original da barra (seta).

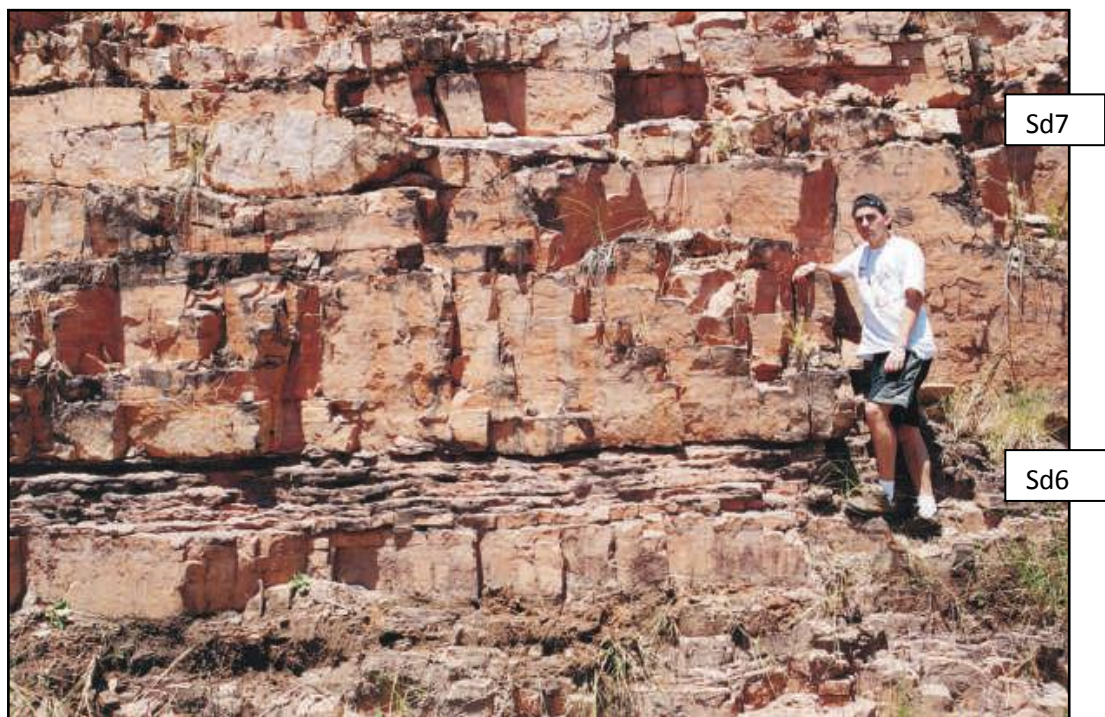


Figura 3.14: Depósitos da AF4. Descontinuidades (Sd6 e Sd7) interpretadas como superfícies de inundação (perfil 9 mostrado na Figura 3.7), com destaque para arenitos tabulares da base de parassequências. Os topos dos ciclos granodecrescentes são marcado por arenitos finos intercalados com pelitos com marcas onduladas.



O padrão em pares dos recobrimentos pelíticos nos *foresets* e superfícies de reativação, fluxos bidirecionais de paleocorrente sugerem deposição no domínio da inframaré/face litorânea (De Raaf & Boersma 1971, Visser 1980, Boersma & Terwindt 1981, Nio & Yang 1991). A recorrência de formas de leitos (barras) preservadas por camadas de pelito coaduna com uma área de sedimentação com muita suspensão e paradas na sedimentação compatível com os processos assimétricos da corrente de maré. Superfícies de reativação e a tendência unidirecional da estratificação cruzada, geralmente para NW, coadunam com uma forte assimetria entre as correntes de maré de vazante e enchente (De Boer *et al.* 1989, Nio & Yang 1991). Baixios arenosos (*shoals*) na porção mais superior da face litorânea são indicados pela presença de vários estilos de marcas e megamarcas onduladas produzidas não só por correntes de maré como por fluxos oscilatório e combinado. Além disso, o desenvolvimento de estratificação plano-paralela com truncamentos de baixo-ângulo sugerem depósitos de praias. Barras complexas formaram-se pela coalescência de *sandwaves* sobre a atuação de correntes de maré e sua estrutura pode ser classificada no tipo IV de Allen (1980), formada por fluxo bidirecional e unidirecionais (Johnson & Baldwin 1996).

A combinação de deposição rápida por correntes de maré alternado com processos de suspensão de águas paradas, bem como a influência de ondas, gera um sistema misto que caracteriza as regiões costeiras de macromaré (Johnson & Baldwin 1996). Neste contexto vários tipos de estratificação cruzada são gerados incluindo formas de leito preservadas e complexas que sugerem sedimentação numa região litorânea de pronunciado fluxo em expansão análoga, em processos, porém não em escala, aos estuários modernos (Dalrymple 1992) e fanerozóicos (Mellere 1994, MacNaughton *et al.* 1997, Prave *et al.* 1996). Embora sejam interpretados canais de maré nesta associação, a base é geralmente plana o que significa uma migração lateral eficiente sobre um substrato. A geometria plana dessas camadas por quilômetros é compatível com uma plataforma de um mar epicontinental ou epírico, comumente encontrada em exemplos do Pré-Cambriano (Anderton 1976, Hiscott *et al.* 1984, Eyles 1988, Bryant & Smith 1990, Johnson & Baldwin 1996).

### 3.1.4.2.3. AF5: Face litorânea dominada por ondas e tempestade

Os afloramentos desta associação na região de estudo são descontínuos lateralmente e grande parte das melhores exposições está relacionada aos arenitos com cimento carbonático, que são explorados na região para a pavimentação de pisos e estradas. A sucessão de fácies apresenta-se localmente modificada por falhas, que por vezes verticalizam o acamamento original. Fraturas, estilólitos e cavidades (*vugs*) preenchidas por calcita e dolomita espática ocorrem próximo a cavernas e podem alcançar desde 2 metros de altura até uma dezena de metros.

Os depósitos da AF5 têm sua melhor exposição nas pedreiras da região de Glória d'Oeste, em especial na Pedreira Império, onde alcançam cerca de 20 m de espessura e nas proximidades da pedreira Calcário Tangará, região de Tangará da Serra (Figura 3.1, Pontos 2 e 3). Destaca-se as exposições da Serra do Tombador em Nobres e a Serra Azul, próximo à Planalto da Serra. As camadas amalgamadas dos depósitos da AF5 não permitiram uma melhor visualização da ciclicidade (Figura 3.3, Associação 5 e 1 do perfil 2; Figura 3.15). Estes arenitos com cimento carbonático foram previamente posicionados nas rochas carbonáticas do Grupo Araras (Barros *et al.* 1982, Alvarenga & Trompette 1992), relação modificada por Silva Jr. *et al.* (2007) que demonstrou que o cimento de dolomita espática dos arenitos é secundário e que estes fazem parte da Formação Raizama. As fácies são arenito fino a médio, bem selecionado, com grãos subarredondados a arredondados, cimentado por carbonato, formando camadas de até 90 cm de espessura, às vezes amalgamadas (Figuras 3.15 e 3.16). Predomina a estratificação cruzada tipo *swaley* (fácies As) (Figura 3.17) e secundariamente *hummocky* (fácies Ah), com comprimento de onda de até 7 m e 1,3 m de amplitude, lateralmente contínuas por dezenas de metros, passando para estratificação e/ou laminação plano-paralela e laminação cruzada de baixo-ângulo (fácies Ap, Ao) (Figura 3.16), geralmente associadas com marcas onduladas assimétricas e, subordinadamente, simétricas, recobertas por *mud drapes* (fácies Ao, Ats). A laminação ondulada exhibe lateralmente espessamento e adelgaçamento sistemático formando um padrão tipo *pinch-and-swell* (fácies Ats) (Figura 3.17). Arenito médio a grosso, com grânulos e grãos subangulosos a arredondados, mal selecionados, exibem estratificação cruzada acanalada de médio porte, com *sets* de até 50 cm de espessura, e camadas lateralmente contínuas por dezenas de metros (fácies Aa).

A estratificação cruzada *swaley* é uma forma de estrutura *hummocky* (Leckie & Walker 1982, Dott Jr & Bourgeois 1983, Walker & Plint 1992, Cheel & Leckie 1993, Yagishita *et al.* 1992), e sugere processos induzidos por ondas de tempestades em ambiente

raso e agitado onde a deposição de lama foi inibida. Além de raramente intercalarem-se com pelitos, os litotipos com estratificação cruzada *swaley* exibem maior granulometria e formam camadas espessas e amalgamadas. Tais características coadunam-se com tempestitos proximais representativos de sedimentação na zona de face litorânea (Duke & Prave 1992, McCrory & Walker 1986, Cheel & Leckie 1993). Fluxos oscilatórios e combinados com componente unidirecional predominante. Estes processos teriam provocado eventos erosivos com a formação de estratificação cruzada *swaley* alternados com períodos mais energéticos com desenvolvimento de laminação plana. A alta incidência desta estrutura tanto na AF2 quanto na AF5, sugere uma área extensa de geração (*fetch*) que favorecia o retrabalhamento do fundo marinho por ondas de tempestades.



Figura 3.15: Geometria das camadas com estratificações cruzadas *swaley* e *hummocky* da AF5. Os corpos de arenito são lateralmente contínuos, cimentados por dolomita e apresentam-se amalgamados. Pedreira Império, região de Glória d'Oeste.





Figura 3.16: Depósitos de face litorânea dominado por tempestades (AF5). Truncamentos de baixo ângulo da estratificação cruzada *hummocky* (Ah). Notar a passagem lateral de cruzada de baixo-ângulo para laminação plano-paralela (direita para esquerda). Pedreira Império, região Glória d'Oeste.



Figura 3.17. Depósitos de face litorânea (AF5). Estratificação cruzada *swaley* (As). Notar espessamento e adelgaçamento lateral das camadas. Pedreira Império, região de Glória d'Oeste.

#### 3.1.4.2.4. Fácies AF6: Fluvial entrelaçado distal

Esta associação de fácies apresenta mais de 100 m de espessura, visualizada na eclusa da hidrelétrica Hochtief em Tangará da Serra, bem como em afloramentos na Região de Nobres. Caracterizam-se por arenitos médios a grossos e conglomerados, com grãos subangulosos a subarredondados. Os conglomerados possuem arcabouço fechado (matriz areia média a grossa), com seixos, às vezes imbricados, são geralmente subangulosos a arredondados, de até 2 cm de diâmetro e consistem de quartzo, sílex e, às vezes, de arenito. Internamente exibem estratificação cruzada acanalada de médio porte (sets de até 90 cm), estratificação plano-paralela e truncamento de baixo-ângulo (Figura 3.3, Perfil 3). Marcas onduladas assimétricas marcam o topo de algumas camadas, que podem alcançar até 1,5 m de espessura. Os limites dos sets encontram-se, algumas vezes, obliterados pela silicificação ou almagamação. Destaca-se a grande tabularidade das camadas, lateralmente contínuas por dezenas de metros (Figura 3.18A). Os dados de paleocorrentes obtidos principalmente do eixo da estratificação cruzada acanalada indicam migração de paleocorrente para SE (Figura 3.18B e C).

Os arenitos com estratificação cruzada acanalada refletem a migração de dunas subaquosas em canais ou sobre formas de leitos de maior porte (Walker & Cant 1984, Miall 1981). Os arenitos com estratificação plano-paralela e truncamento de baixo ângulo foram gerados em nível de energia mais alto, relacionado a correntes unidirecionais em regime de fluxo superior e, localmente, processos de fluxo e refluxo em ambiente de praia. A predominância de camadas lateralmente contínuas por dezenas de metros, mesmo os sets de até 90 cm, de estratificação cruzada acanalada ocorrem em camadas tabulares sem mostrar incisão aparente, sugere que a deposição de areia tenha ocorrido predominantemente sob condições de fluxos não confinados, provavelmente em superfícies planas ou canais rasos e muitos amplos. Fluxos em lençóis, durante estágios de enchente, são processos que poderiam explicar a ausência de superfícies incisivas de canal (Long 1978), entretanto, exemplos semelhantes descritos por Fedo & Cooper (1992) e Röe & Hermansen (1993) demonstram que a ausência destas feições também está relacionada à inexistência de vegetação no Pré-Cambriano. A ausência de vegetação em tempos pré-cambrianos não teria permitido a estabilização das margens de canais (Miall 1981). Esta condição, associada à ausência de espessos depósitos de inundação, uma característica de rios tipo entrelaçado explicaria a tendência altamente migratória dos canais. As evidências discutidas até agora como, a baixa frequência de sedimentos pelíticos, a migração de barras do tipo 2D em canais rasos e amplos de baixa sinuosidade e a proximidade com depósitos litorâneos da AF3, AF4 e AF5 são

consistentes uma planície fluvial entrelaçada distal com migração para SE da área estudada.



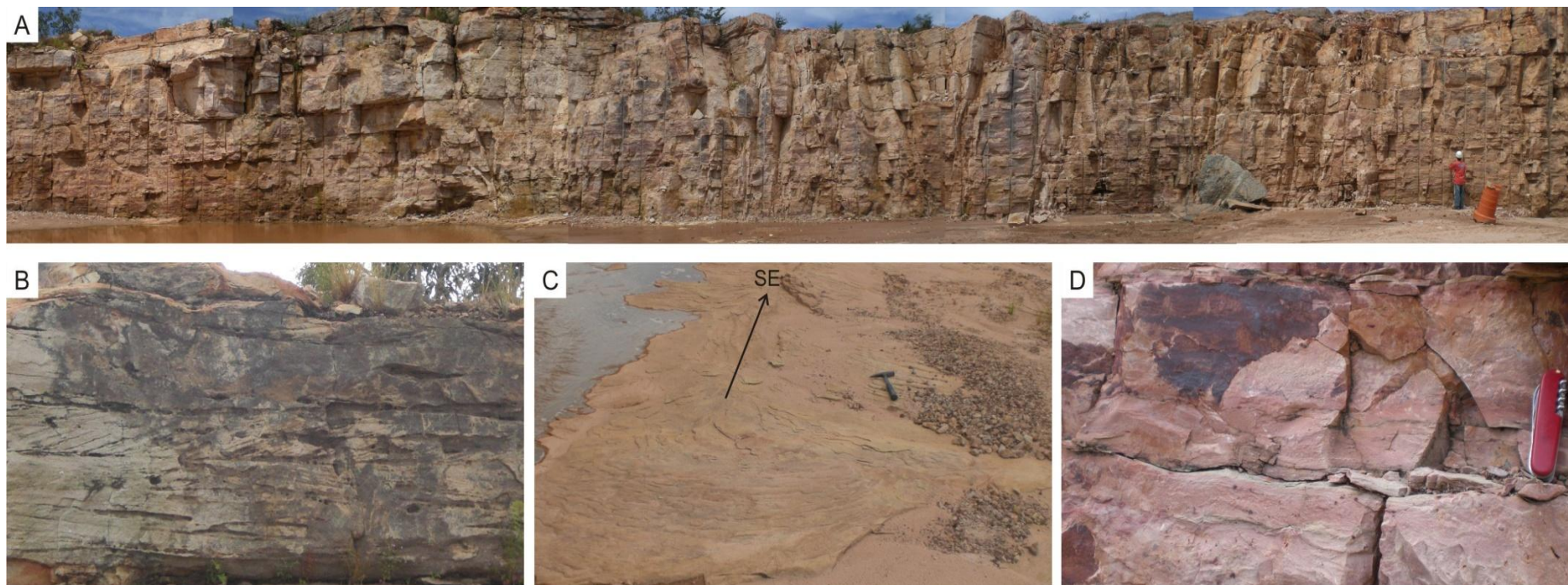


Figura 3.18: Geometria deposicional dos arenitos de topo da Formação Raizama. A) Corpos tabulares, lateralmente contínuos, de arenitos com estratificação cruzada acanalada (Aa). B) Camadas tabulares de arenito com estratificação cruzada acanalada. Granulometria areia grossa com moldes de clastos retrabalhados. C) Estratificação cruzada acanalada em planta com sentido de migração de paleocorrente para SE. D) Marcas onduladas preservadas pela presença de lentes pelíticas.



### 3.1.5. MODELO DEPOSICIONAL

A análise de fácies e estratigráfica de afloramentos de Formação Raizama, permitiu a identificação de uma sucessão de 400 m de espessura distribuídas em 2 membros, compostos por diversos ciclos de raseamento ascendentes representativo de um sistema costeiro-marinho. Os ciclos deposicionais de raseamento ascendentes seja granodecrescente ou granocrescentes resultou da progradação episódica e recorrente de uma região costeira dominada por processos fluviais, de onda, maré e tempestades (membros superior) sobre uma plataforma marinha rasa a moderadamente profunda influenciada por tempestades e localmente por fluxos gravitacionais (membro inferior).

O modelo deposicional para este antigo sistema marinho raso consiste de uma sucessão vertical de fácies na qual pelitos e arenitos finos de costa-afora transicionam verticalmente para arenitos e pelitos costeiros de face litorânea dominados por onda e tempestades, sobrepostos por arenitos, às vezes seixosos, e conglomerados de face litorânea influenciado por onda, maré e processos fluviais. Os pelitos de plataforma marinha (AF1) são relacionados a um intenso intemperismo que afetou as áreas fonte da bacia, onde o material siliciclástico fino foi transportado pelo fluxo fluvial (AF6) até uma planície costeira (AF3) que margeava um litoral influenciado por onda, maré e tempestades (AF4, AF5). As areias fluviais ao chegar à zona litorânea eram distribuídas e retrabalhadas por ondas e correntes de maré.

Condições climáticas glaciais têm sido inferidas para a base do membro inferior relacionado ao período da glaciação Gaskier (*cf* Alvarenga *et al.* 2007, Figueiredo *et al.* 2008). Os pelitos seixosos do membro inferior parecem refletir muito mais processos de fluxo detritos na zona de costa afora não relacionados a uma origem glacial, esta hipótese inferida pelos referidos autores com base apenas na interpretação de uma fácies de degelo (pelito com seixo pingado). A análise petrográfica geral dos arenitos dos membros inferior e superior revelou que os arenitos possuem pouco feldspato e quartzo-arenitos são abundantes em quase todas as fácies até mesmo naquelas interpretadas como depósitos fluviais (AF6), sugerindo um clima úmido tropical. Da mesma forma a ocorrência de estratificações cruzadas *hummocky* e *swaley* comum nas AF1 e AF5 indica que a área foi afetada por tempestades tropicais (Duke *et al.* 1991). A recorrência de clima árido ou semi-árido é registrada na zona de contato da Formação Raizama com as formações Nobres e Sepotuba, onde são descritos depósitos de planície de maré/*sabkha* apresentando estromatólitos, gretas de contração e nódulos de evaporitos silicificados.

Os dados de paleocorrente obtidos dos membros da Formação Raizama coletados principalmente da AF3, AF4 e AF6 sugerem principalmente a influência de correntes de maré e de processos fluviais (Figura 3.19). Os dados de paleocorrentes dos depósitos fluviais entrelaçados (AF6) possuem um padrão unidirecional com fluxo direcionado preferencialmente para sudeste. Um padrão bipolar oblíquo da AF3 com migração preferencial para NW e NE podem indicar fluxos assimétricos de maré na AF3 e AF4. Estes dados sugerem uma ampla planície entrelaçada interagindo com um sistema costeiro com uma costa recortada, onde o material clástico fluvial era dissipado na forma de diversos tipos de formas de leito e barras litorâneas influenciadas por correntes de maré e esporadicamente retrabalhado por tempestades. As fácies influenciadas por maré atestam que a bacia não era confinada e conectava-se com um oceano. Esta plataforma influenciada por maré e onda (AF1, AF2, AF3, AF4 e AF5) teria conexão direta com rios entrelaçados da AF6, formando áreas costeiras com fluxo em expansão, similar aos *tidal braid delta* de Fedo & Cooper (1992), proposto para depósitos cambrianos pré-vegetação.

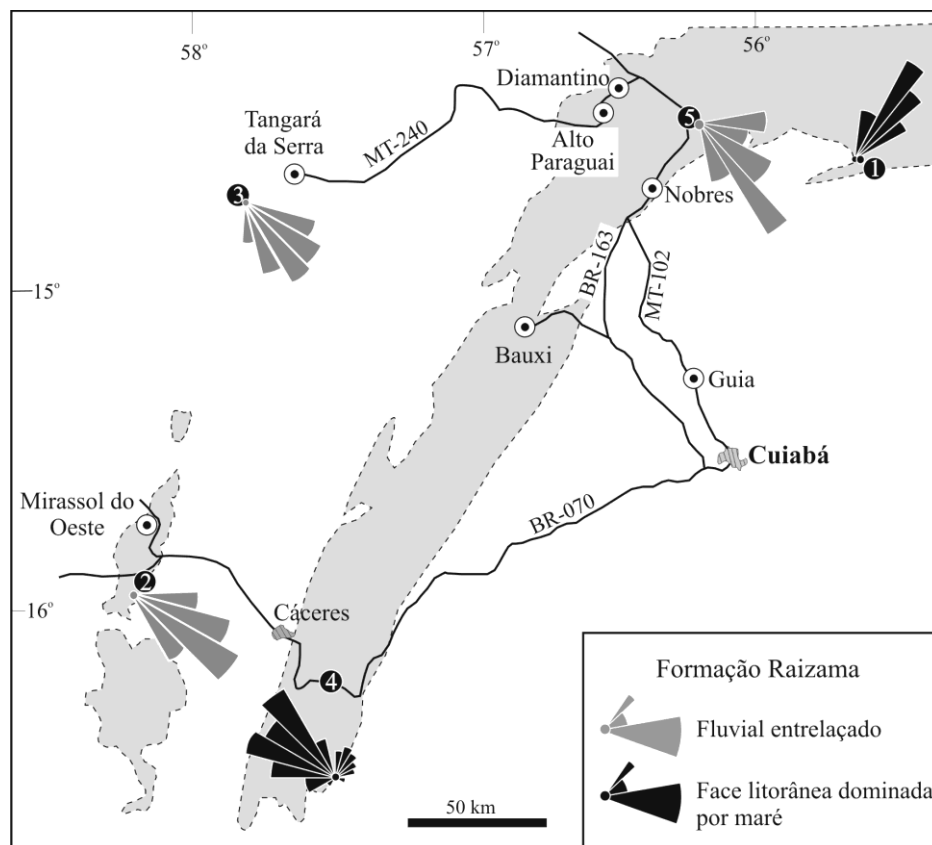


Figura 3.19: Distribuição dos dados de paleocorrentes do membro superior da Formação Raizama. Ponto 1 – Serra Azul (55°30'29"W/14°43'11"S); Ponto 2 – Pedreira Império (próximo ao município de Mirassol d'Oeste – 58°9'32"W/15°50'46"S); Ponto 3 – Hidrelétrica (próximo à Tangará da Serra – 58°1'38"W/14°45'53"S); Ponto 4 – BR -070 (Serra do Mangaval – 57°28'48"W/16°14'51"S); Ponto 5 – BR-163 (Região de Nobres – 56°29'10"W/14°31'96"S).

### 3.1.6. CONCLUSÕES

A Formação Raizama é composta por arenitos e pelitos descritos ao longo da Faixa Paraguai Norte, nas proximidades de Cáceres, Nobres e Planalto da Serra, e sul do Cráton Amazônico, em Glória d'Oeste e Tangará da Serra. A Formação Raizama é dividida em membro inferior e membro superior compostos por 6 associação de fácies. O membro inferior é composto por pelitos com laminação incipiente e clastos dispersos representativos de um depósito de plataforma marinha/costa afora, com raseamento ascendente e intercalação com camadas planares e ondulantes de arenito com laminação cruzada *hummocky* como indicativo de um depósito de face litorânea influenciada por tempestade. O membro superior é composto predominantemente por arenitos e, subordinadamente, pelitos. Apresenta estratificação cruzada acanalada, estratificação cruzada tangencial com recobrimento de pares pelíticos, estratificação cruzada complexa, inseridos em camadas tabulares e lateralmente contínuas recobertas por pelitos laminados, relacionando a depósitos de canal de maré/laguna e face litorânea dominada por maré. São descritos ainda para o membro superior arenitos dispostos em corpos amalgamados e lateralmente contínuos, a predominância de processos de suspensão alternados com influxo esporádicos de areia e a presença de estruturas de onda e tipo *swaley*, são sugestivas de face litorânea dominada por onda e tempestade. O topo do membro superior é composto por corpos tabulares de arenito com estratificação cruzada acanalada e plano-paralela, incluídos em depósito fluvial entrelaçado.

As relações laterais de fácies sugerem que a predominância de tempestade versus maré na geração de estruturas sedimentares é simplesmente uma função da posição paleogeográfica dentro da bacia Alto Paraguai, com maior profundidade direcionada para leste. Depósitos influenciados por maré e tempestitos amalgamados com estratificação cruzada *swaley* ocorrem em seções proximais à oeste da bacia, enquanto em seções mais distais a leste exibem apenas a influência de tempestades com a ocorrência da estratificação cruzada *hummocky*. Pelitos com seixos de arenitos dispersos encontrado nos depósitos de costa afora do membro inferior da Formação Raizama.

## CAPÍTULO 4

---

### **4.1. SEDIMENTOLOGICAL AND PROVENANCE RESPONSE TO CAMBRIAN CLOSURE OF THE CLYMENE OCEAN: THE UPPER ALTO PARAGUAI GROUP, PARAGUAY BELT, BRAZIL**

José Bandeira<sup>1</sup>, Ben McGee<sup>2</sup>, Afonso C. R. Nogueira<sup>1</sup>, Alan S. Collins<sup>2,3</sup>, Ricardo Trindade<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Caixa Postal 1611, CEP 66075-110, Belém-PA, Brazil. jbandeira@ufpa.br ; anogueira@ufpa.br

<sup>2</sup> Tectonics Resources and EXploration (TRaX), School of Earth and Environmental Sciences, The University of Adelaide, S.A. 5005, Australia. alan.collins@adelaide.edu.au ; ben.mcgee@adelaide.edu.au

<sup>3</sup> Departamento de Geofísica, Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia e Geofísica, Rua Matão, 1226, Cidade Universitária, CEP 05508-090, São Paulo-SP, Brazil. rtrindad@iag.usp.br



Contents lists available at ScienceDirect

Gondwana Research

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gr](http://www.elsevier.com/locate/gr)

## Sedimentological and provenance response to Cambrian closure of the Clymene ocean: The upper Alto Paraguai Group, Paraguay belt, Brazil

José Bandeira <sup>a,\*</sup>, Ben McGee <sup>b</sup>, Afonso C.R. Nogueira <sup>a</sup>, Alan S. Collins <sup>b,c</sup>, Ricardo Trindade <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG), Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Caixa Postal 1611, CEP 66075-110, Belém-PA, Brazil

<sup>b</sup> Tectonics Resources and Exploration (TRaX), School of Earth and Environmental Sciences, The University of Adelaide, S.A. 5005, Australia

<sup>c</sup> Departamento de Geofísica, Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia e Geofísica, Rua Matão, 1226, Cidade Universitária, CEP 05508-090, São Paulo-SP, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 20 December 2010

Received in revised form 26 April 2011

Accepted 27 April 2011

Available online xxxx

#### Keywords:

Foreland basin

Provenance

Alto Paraguai Group

Paraguay belt

Neoproterozoic–Cambrian

### ABSTRACT

Final Gondwana amalgamation was marked by the closure of the Neoproterozoic Clymene ocean between the Amazonia craton and central Gondwana. The events which occurred in the last stage of this closure were recorded in the upper Alto Paraguai Group in the foreland of the Paraguay orogen. Outcrop-based facies analysis of the siliciclastic rocks of upper Alto Paraguai Group, composed of the Sepotuba and Diamantino Formations, was carried out in the Diamantino region, within the eastern part of the Barra dos Bugres basin, Mato Grosso state, central-western Brazil. The Sepotuba Formation is composed of sandy shales with planar to wave lamination interbedded with fine-grained sandstone with climbing ripple cross-lamination, planar lamination, swaley cross-stratification and tangential to sigmoidal cross-bedding with mud drapes, related to marine offshore deposits. The lower Diamantino Formation is composed of a monotonous, laterally continuous for hundreds of metres, interbedded siltstone and fine-grained sandstone succession with regular parallel lamination, climbing ripple cross-lamination and ripple-bedding interpreted as distal turbidites. The upper part of this formation consists of fine to medium-grained sandstones with sigmoidal cross-bedding, planar lamination, climbing ripple cross-lamination, symmetrical to asymmetrical and linguoid ripple marks arranged in lobate sand bodies. These facies are interbedded with thick siltstone in coarsening upward large-scale cycles related to a delta system. The Sepotuba Formation characterises the last transgressive deposits of the Paraguay basin representing the final stage of a marine incursion of the Clymene ocean. The progression of orogenesis in the hinterland resulted in the confinement of the Sepotuba sea as a foredeep sub-basin against the edge of the Amazon craton. Turbidites were generated during the deepening of the basin. The successive filling of the basin was associated with progradation of deltaic lobes from the southeast, in a wide lake or a restricted sea that formed after  $541 \pm 7$  Ma. Southeastern to east dominant Neoproterozoic source regions were confirmed by zircon grains that yielded ages around 600 to 540 Ma, that are interpreted to be from granites in the Paraguay orogen. This overall regressive succession recorded in the Alto Paraguai Group represents the filling up of a foredeep basin after the final amalgamation of western Gondwana in the earliest Phanerozoic.

© 2011 International Association for Gondwana Research. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

The amalgamation of Gondwana in the Neoproterozoic–Cambrian was coeval with important environmental changes that involved several episodes of extreme climatic conditions marked by widespread low-latitude glaciations (e.g., Harland, 1964; Hoffman et al., 1998; Evans, 2000; Hoffman and Schrag, 2002; Meert et al., 2011). The same time period saw dramatic biological innovation (Knoll, 2000; Meert and Lieberman, 2008) and the fast migration of tectonic plates, which resulted in a dynamic palaeogeography (Kirschvink et al., 1997; Evans,

1998; Collins and Pisarevsky, 2005; Tohver et al., 2006; Trindade and Macouin, 2007).

Continents in the late Neoproterozoic were relatively small (Australia-sized) and dispersed (e.g. Collins and Pisarevsky, 2005). They only came together through a series of collisions that took more than 150 million years to form the supercontinent Gondwana (Meert and Lieberman, 2008; Pisarevsky et al., 2008). Amongst the last of these Gondwana-forming orogens was the Cambrian collision between Amazonia (and its probable southern extension in the Rio Apa) and the central and western Gondwana Neoproterozoic continents (now found in Africa and eastern South America) along the Paraguay belt in central South America (Tohver et al., 2006, 2010, 2011; Cordani et al., 2010). Palaeomagnetic and geologic data suggest that Amazonia was attached to the Laurentian remnant of Rodinia until late Ediacaran times, whereas the São Francisco–Congo, Kalahari, and the Rio de la Plata continents were separated from each other by the Clymene ocean

\* Corresponding author. Tel.: +55 91 3224 9978.

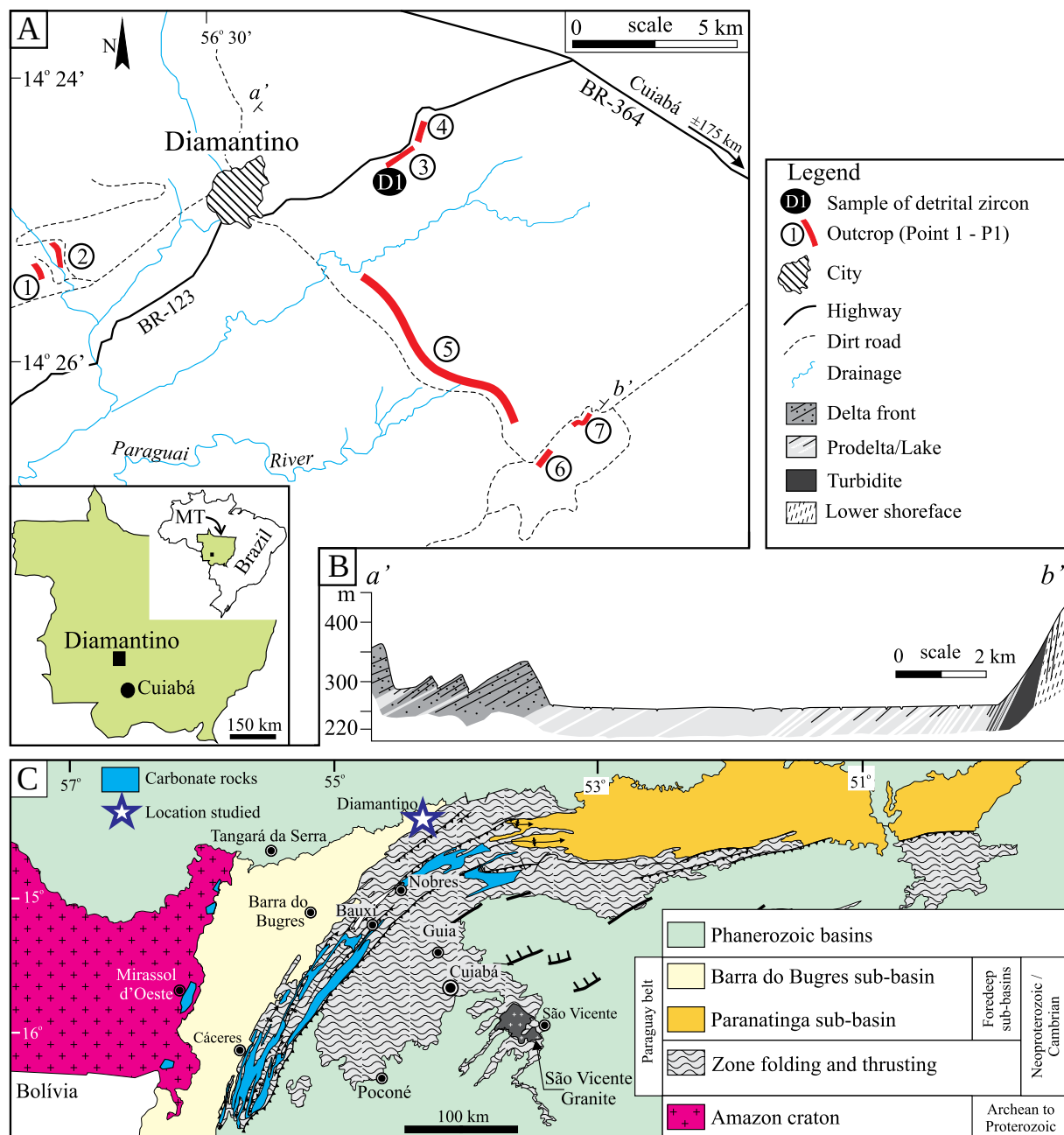
E-mail addresses: [jbandeira@ufpa.br](mailto:jbandeira@ufpa.br) (J. Bandeira), [ben.mcgee@adelaide.edu.au](mailto:ben.mcgee@adelaide.edu.au) (B. McGee), [anogueira@ufpa.br](mailto:anogueira@ufpa.br) (A.C.R. Nogueira), [alan.collins@adelaide.edu.au](mailto:alan.collins@adelaide.edu.au) (A.S. Collins), [rtrindad@iag.usp.br](mailto:rtrindad@iag.usp.br) (R. Trindade).

(Tohver et al., 2006, 2010, 2011; Trindade et al., 2006). The closure of this Neoproterozoic–Cambrian ocean completed the assembly of western Gondwana. This paper looks at the surface response of loading caused by orogenesis in the Paraguay belt, until now, a largely overlooked, but vital component of understanding the timing and geographical evolution of the region.

The Paraguay belt, in central South America, represents an inverted passive-margin to foreland-basin succession, where many of the anomalous events of the Neoproterozoic have been recorded in the Ediacaran carbonates rocks of the Araras Group (Nogueira et al., 2003, 2007; Alvarenga et al., 2008; Dantas et al., 2009). These carbonate rocks are overlain, unconformably, by siliciclastic rocks of the Raizama Formation that are followed by the Sepotuba and Diamantino

Formations here informally grouped together as the upper Alto Paraguai Group (Almeida, 1964; Nogueira et al., 2007).

In one of the few provenance studies that has been conducted in the Paraguay belt, Dantas et al. (2009) obtained Nd isotope data from sedimentary rocks from the upper part of the sequence (Raizama and Diamantino Formations). These workers concluded that these sediments were derived from a young source that may be either related to the Neoproterozoic Goiás Magmatic Arc, or found elsewhere in the Brasília belt. Previous works on these siliciclastic formations concentrated on their lithostratigraphy, with little sedimentological description. In addition, a total lack of age constraints has hindered an appreciation of the evolution of the basin and its link with the development of the adjacent orogen.



**Fig. 1.** Location map of the studied area. A) Area of the Diamantino city and points studied. B) Horizontal profile of the study area. C) Lithological and tectonic structure of the Paraguay Belt, according Alkmim and Martins-Neto (2001).

This study presents detailed stratigraphic and facies analyses of the upper Alto Paraguai Group. This is combined with a U–Pb laser-ablation inductively-coupled-plasma mass-spectrometry (LA-ICPMS) study of zircon grains from the uppermost levels of the Group. These obtained data have allowed us to understand how the depositional system evolved during the closure of the last remnant of the Clymene ocean and by constraining the source area of the basin, we are able to provide important palaeogeographical constraints to the reconstitution of western Gondwana.

## 2. Geological setting

The northern segment of the Paraguay belt developed as a consequence of the convergence and collision of the Amazon craton to the west, the São Francisco craton to the east, and the Paraná (or Paranapanema) block to the south (Fig. 1). Ages of metamorphism and syntectonic plutonism within the core of the Paraguay belt range from ~540 Ma to ~490 Ma (Basei and Brito Neves, 1992; Galdes et al., 2008; Tohver et al., 2010). These estimates of orogenesis are considerably younger than the ~630–570 Ma suggested for many of the other 'Brasiliano' belts in South America (e.g. Trompette, 2000; Cordani et al.,

2009). Thus, the Paraguay belt is regarded as one of the youngest Gondwana-forming orogens in South America. Orogenesis within the core of the orogen is sealed by emplacement of the post-tectonic São Vicente Granite, dated at  $518 \pm 4$  Ma (McGee et al., this volume). This shallow granitic pluton is unequivocally intrusive into the greenschist-facies Cuiabá Group (the oldest exposed unit in the orogen) and provides the minimum age for metamorphism and deformation in the core of the Paraguay belt.

The rocks of the Alto Paraguai Group are distributed along the southeastern border of the Amazonia craton and the northern, frontal parts, of the Paraguay belt (Almeida, 1984). This area can be divided into two domains (Fig. 1), from northwest to southeast: (a) an undeformed to weakly deformed external domain at the margin of the craton, where gently-dipping strata fill two foredeep sub-basins, called the Barra dos Bugres basin and the Paranatinga basin respectively; and (b) an internal fold-and-thrust domain. The study area comprises the external domain, related to the Barra dos Bugres basin, close to the Amazon craton, in the region of the city of Diamantino (Fig. 1).

The oldest rocks in the Paraguay belt are metasedimentary rocks of the Cuiabá Group. These crop out over a vast area in the southern and eastern parts of the orogen. The Cuiabá Group is overlain, or laterally

| Age                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |                         | Lithostratigraphy           |                      |                                                                                                                                                                             |                                                                  |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| PZ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Cambrian ? | <660±60 Ma <sup>1</sup> | Alto Paraguai Group         | Diamantino Formation |                                                                                                                                                                             | Sandstone and mudstone                                           | Delta system and restricted sea     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            | Sepotuba Formation      |                             |                      | Mudstone, shale and sandstone                                                                                                                                               | Storm-dominated platform                                         |                                     |
| NEOPROTEROZOIC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | EDIAN      | <563±20 Ma <sup>2</sup> |                             | Raizama Formation    |                                                                                                                                                                             | Fine-medium grained sandstone, mudstone and silicified carbonate | Storm-and tidal influenced platform |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            | Araras Group            | Nobres Formation            |                      | Sandy dolostone, flat pebble conglomerate, mudstone and sandstone, microbial boundstone (wrinkled and domical stromatolite), silicified carbonate and dolomitized evaporite | Arid tidal flat and sabkha                                       |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |                         | Serra do Quilombo Formation |                      | Fine-grained dolostone, matrix supported-breccia breccia with sparry dolomite and sandy dolostone                                                                           | Shallow and moderately deep platform and slope                   |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |                         | Guia Formation              |                      | Bituminous fine-grained limestone, shale, crystalline limestone rich in cement (cementstone)                                                                                | Anoxic deep platform                                             |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |                         | Mirassol d'Oeste Fm.        |                      | Pink dolostone and microbial boundstone                                                                                                                                     | CaCO <sub>3</sub> - supersaturated deep platform and slope       |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            | Cap. Carbonate          |                             |                      | Moderately deep platform and slope                                                                                                                                          |                                                                  |                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Cryogenian | ~635 Ma                 | Puga Formation              |                      | Diamictite and pebbly siltstone                                                                                                                                             | Glacial marine                                                   |                                     |
| <div><div> bituminous dolostone</div><div> dolostone</div><div> diamictite</div><div> sand dolostone and matrix-supported breccia</div><div> breccia with sparry dolomite cement</div><div> bituminous limestone/shale</div><div> secondary chert</div><div> silicified-dolostone</div><div> dolostone/sandstone</div><div> mudstone</div><div> sandstone</div><div> stromatolite</div></div> <div>PZ - Paleozoic</div> |            |                         |                             |                      |                                                                                                                                                                             |                                                                  |                                     |

Fig. 2. Stratigraphic units of the northern Paraguay belt. The inferred age for Puga Formation is based on a correlation with the global Marinoan glaciation and Rb/Sr ages for Sepotuba and Diamantino formations (1—Cordani et al., 1985; 2—Cordani et al., 1978; Bonhomme et al., 1982) are maximum depositional ages only.





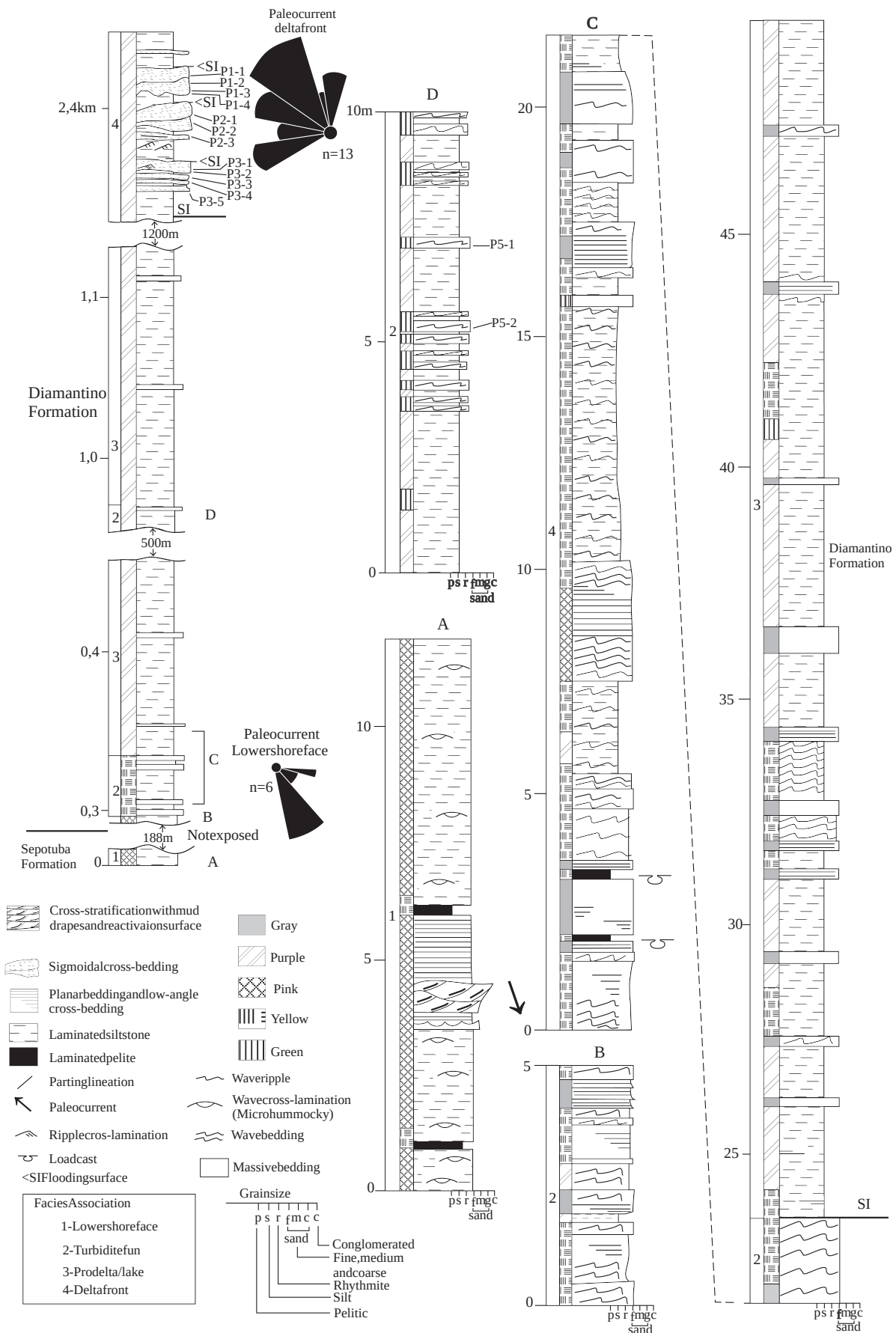


Fig. 4. Representative lithostratigraphic profiles of the siliciclastic deposits of the upper Alto Paraguai Group in the study area.

the palaeocurrent data are supplied mainly from complex cross-stratification of the deltaic lobes. In this area, the upper part of the Sepotuba Formation and the Diamantino Formation is exposed, and both formations can be traced laterally for hundreds of kilometres in the Barra do Bugres basin (Fig. 1). The gradational contact zone between the Sepotuba and Diamantino Formations is marked by a change in colour. The yellowish or beige colour of the Sepotuba Formation passes upwards to purple and reddish rocks that are typical of the Diamantino strata (Fig. 1). A green colour is characteristic of sandstones and siltstone with carbonate cements.

The lower to middle part of the Diamantino Formation is predominantly argillaceous and includes red-coloured siltstone, claystones and fine arkoses forming tabular packages laterally continuous for hundreds of kilometres (Figs. 3 and 4). Marls and limestones, which are generally described in the literature, were not found. The presence of calcite is restricted to the infilling of pores, veins and veinlets. The upper portion of the Diamantino Formation is arenaceous and consists of a thick succession of arkoses interbedded with siltstone and shales. These deposits are organised in large-scale, cyclic packages of sandstone that coarsen and thicken upwards (up to 60 m thick) (Figs. 3 and 4). The top of the Diamantino Formation is an unconformity overlain by the Mesozoic Tapirapuã basalt and Cenozoic alluvial fan deposits of the Salto das Nuvens Formation (Fig. 3).

The lithologic similarities between the Sepotuba and Diamantino Formations have led to difficulties in distinguishing them in the field by lithostratigraphic means alone. In the same way, the thickness given for the Sepotuba Formation (900 m) and the Diamantino Formation (600 m) by Almeida (1964) was incorrect, probably due to difficulties in distinguishing these formations using only lithologic criterion. Although similar, a distinction between these units is possible by detailed analysis of facies. In this paper, we interpret the top of the Sepotuba Formation as representing open marine deposits that were laid down in a shoreface–offshore transition within the Paraguay basin. In contrast, facies within the Diamantino Formation are interpreted as being deposited in a confined sea that evolves into a non-marine delta system that included lacustrine prodelta and deltaic front deposits (Figs. 2, 3 and Table 1).

### 3.1.1. Tidal and wave influenced marine platform

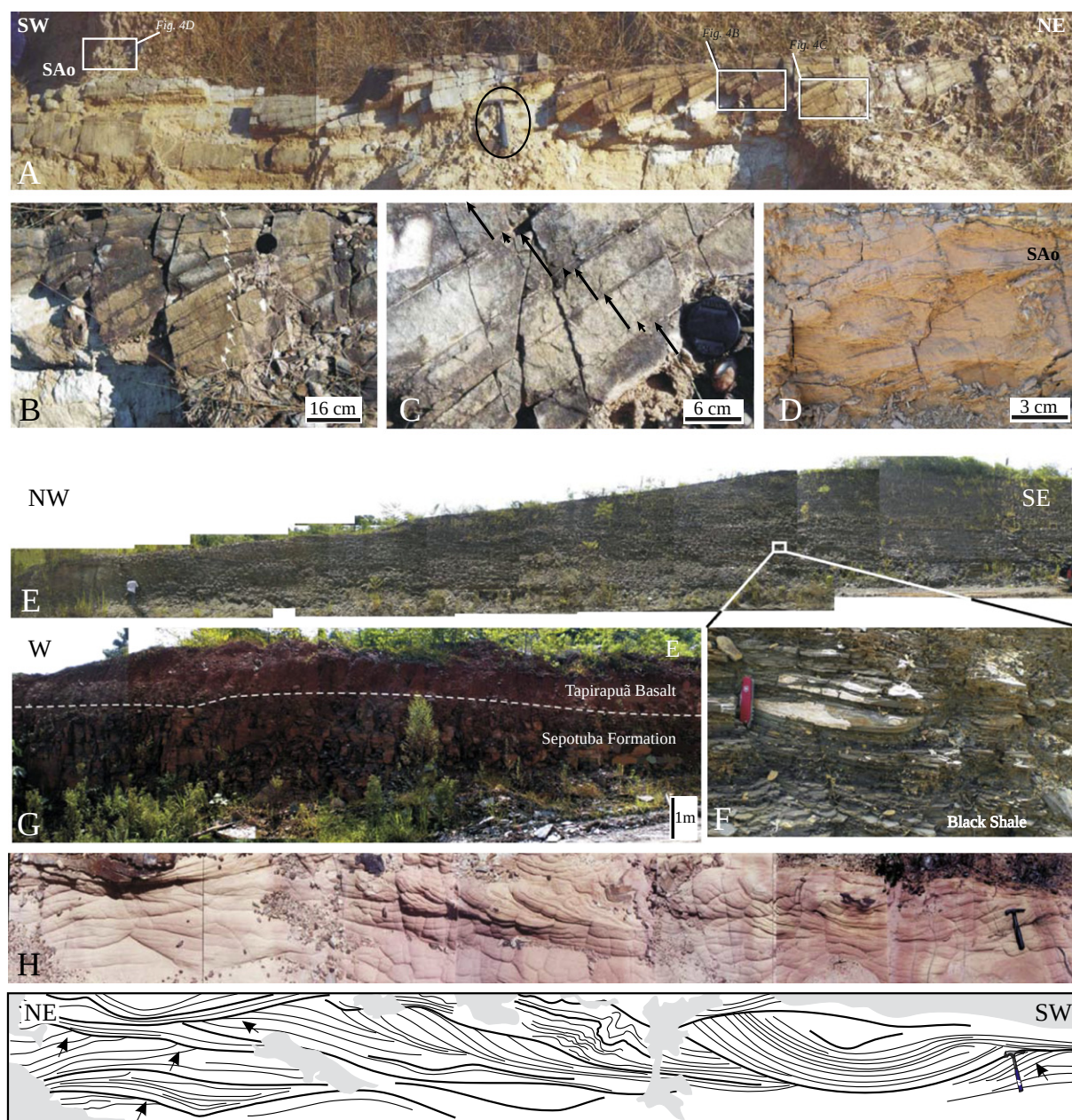
This association occurs at the top of the Sepotuba Formation along the southern Amazon craton and northern Paraguay belt (Fig. 5), over more than 400 km strike-length. This association is characterised by siltstones, pinkish fine-grained sandstones and laminated mudstones. The siltstone and sandstones exhibit wave truncated ripple cross-lamination, supercritical climbing-ripple cross-lamination, and swaley cross-stratification. In the Diamantino region, uncommon levels of fine to medium grained sandstones occur with even parallel bedding and tangential to sigmoidal cross-bedding with mud drapes (Fig. 4-profile A, Figs. 5 and 6). The mud drapes separate thick and thin sandstone lamellae that maintain a remarkably regular sequence of thick sand layer (>6 cm thick), mud drape, thin sand layer (<1 cm thick) mud drape (Fig. 5). There appears to be a cyclicity of approximately 10 layers separated by mud drapes between maximum and minimum thickness sand layers (Fig. 6). Other observed structures are even parallel stratification and symmetrical wave-rippled bed surfaces.

The facies of the Sepotuba Formation are interpreted as tidal and wave influenced platform deposits, sporadically reworked by storm waves (Bandeira et al., 2007). The predominance of laminated mudstones that are laterally continuous for hundreds of metres, the presence of swaley cross-stratification and wave-truncated cross-lamination is compatible with deposits on a distal marine platform that is influenced by both oscillatory and combined flow. The coastal portion of this platform was influenced by tidal currents. These are indicated by the occurrence of sandstones with mud drapes/mud couplets in the sigmoidal foresets that show cyclic thickness variation that are interpreted as being generated as tidal bundles during monthly neap and spring tidal cycles (N and S in Fig. 6). Each couplet records two periods of nearly stagnant water during an ebb-flooding tide cycle (De Boer et al., 1989; Nio and Yang, 1991). The sigmoidal form is suggestive of megaripple migration under high rates of sediment suspension in the subtidal zone. The association with climbing wave-ripple cross-stratified siltstones corroborates this interpretation (Fig. 5D). Oscillatory-flow is indicated by the presence of wave truncated cross-lamination (De Raaf et al., 1977).

**Table 1**  
Summary of facies, sedimentary processes and facies associations of the upper Alto Paraguai Group, Diamantino region.

|            | Facies                                                                | Description                                                                                                                                                                                                                                      | Sedimentary processes                                                                                                                                                           | Facies association                        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Diamantino | Sandstone/siltstone with cross bedding and geometry of sigmoidal lobe | Well sorted, fine-grained sandstone with sigmoidal to tangential cross bedding reflecting the external lobate geometry. Even parallel stratification and abundant reactivation surfaces. Dessication cracks                                      | Deposition by tractive currents that suffers flow desacceleration associated to high taxa of sedimentation under lower and upper regime. Partial subaerial exposure of lobes.   | Deltaic front                             |
|            | Massive to deformed sandstone                                         | Well sorted, fine-grained sandstone with convolute bedding, deformed cross bedding and massive bedding                                                                                                                                           | Soft deformation related to plastic readjustment by fast deposition in water saturated sediments. Liquefaction processes with obliteration of primary structures.               |                                           |
|            | Laminated siltstone/claystone                                         | Mudstone with even parallel lamination                                                                                                                                                                                                           | Deposition by suspension in low energy environment.                                                                                                                             | Prodelta/restricted sea                   |
|            | Siltstone with rippled bedding                                        | Cross lamination and ripple marks                                                                                                                                                                                                                | Migration of small scale bedforms induced by currents.                                                                                                                          |                                           |
|            | Sandstone with even parallel lamination                               | Fine-grained sandstone with even parallel lamination interbedded with siltstone                                                                                                                                                                  | Migration of sandy sheet bar in upper flow regime.                                                                                                                              | Distal turbidites                         |
|            | Sandstone/siltstone with rippled bedding                              | Well sorted, fine-grained sandstone and siltstone with cross lamination and, sometimes, climbing ripple cross lamination.                                                                                                                        | Alternating of deposition by suspension and traction associated to migration of small scale bedforms.                                                                           |                                           |
| Sepotuba   | Laminated sandstone                                                   | Well sorted, fine-grained sandstone with even parallel lamination and abundant parting lineation.                                                                                                                                                | Deposition in upper flow regime ( <i>flat bed</i> ).                                                                                                                            | Tidal and wave influenced marine platform |
|            | Siltstone/mudstone with undulate lamination                           | Wave truncated ripple cross lamination.                                                                                                                                                                                                          | Alternating of deposition by suspension and traction associated to migration of small scale bedforms induced by oscillatory flow.                                               |                                           |
|            | Sandstone with swaley cross stratification                            | Well sorted, fine to medium grained sandstone with swaley cross stratification                                                                                                                                                                   | Migration of bedform induced by combined flow related to action of storm wave.                                                                                                  |                                           |
|            | Sandstone/mudstone with tidal bundles                                 | Well sorted, fine to medium grained sandstone with concave to sigmoidal cross bedding and mud drapes. The foresets exhibit alternance of thick and thin sandy laminae, separated by mud drapes. Reactivation surfaces. Even parallel lamination. | Migration of megaripple in response to the predominant tidal flow. Reworking of steep face of megaripple by subordinated flow. Deposition by suspension related to slack water. |                                           |





**Fig. 5.** Facies of the Sepotuba Formation. A) Tangential and sigmoidal cross-bedding interpreted as a succession of tidal bundles, intercalated with wave-truncated cross-laminated siltstone/sandstone, in the Diamantino region (see Fig. 1A, outcrop 7). B) Details of the asymptotic foreset strata displaying preserved topsets, prominent cyclic banding is indicated with an arrow. C) Bundles (arrow) marked by interbedded pairs of mudstone/siltstone. D) Siltstone/sandstone with wave-truncated cross-lamination. E) and F) Laminated black shale. G) The contact between the Tapirapuã basalt and the fine sandstone/siltstone of Sepotuba Formation. E, F and G are from outcrops exposed in the Tangará da Serra region (see Fig. 1C). H) Sandstone with swaley cross stratification, in the Bauxi region (see Fig. 1C).

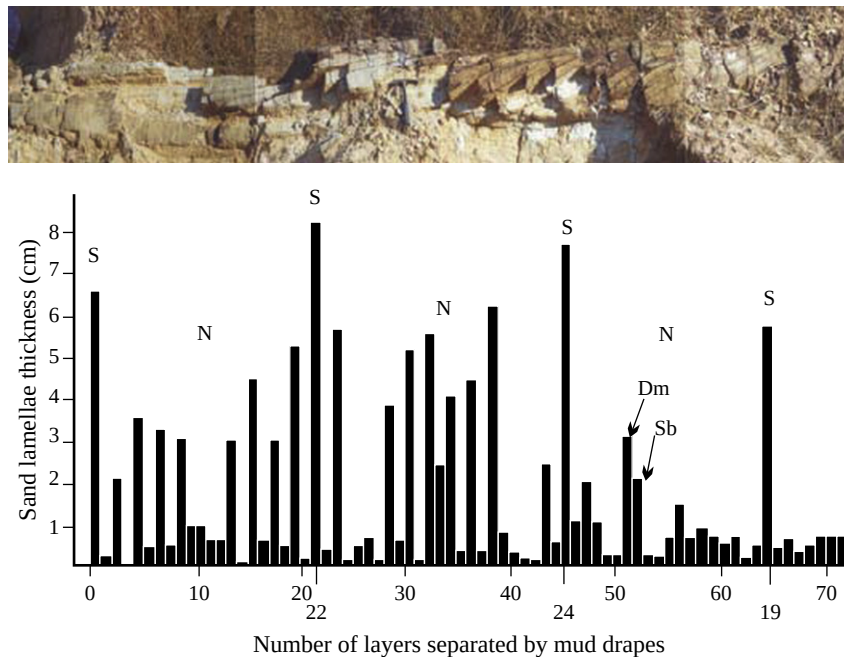
The occurrence of distal platform facies (shales and siltstone) near the present margin (geomorphological) of the basin suggests that the source-areas were distant from the current area of exposure and that the basin originally covered a much more extensive part of the craton. The basin deepens to the southeast, where the Paraguay belt is now sited. The distribution of the Sepotuba Formation supports a model of a widespread siliciclastic platform extending for hundreds of kilometres.

### 3.1.2. Distal turbidite deposits

The turbidite facies are characterised by monotonous, fine-grained sandstones, siltstones and subordinate mudstones, that are laterally continuous for dozens of kilometres. The facies reaches 30 m thickness (profile B of Fig. 4). The most conspicuous sedimentary

structures in this facies are ripple bedding/climbing ripple cross-lamination developed in the sandstones and siltstones. The sandstones also exhibit even parallel lamination, massive bedding, ripple marks, parting lineations and load cast structures (Fig. 7). The lithofacies are organised in fining-up metre-scale cycles (0.5 m to 6 m thick) with the bed thicknesses thickening up the sequence. Each cycle is composed of: 1) Fine-grained sandstone and, subordinate, medium-grained sandstone with graded bedding; 2) even parallel stratified sandstone; 3) fine-grained sandstone with cross-lamination and rippled bedding; 4) sandstone and siltstone with even parallel-lamination and, sometimes, 5) laminated mudstone (Fig. 7).

The lithofacies of lower Diamantino deposits define parts of the classic turbidite Bouma succession (Lowe, 1982; Stow, 1986). But, the basal high energy units of the classic succession are only sporadically



**Fig. 6.** Tangential to sigmoidal crossbedded sandstone with mud drapes interpreted as tidal bundles in the Sepotuba Formation (see Fig. 5A). Below is a diagram indicating the lamellae thickness distribution. Three neap-spring tide cycles are interpreted by the presence of alternating lamellae bundles each consisting of 19, 22 and 24 lamellae respectively. These are interpreted to relate to semi-diurnal tides in Ediacaran–Cambrian times. Abbreviations, N, neap, S, spring, Dm, dominant current, Sb, subordinate current.

developed, defining these rocks as distal turbidites, deposited in low energy environments. The extent of these deposits extends for hundreds of kilometres along strike, and is suggestive of a planar and relatively deep basin that is interpreted as a tectonic lake or restricted sea. The presence of these distal turbidites above the marine platform facies of the Sepotuba Formation is interpreted as indicating the confinement and/or retreat of the Sepotuba sea, with the possible deepening of the sea bed due to tectonic depression. The origin of this turbidite fan is envisioned as being similar to situation in the foreland basin of the Northern Apennines (Lucchi, 1986; Cibin et al., 2004), where turbidity currents were generated by the tectonic instability of the internal margin of foredeep basin generating turbidity currents that traversed to the distal portion of the basin.

### 3.1.3. Prodelta Lake

This facies is characterised by the presence of siltstones that reach up to more than 2 km thick with the best exposure being in the Diamantino region (profile D of Fig. 4). Fine-grained sandstones, classified as sublitharenites, sporadically occur and individual beds reach up to 10 cm thick. These are interbedded with the siltstones that form beds up to 50 cm thick. The siltstones are generally laminated and are interbedded with subordinate mudstone. They occasionally exhibit massive bedding, rippled bedding and climbing ripple cross-lamination (Figs. 4, 8 and 9). These lithologies continue for many tens of metres as a monotonous succession without any coarsening or bed thickening (Figs. 8 and 9).

The progradational turbidity deposits are overlain by the aggradational prodelta deposits in the Barra do Bugres sub-basin. The accommodation space generated during the accumulation of laminated silts must have been significant considering the kilometre-scale thickness of the prodelta deposits (Fig. 4). This aggradational deposition suggests a long stagnation period after the initial phase related to the turbidite deposition. Sporadic fine sand inflows with even parallel lamination suggest intermittent currents in the upper flow regime in this predominantly very low energy environment. These sheet sand bodies can be interpreted as distal mouth-bars connected to an adjacent deltaic front (e.g. Elliot 1986). The migration

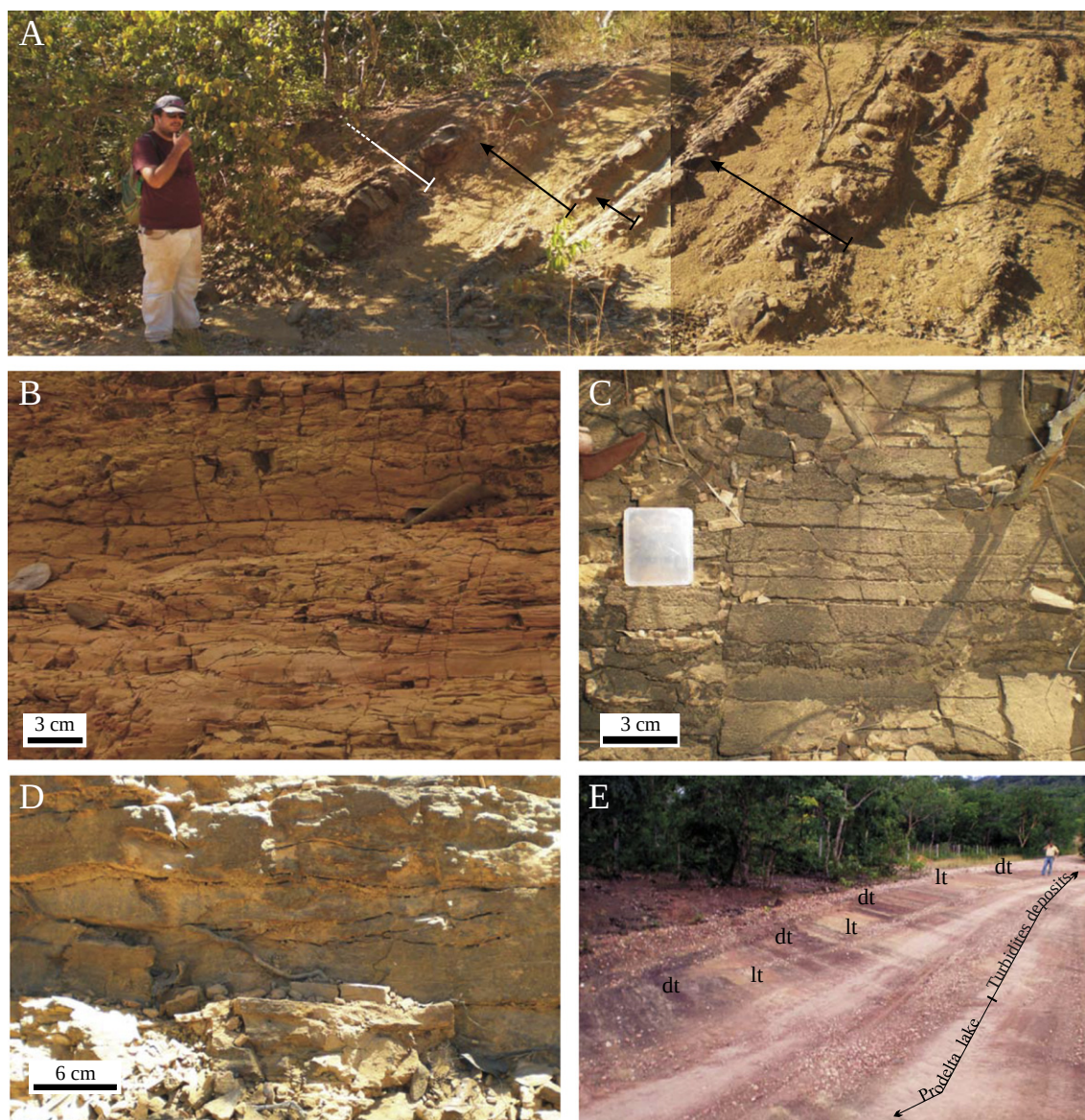
of ripples was influenced by the alternation of traction currents and suspension. No evidence of a marine connection (e.g. tidal deposits) has been found in these deposits and we suggest that they indicate that the Clymene ocean was gradually confined and converted to a restricted sea or lake in which the Diamantino Formation was deposited (Fig. 7E).

### 3.1.4. Delta front

This association is represented by well sorted, fine to medium-grained sandstones with subangular to rounded grains. Compositionally, the sandstones are classified as litharenites and feldspathic litharenites (lithic grains include sandstones, mudstones, chert, volcanic and metamorphic rocks). The sandstones exhibit sigmoidal cross-bedding, massive bedding and even parallel lamination associated with parting lineations (Figs. 4 and 8). Mudstones occur in centimetre-scale beds interbedded with sandstones. The cross-bedded bodies form lenticular or lobate geometries (Fig. 10A). Ripple marks, and sometimes, desiccation cracks mark the top of lobate sand bodies (Fig. 10B and C). The lobes are 2 m thick with a migration sense to the northwest and southeast. They sometimes form amalgamated beds or their sand bodies are separated by mudstones. (Fig. 10D). The interbedded sandstones and mudstones exhibit load casts, flame structures, pseudonodules, dykelets and convolute bedding. The lithotypes are organised in coarsening upward large-scale cycles (up to 60 m). Sandstone bed thickness also increases up section with the thickest, uppermost beds forming the cuesta geomorphology around Diamantino city (Fig. 1C).

The coarsening/thickening upward cycles record the gradual increase of sand content typical of deltaic environments (Coleman and Prior, 1983; Bhattacharya and Walker, 1992; Reading and Collinson, 1996). The presence of deltaic deposits suggests a connection with a fluvial system, whose deposits were not observed in the studied area. We considered that the fluvial flow that supplied the Diamantino delta was the same of the deltaic lobes, predominantly towards the northwest and southwest. The deformed sandstone bodies accumulated under conditions of high sand inflow. Gravitational instabilities developed in these sediments and coupled





**Fig. 7.** Basin floor turbidites. A – Fining upward bed of sandstone to mudstone; B – parallel laminated sandstones; C – sandstones interbedded with low angle cross-stratified siltstones; D – Fine sandstone/siltstone beds with ripple cross-lamination; E – transition between the beige colour turbidite facies (light tones – lt) and the red lacustrine facies (dark tones – dt). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

with high interstitial pressures generated liquefaction structures. These processes are consistent with formation as mouth bar deposits (Coleman and Prior 1988; Reading and Collinson 1996). Tractional flow deceleration with high rate of suspension explains the origin of sigmoidal cross bedding and the lobate geometry (Röe 1987). The amalgamation of these deposits indicates a proximal location to the deltaic front. The occurrence of desiccation cracks in ripple marks and planar beds with parting lineations suggests a very shallow water level or even subaerial exposure, suggesting that by the time these deposits were laid down the accommodation space in the basin had been filled. The delta lobes prograded towards the northwest and southwest, which is interpreted as the basinward direction.

#### 4. U–Pb age provenance analysis

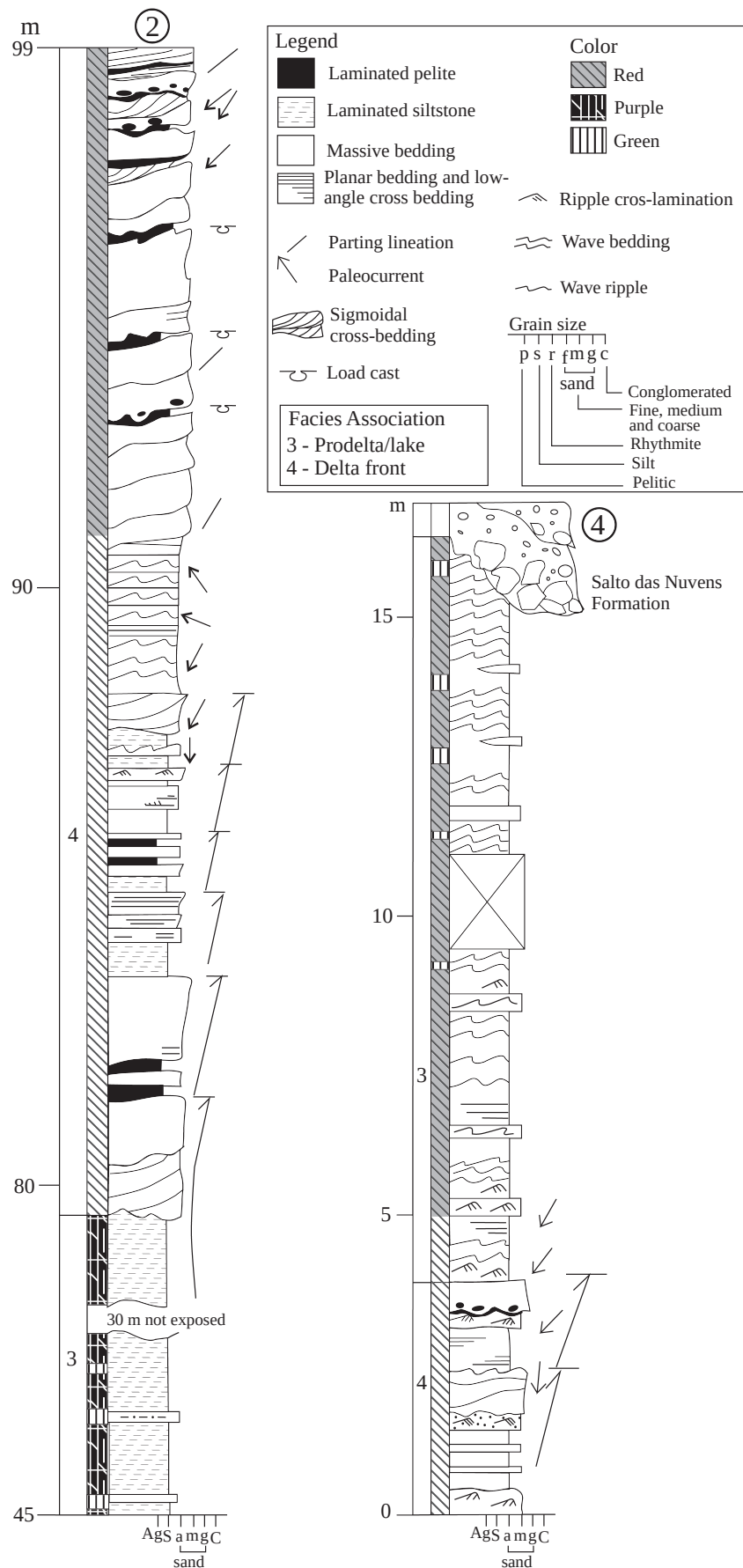
U–Pb ages were obtained on zircons extracted from the delta lobe facies at the top of the Diamantino Formation in Diamantino city (Fig. 1A, D1). The ages were determined using a laser inductively

coupled mass spectrometer (LA ICPMS) housed in Adelaide Microscopy at The University of Adelaide.

#### 4.1. Methodology

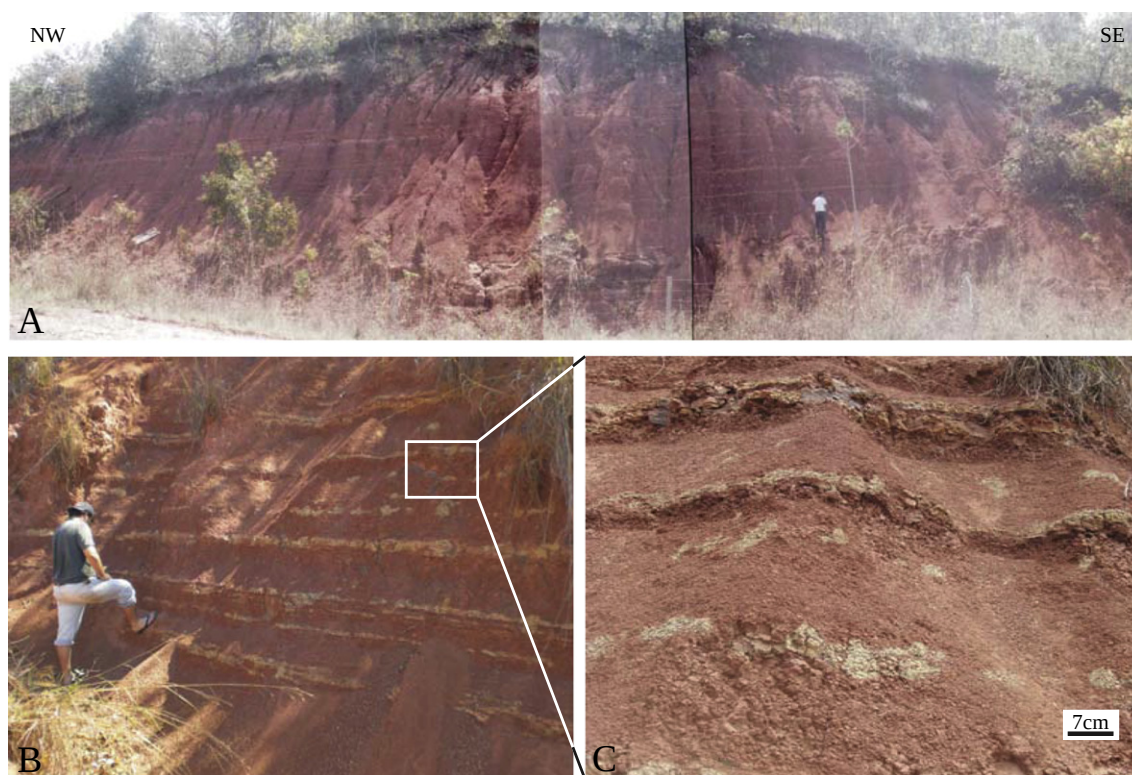
The sample GHP-D1 was prepared for geochronological analysis using the methods described in McGee et al. (this volume).

U–Pb fractionation was corrected using the GEMOC GJ-1 zircon standard (TIMS normalisation data  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 608.3$  Ma,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = 600.7$  Ma and  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} = 602.2$  Ma, (Jackson et al., 2004)) and accuracy was checked using an in-house Sri Lankan zircon standard (BJWP  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = \text{ca.}727$  Ma). Data reduction was performed using GLITTER 4.0 (Van Achterbergh et al., 2001) and calculations were carried out using Isoplot/Ex 3.0 (Ludwig, 2003). The reported average normalised ages for GJ-1 during the course of this study are  $609 \text{ Ma} \pm 18$  ( $2\sigma$ ) Ma (MSWD = 0.43),  $601 \pm 4$  ( $2\sigma$ ) Ma (MSWD = 0.52) and  $603 \pm 4$  ( $2\sigma$ ) Ma (MSWD = 0.56) for the  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  and  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  ratios respectively ( $n=63$ ).



**Fig. 8.** Prodelta and delta front deposits of the Diamantino Formation. Section 2 located to the west and section 4 located to the east of Diamantino city (see Fig. 1A for location).





**Fig. 9.** Prodelta facies. A) Laminated siltstone interbedded with tabular bodies of fine-grained sandstones interpreted as distal mouth-bars. B, C) The green colour (pale tones) of thin sandstone beds characterises the carbonate cements. These beds were previously described as carbonate beds. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

The average normalised  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age for BJWP is  $721 \pm 12$  ( $2\sigma$ ) Ma (MSWD = 0.88;  $n = 12$ ).

## 5. Results

Ages <1000 Ma and >1000 Ma are reported using the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ratios respectively. All errors are quoted at the 2 sigma ( $2\sigma$ ) level and weighted averages are at 95 % confidence. Zircon grains were analysed from a sample of the deltaic lobe facies of the Diamantino Formation (Fig. 1-D1,  $14^{\circ}23'37.84''\text{S}/56^{\circ}24'23.19''\text{W}$ ). Some grains show a well defined zoning, indicating ages of Palaeoproterozoic to Lower Paleozoic (Table S1, supplementary data, and Figs. 11 and 12). Ninety seven LA-ICPMS analyses of 91 grains were collected from this sample (Table 2) targeting moderately- to brightly-luminescent oscillatory-zoned magmatic cores (Fig. 11) and highly luminescent metamorphic rims. The majority of core analyses lie along concordia (Fig. 12A) with 95–105% concordant age analyses ranging from 541 Ma to 1920 Ma (Fig. 12B). A few Palaeoproterozoic zircons range in age from ~2.0 to 1.7 Ga. A lone zircon occurs at ~1.4 Ga and a couple of analyses yielded ages of ~1.2 Ga. But, the main age populations are between 1.1 and 0.9 Ga, at ~800 Ma and then between 700 and 540 Ma (Fig. 12). The youngest <95% concordant analysis yielded a  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of  $541 \pm 7$  Ma (97% conc.). This is interpreted as the maximum depositional age of this sample.

The morphologic characteristic of each zircon grain is directly related to the weathering, transport and diagenetic events that they experienced. The Palaeoproterozoic zircon grains exhibit the largest transport erosion (Fig. 11). In contrast, Neoproterozoic grains preserve prismatic crystals with well defined faces, suggesting a proximal source (Fig. 11).

### 5.1. Palaeoflow determination

Palaeoflow directions were obtained mainly from sigmoidal cross bedding in lobes of deltaic front facies association (Diamantino Formation). Secondly, flute marks, ripple marks and parting lineations were used to confirm the main flow direction. The deltaic lobes indicate migration towards the southwest to northwest, contrasting with the palaeocurrents from the Sepotuba Formation that are south–south–east directed (Figs. 4 and 8). This west-directed delta progradation direction is confirmed by small scale features, such as ripple marks with crests oriented to the southeast, and sometimes, to north, as well as parting lineations with a consistent northeast–southwest trend. Using mainly the deltaic lobes orientation, the source area that supplied the Diamantino delta was located to the east of current northern Paraguay belt.

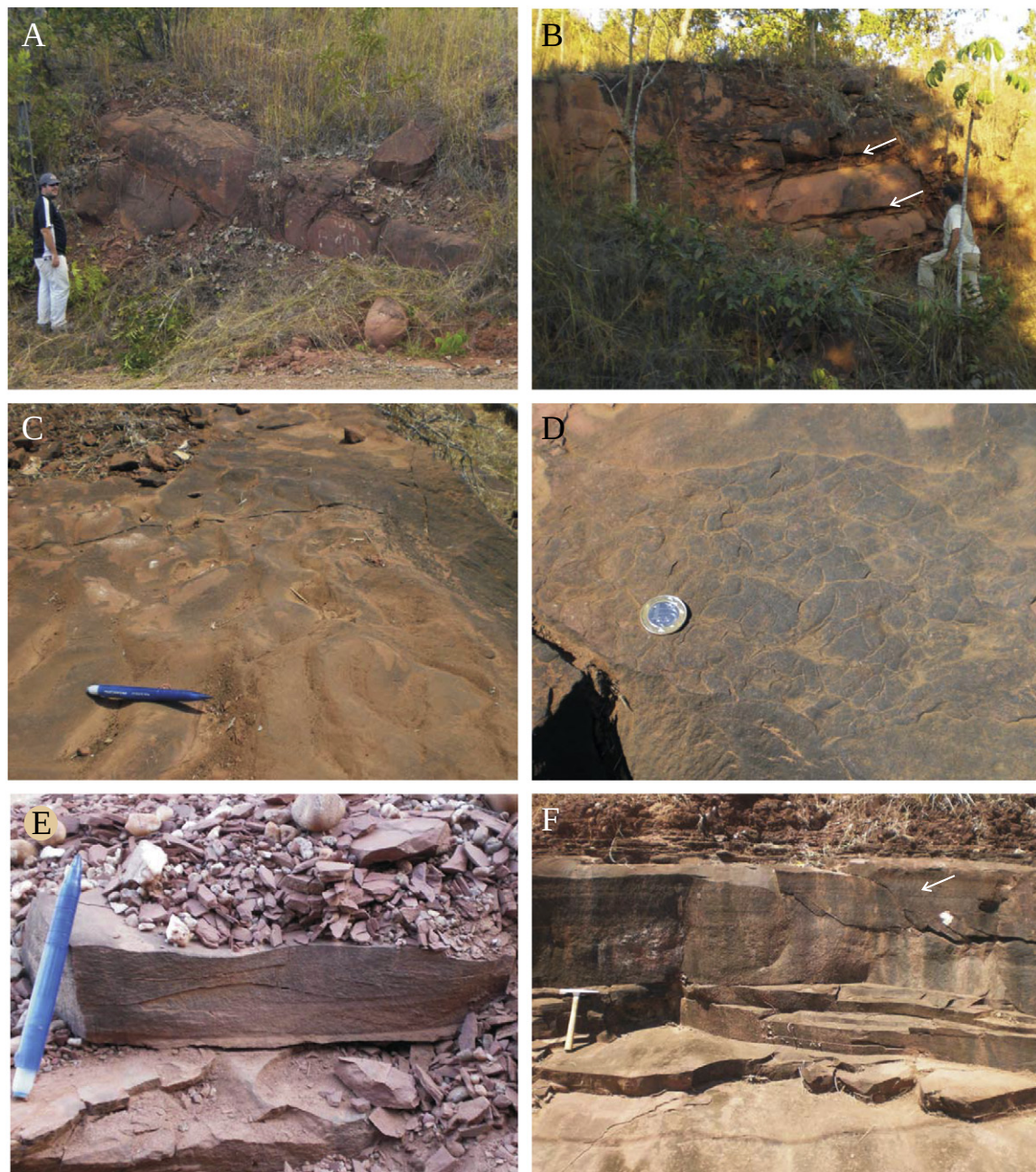
### 5.2. Petrography and tectonic environment

The Diamantino Formation sandstones are feldspathic litharenites, litharenites and sublitharenites, following Folk (1974). The sandstones of the delta front facies are litharenites, and feldspathic litharenites. Distal mouth bars of the prodelta/lake association are classified as sublitharenites. Applying the classification of Dickinson and Suczek (1979), that reflects the tectonic environment, these sandstones are classified as being sourced from a recycled orogen, with a subsidiary contribution from a volcanic arc (Fig. 13, Table 2).

### 5.3. Palaeogeography and potential source region(s)

The source areas that supplied the Diamantino delta in the Barra dos Bugres sub-basin are here constrained using the palaeocurrent data and detrital zircon U–Pb age spectra. The predominant





**Fig. 10.** Association of delta front facies. A) Outcrop with the characteristic red colour of the Diamantino Formation and longitudinal profiles of delta lobes. B) Details of delta lobes with a lenticular layer of mudstone (arrows). C) Asymmetric linguoid ripples. D) Orthogonal desiccation cracks superimposed on ripple marks at the top of lobe. E) Climbing ripple cross-lamination. F) Even parallel lamination (arrow). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

palaeoflow towards the NW and SW indicates that the source area is generally to the east of the current Paraguay belt (Fig. 14). The U–Pb ages of detrital zircons are divided in two main groups (Fig. 12): a) Late Mesoproterozoic and b) Late Neoproterozoic, with a minor component of Palaeoproterozoic grains. The Brasília (790–600 Ma) (Valeriano et al. 1995) belt lies east of the present outcrop, and potential source rocks exist here (Fig. 13). Detrital zircon grains of a volcanic-sedimentary juvenile magmatic arc occur near Brasília (1.0–1.2 Ga) (Viana, 1995; Viana et al., 1995). However, the early Neoproterozoic rocks of the Goiás arc are noticeable in their absence. Alternatively, these zircons could be ultimately sourced from the Late Mesoproterozoic Sunsas belt and the metasedimentary rocks of the Nova Brasilândia belt, respectively, in the southwest and northwest of

the studied area (Litherland et al., 1989; Saes and Frago Cesar 1994; Dexheimer Leite and Saes, 2000; Tohver et al., 2004). However, the palaeocurrent data of studied succession discard these possible source areas. The Sunsas belt that lies west and southwest of the Barra dos Bugres sub-basin, can be considered only for the Late Cryogenian Puga Formation because U–Pb detrital zircon data (within the fold-and-thrust belt), show that this formation is largely made up of similar-aged detritus (759–2128 Ma) (Babinski et al., 2008, 2010). To date, there is no geochronological data available on the vast Cuíabá Group that forms the exposed core of the orogen. In addition, a source for the Diamantino Formation deltaic sandstones from the Paraguay belt is supported by the common Late Cryogenian–Ediacaran zircon grains. Granitoid rocks of this age occur within the core of the orogen

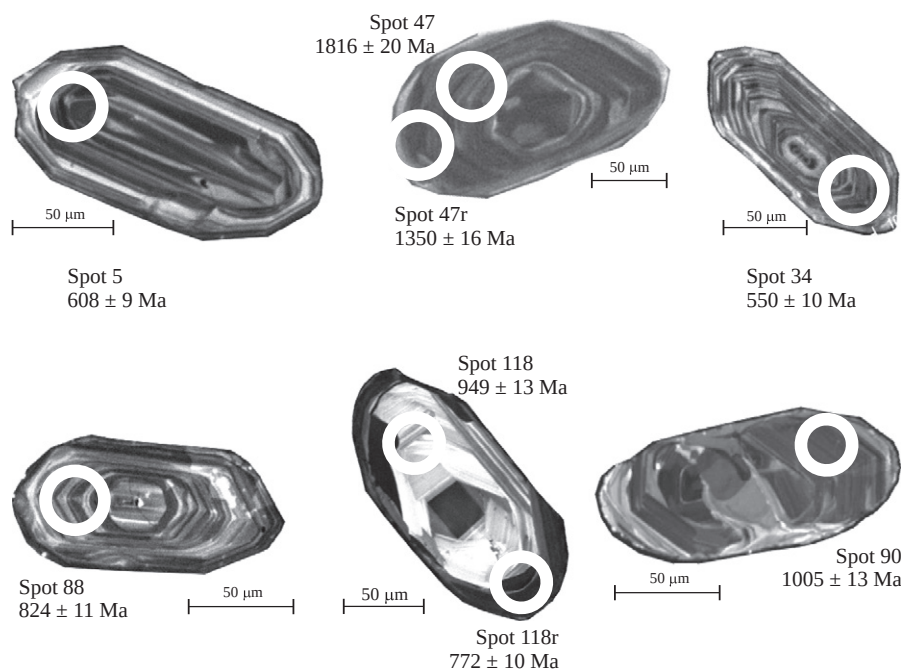


Fig. 11. CL images of zircon grains, zircon cores and zircon overgrowths with Neoproterozoic and Palaeoproterozoic ages.

today (Almeida and Mantovani, 1975; McGee et al., this volume). As demonstrated in Fig. 14, a unique source identification based on U–Pb zircon ages alone is not possible. However, the palaeocurrent data, indicating an east to southeast source, and the proven presence of zircons with a similar age from within the core of the Paraguay belt (today to the southeast of the sample site), strongly suggests that the Diamantino deltas were sourced from elevated topography developed during Paraguay belt orogenesis. This interpretation is supported by the data of Dantas et al. (2009).

## 6. Tectonic-sedimentary model

The Paraguay belt is the result of contraction between the Paraná block and Amazonia. This generated uplifted areas and formed dynamic basins in the foreland of the orogen. The considerable accommodation space that resulted was filled by sediments that were, at least partly, derived from the orogen.

The Sepotuba Formation characterises the last definitely marine deposits within the Paraguay belt. These are interpreted as representing the final marine waters of the closing Clymene ocean (see Tohver et al., 2010, 2011). These sedimentary rocks are interpreted to represent the early, under-filled, stage of the Paraguay belt foreland basin (Fig. 15-1). The progression of orogenesis resulted in the confinement of the Sepotuba sea in this foredeep basin, confined against the edge of the Amazon craton to the northwest. Turbidites were generated during the deepening of the basin, considered here as analogous to the flysch deposits of the Alps (DeCelles and Giles, 1996; Catuneanu 2004; Allen and Allen, 2005) (Fig. 15-2). The Diamantino Formation is interpreted as the successive filling of the basin associated with an increase of terrigenous inflow as deltaic lobes prograded west to northwest over a wide lake or restricted sea (Fig. 15-3). In this stage, the hydrographic basin became overfilled (Fig. 15-4). This forms a classic flysch to molasse transition (Flemings and Jordan, 1989; Allen and Allen, 2005). This final molasse deposition occurred after  $541 \pm 7$  Ma, the age of the youngest <5% discordant zircon. The lacustrine, or restricted marine, interpretation here may explain the lack of fossils in these early Palaeozoic rocks. Diamantino sedimentation indicates the complete continentalization

of the Paraguay basin, after the final suturing of Gondwana in the Cambrian.

## 7. Conclusions

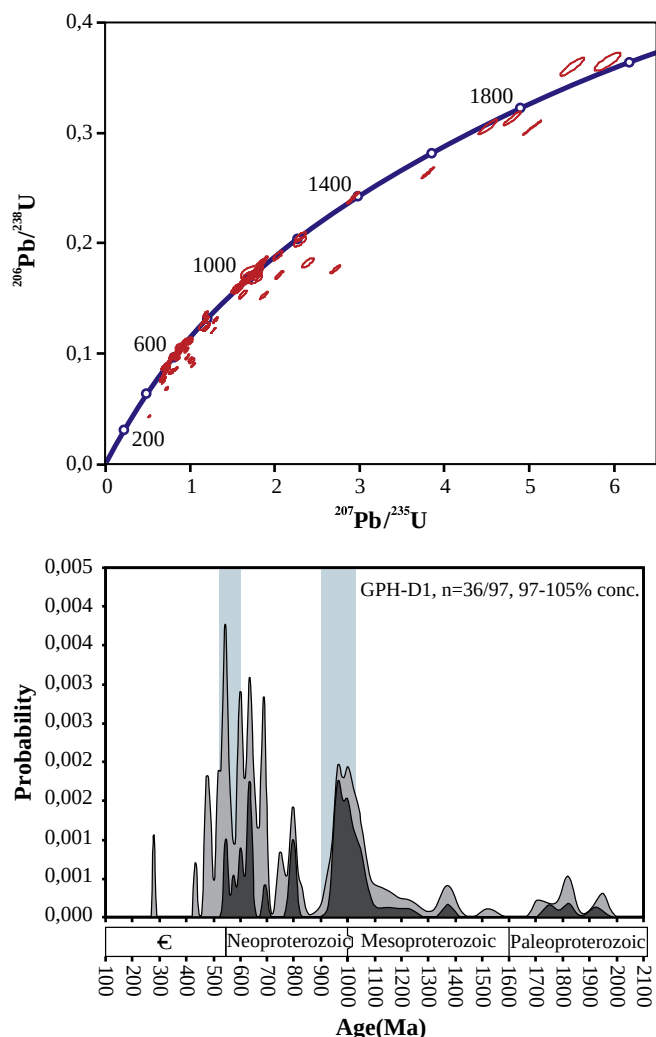
The Sepotuba Formation represents the last marine deposits within the Paraguay belt. This formation formed in a foredeep basin, close to the Amazon craton during the final of stage of orogenesis within the Paraguay belt in latest Ediacaran to earliest Phanerozoic times. The upper Sepotuba Formation is interpreted as being deposited in a wave and tidally influenced setting that was replaced by a low energy palaeoenvironment with sporadic tractive inflow within the Diamantino lake. The restriction of this foredeep basin formed an extensive lake or restricted sea, in which the progradational deposits of the Diamantino Formation were deposited. Initial deposition in this lake was marked by distal turbidites indicating a notable deepening of the basin. These turbidites are succeeded by an aggradational phase of deposition as suspension deposition, accumulating kilometres of fine sediments. These were succeeded by thick deltaic cycles that prograded towards to northwest and southwest. The continuous filling of the lake generated sporadic exposure of the deltaic lobes in the delta front, induced also by uplift related to the final phase of orogenesis in the Paraguay belt. The uppermost deposits are dated as being deposited after  $541 \pm 7$  Ma, based on the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age of the youngest <5% discordant detrital zircon. This deposition filled the Barra dos Bugres sub-basin until early Paleozoic times (e.g. Almeida 1984), consistent with orogenesis in the hinterland continuing into the Cambrian (Tohver et al., 2010).

Supplementary materials related to this article can be found online at doi:10.1016/j.gr.2011.04.006.

## Acknowledgements

This work was supported by the FAPESP (Proc. 00/02903-8), CNPq-CT-PETRO (Proc. 485902/2007-9) and the Brazilian Institute of Amazonia Geosciences INCT programme – CNPq/MCT/FAPESPA (Proc. 573733/2008-2). Humberto Abinader, for your help in the field work. Ben Wade, Angus Netting and Justin Payne are thanked for assistance with analyses at the University of Adelaide. ASC thanks





**Fig. 12.** Tera–Wasserburg plots displaying the zircon age data collected from the sample. The sample contains a significant Neoproterozoic–Mesoproterozoic signature. This can be seen in the probability density plot for the analysed sample. The vertical shaded areas on each plot correspond to the age of the Mesoproterozoic to Neoproterozoic, during the formation of Brasília and Paraguay belts. The light-grey shaded regions under the probability density curves include all geochronological data (i.e. discordant and concordant data). The darker-grey shaded regions under the probability density curves include all data within 97–105% concordancy.

**Table 3**

Table of frequency (%) of detrital and diagenetic components.

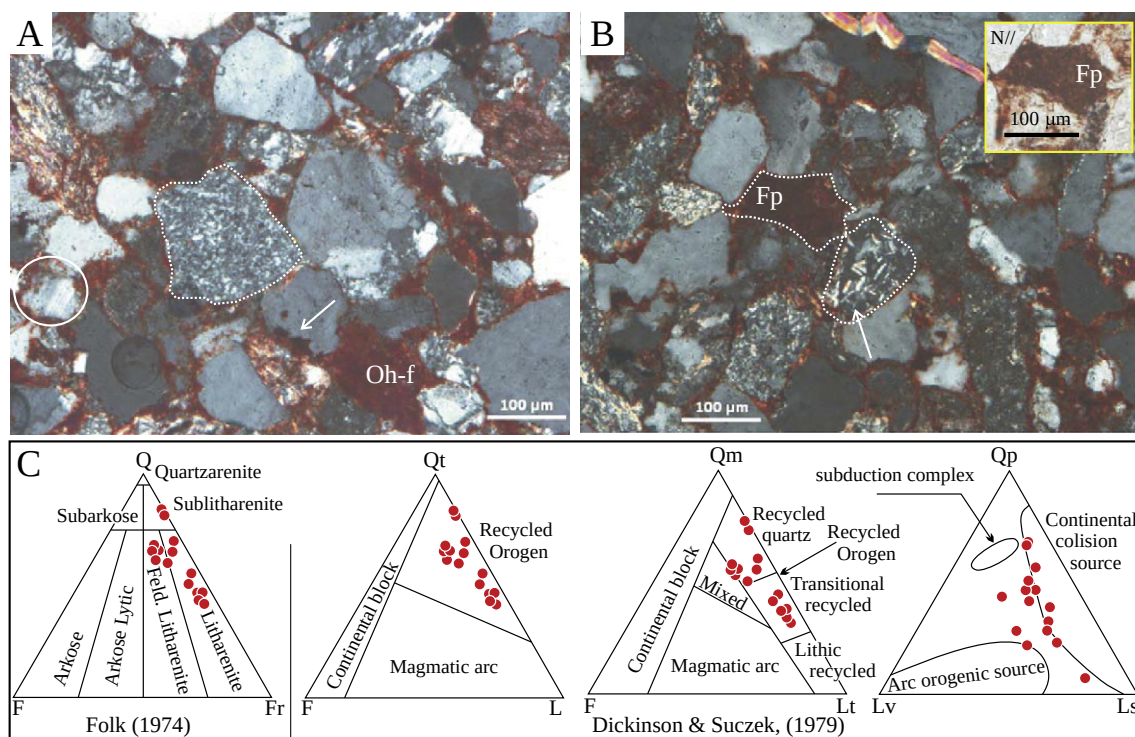
| Samples | Qm   | Qp   | F    | Ls   | Lv   | Lm  | Mc  | Cs  | Cf  | Ser | O-H fe | Inf. Ag. | Classification         | Total |
|---------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|----------|------------------------|-------|
| P1-1    | 30.2 | 15.3 | 4.3  | 9.6  | 10.8 | –   | 1.5 | 2.8 | 0.4 | 5.6 | 19.5   | –        | Litharenite            | 1100  |
| P1-2    | 24.7 | 13.4 | 2.7  | 20.6 | 8    | –   | 0.9 | 1.3 | –   | 4.2 | 24.2   | –        | Litharenite            | 100   |
| P1-3    | 23.4 | 10.9 | 4.8  | 14.6 | 13.4 | 0.8 | 1.5 | 1.8 | 0.3 | 5   | 23.5   | –        | Litharenite            | 100   |
| P1-4    | 19.5 | 13.1 | 3.9  | 23.4 | 10.2 | –   | 0.8 | 2.1 | –   | 3.9 | 21.7   | 1.4      | Litharenite            | 100   |
| P2-1    | 18.4 | 9.6  | 3.8  | 21.1 | 14.9 | 0.2 | 2   | 1.8 | 0.6 | 5.3 | 22.1   | 0.2      | Litharenite            | 100   |
| P2-2    | 22.6 | 10.1 | 3.3  | 25.5 | 8.8  | –   | 2.2 | 0.9 | 0.3 | 6.1 | 19.2   | 1        | Litharenite            | 100   |
| P2-3    | 24.9 | 7.2  | 5.3  | 29   | 7.6  | 0.4 | 0.2 | 1.2 | 0.2 | 4.4 | 18.7   | 0.9      | Litharenite            | 100   |
| P3-1    | 37.7 | 19.5 | 3.1  | 15.3 | 6.8  | –   | 2.7 | 3.8 | 1.1 | 2.4 | 7.6    | –        | Litharenite            | 100   |
| P3-2    | 36.1 | 17.6 | 11.7 | 12.7 | 7.7  | –   | 1.6 | 0.4 | –   | 7.4 | 3.9    | 0.9      | Feldspatic litharenite | 100   |
| P3-3    | 37.1 | 20.1 | 10.2 | 11.7 | 4.1  | 0.9 | 1.1 | 1.4 | 0.7 | 4.9 | 7.8    | –        | Feldspatic litharenite | 100   |
| P3-4    | 36.7 | 18.9 | 9.8  | 12.5 | 6.6  | 0.4 | 0.7 | 1.6 | 0.6 | 5.6 | 6.3    | 0.3      | Feldspatic litharenite | 100   |
| P3-5    | 38.7 | 12.3 | 12.2 | 15.2 | 4.8  | –   | 0.6 | 2.1 | 0.9 | 4.5 | 8.1    | 0.6      | Feldspatic litharenite | 100   |
| P3-6    | 33.6 | 16.7 | 9.2  | 15.1 | 8.9  | 0.6 | –   | 2.6 | –   | 3.1 | 10.2   | –        | Feldspatic litharenite | 100   |
| P5-1    | 43.1 | 28.3 | 1.2  | 10.7 | 4.4  | –   | 2   | 0.4 | –   | 2.3 | 7.1    | 0.5      | Sublitharenite         | 100   |
| P5-2    | 47.2 | 26.5 | 0.8  | 10   | 3.7  | –   | 1.7 | 0.9 | –   | 1.8 | 7.4    | –        | Sublitharenite         | 100   |

Qm: monocrystalline quartz, Qp: polycrystalline quartz, F: monocrystalline feldspar (F = P + Fk); Ls: sedimentary rock fragment; Lv: volcanic rock fragment; Lm: metamorphic rock fragment; Mc, mica; Cs: silica cement; Cf: feldspar cement; Ser: sericite; OH fe: iron hydroxide-oxide cement, and Ag. Info: infiltrated clay. See in Fig. 1 the sample locations.

Marly Babinski and FAPESP for providing support during the write up of this paper. We thank Eric Tohver and the two anonymous referees for their reviews and constructive suggestions.

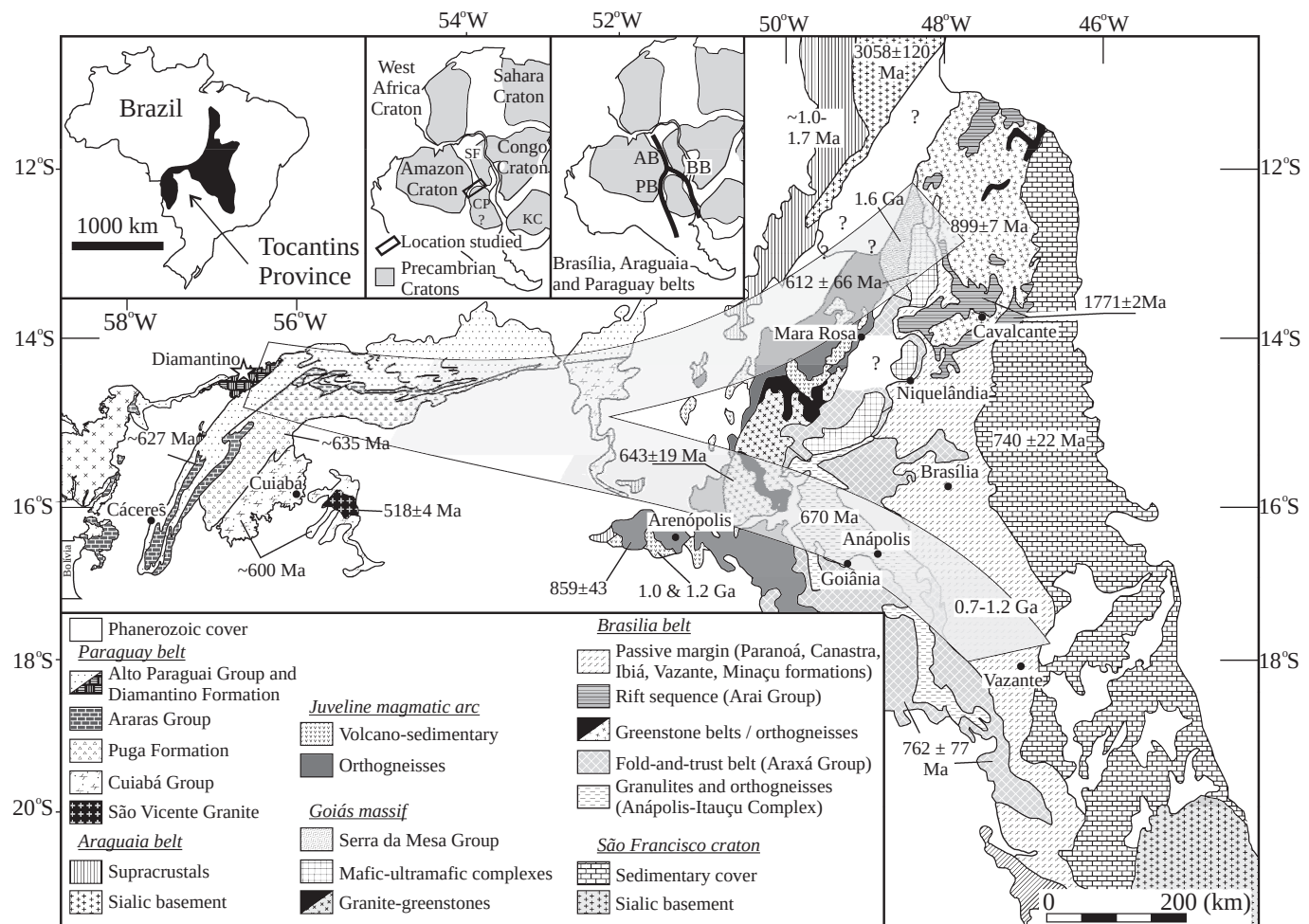
## References

- Alkmim, F.F., Martins-Neto, M.A., 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: Pinto, C.P., Martins-Neto, M.A. (Eds.), *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*. SBG-MG, Belo Horizonte, pp. 9–30.
- Allen, P.A., Allen, J.R., 2005. *Basin Analysis: Principles and Applications*, 2nd ed. Blackwell Publishing, p. 549.
- Allen, P.A., Hoffman, P.F., 2005. Extreme winds and waves in the aftermath of a Neoproterozoic glaciation. *Nature* 433, 123–127.
- Almeida, F.F.M.de., 1964. *Geologia do Centro-Oeste mato-grossense*, 219, Rio de Janeiro. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia DNPM, pp. 1–53.
- Almeida, F.F.M.de., 1965. *Geologia do Centro-Oeste matogrossense*. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia. DNPM, 219, Rio de Janeiro, pp. 1–53.
- Almeida, F.F.M.de., 1984. *Província Tocantins, setor Sudoeste. O Pré-Cambriano do Brasil* (Almeida, F.F.M. de e Hasui, Y., coord.). Edgard Blücher, São Paulo, pp. 265–281.
- Almeida, F.F.M., de, Mantovani, M.S.M., 1975. *Geologia e geocronologia do Granito de 645 São Vicente. Mato Grosso*. Anais da Academia Brasileira de Ciências 47, 451–458.
- Alvarenga, C.J.S., Trompette, R., 1992. Glacially influenced sedimentation in the Later Proterozoic of the Paraguay belt (Mato Grosso, Brazil). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 92, 85–105.
- Alvarenga, C.J.S., Trompette, R., 1993. *Evolução tectônica brasileira da Faixa Paraguay: a estruturação da região de Cuiabá*. *Revista Brasileira Geologia* 23 (1), 18–30.
- Alvarenga, C.J.S., Figueiredo, M.F., Babinski, M., Pinho, F.E.C., 2007. Glacial diamictites of Serra Azul Formation (Ediacaran, Paraguay belt): evidence of the Gaskiers glacial event in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 23, 236–241.
- Alvarenga, C.J.S., Dardene, M.A., Santos, R.V., Brod, E.R., Gioia, S.M.C.L., Sial, A.N., Dantas, E.L., Ferreira, V., 2008. Isotope stratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates in the Araras Group, Brazil. *Gondwana Research* 13, 469–479.
- Babinski, M., Kaufman, A.J., 2003. First direct dating of a Neoproterozoic post-glacial cap carbonate. *IVth South American Symposium on Isotope Geology, short papers*, pp. 321–323.
- Babinski, M., Boggiani, P.C., Trindade, R.I.F., Fanning, M., 2008. Datação U–Pb shrimp de zircões detriticos de diamictitos glaciais da Formação Puga, Faixa Paraguai Sul: qual a idade de deposição e de onde vêm os sedimentos? 44° Congresso Brasileiro de Geologia: O planeta Terra em nossas mãos. Curitiba. PAP1025. CD-ROM.
- Babinski, M., Figueiredo, M.F., Fanning, C.M., 2010. U–Pb SHRIMP geochronological constraints on Puga and Serra Azul glacial diamictites. *Northern Paraguay belt, South American Symposium on Isotope Geology, Brasília*, pp. 153–156.
- Bandeira, J., Nogueira, A.C.R., Petri, S., Riccomini, C., Trindade, R.I.F., Sial, A.N., Ridalco, R.L., 2007. Depósitos litorâneos neoproterozóicos do Grupo Alto Paraguai no sudoeste do Cráton Amazônico, região de Mirassol d Oeste, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geociências* 37, 595–606.
- Basei, M.S.A., Brito Neves, B.B., 1992. Características geológicas da transição Proterozóico Fanerozóico no Brasil. In: Gutierrez Marco, J.G., Rábano, I. (Eds.), *Paleozóico Inferior de Iberoamérica*. Mérida, Universidade de Extremadura, pp. 331–342.
- Bhattacharya, J.P., Walker, R.G., 1992. Deltas. In: Walker, R.G., James, N.P. (Eds.), *Facies models: responses to sea level change*. Canada, Geological Association of Canada, pp. 157–177.
- Bonhomme, M.G., Cordani, U.G., Kawashita, K., Macedo, M.H.F., Thomas Filho, A., 1982. Radiochronological age and correlation of Proterozoic sediments in Brazil. *Precambrian Research* 18, 103–118.
- Bowring, S., Myrow, P., Landing, E., Ramezani, J., Grotzinger, J., 2003. Geochronological constraints on terminal neoproterozoic events and rise of metazoans. *Geophysical Research Abstracts* 5, 13219.



**Fig. 13.** Textural aspects and tectonic environment of the Diamantino Formation. A) The sandstones contain chert fragment (dotted), feldspar (white circle), oxide-iron hydroxide (Oh-f) irregular contour in a quartz grain indicating corrosion (white arrow). B) Other components of that from the sandstone framework are fragments of volcanic rock (white arrow) and mudstone (dotted) rocks. C) Plot of the grain compositions of the Diamantino Formation sandstones in the diagram of Dickinson and Suczek (1979). The suggested tectonic environment of formation is that of a recycled orogen, with a subsidiary contribution from a volcanic arc. Abbreviations, Q – monocrystalline and polycrystalline grains of quartz, including silex (Q = Qm + Qp + Sx), Qm – monocrystalline quartz, Qp – polycrystalline quartz, including silex; Qt – total quartz; F – monocrystalline feldspar (F = P + Fk); P – plagioclase; Fk – potassium feldspar; Lv – volcanic rock fragment; Ls – sedimentary rock fragment; Lm – metamorphic rock fragment; L – unstable polycrystalline rock fragment (L = Lv + Ls + Lm); Lt – L + Qp.

- Catuneanu, O., 2004. Retroarc foreland systems – evolution through time. *Journal of African Earth Sciences* 38, 225–242.
- Cibin, U., Di Giulio, A., Martelli, L., Catanzariti, R., Poccianti, S., Rosselli, C., Sani, F., 2004. Factor controlling foredeep turbidite deposition: the case of Northern Apennines (Oligocene–Miocene, Italy). In: LOMAS, S.A., JOSEPH, P. (Eds.), *Confined Turbidite Systems*. Geological Society, Special Publications, London, pp. 222–328.
- Coelho, J.C.C., Martins-Neto, M.A., Marinho, M.S., 2008. Estilos estruturais e evolução tectônica da porção mineira da bacia proterozóica do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências* 38 (2), 149–165.
- Coleman, J.M., Prior, D.B., 1983. In deltaic environments of deposition. *Am. Assoc. Pet. Geol. Mere.* 31, 139–178.
- Coleman, J.M., Prior, D.B., 1988. Mass wasting on continental margins. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 16, 101–119.
- Collins, A.S., Pisarevsky, S.A., 2005. Amalgamating eastern Gondwana: the evolution of the Circum-Indian Orogens. *Earth-Science Reviews* 71, 229–270.
- Cordani, U.G., Kawashita, K., Thomaz Filho, A., 1978. Applicability of the rubidium-strontium methods to shales and related rocks. In: COHEE, B.V., et al. (Ed.), *Contributions to the Geologic Time Scale: American Association of Petroleum Geologists*, 6, pp. 93–117.
- Cordani, U.G., Thomaz Filho, A., Brito Neves, B.B., Kawashita, K., 1985. On the applicability of the Rb–Sr method to argillaceous sedimentary rocks: some examples from Precambrian sequences of Brazil. *Giornale di geologia* 471, 253–280.
- Cordani, U.G., Teixeira, W., D'Agrella-Filho, M.S., Trindade, R.I., 2009. The position of the Amazonian craton in supercontinents. *Gondwana Research* 15, 396–407.
- Cordani, U.G., Fraga, L.M., Reis, N., Tassinari, C.C.G., Brito-Neves, B.B., 2010. On the origin and tectonic significance of the intra-plate events of Grenvillian-type age in South America: a discussion. *Journal of South American Earth Sciences* 29, 143–159.
- Dantas, E.L., Alvarenga, C.J.S., Santos, R.V., Pimentel, M.M., 2009. Nd isotopes applied to provenance age of metasedimentary rocks from extensional continental margin to a foreland basin in the Neoproterozoic Paraguay belt, Central Brazil. *Precambrian Research* 170, 1–12.
- De Boer, P.L., Oost, A.P., Visser, M.J., 1989. The diurnal inequality of the tide as a parameter for recognising tidal influences. *Journal of Sedimentary Petrology* 59, 912–921.
- De Raaf, J.F.M., Boersma, J.R., Van Gelder, A., 1977. Wave generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology* 4, 1–52.
- DeCelles, P.G., Giles, K.A., 1996. Foreland basin systems. *Basin Research* 8, 105–123.
- Dexheimer Leite, J.A., SAES, G.S., 2000. Geology of the southern Amazon craton in southwestern Mato Grosso, Brazil: a review. *Revista Brasileira de Geociências* 30 (1), 091–094.
- Dickinson, W.R., Suczek, C.A., 1979. Plate tectonics and sandstone composition. *AAPG Bulletin* 12 (63), 2164–2182.
- Elliot, T., 1986. *Deltas. Sedimentary Environments and Facies* (Ed. by H.G. Reading). Blackwells, Oxford, pp. 113–154.
- Evans, D.A., 1998. True polar wander, a supercontinental legacy. *Earth planet. Science Letters* 157, 1–8.
- Evans, D.A.D., 2000. Stratigraphic, geochronological, and paleomagnetic constraints upon the Neoproterozoic climatic paradox. *American Journal of Science* 300, 347–433.
- Figueiredo, M.F., Babinski, M., Alvarenga, C.J.S., Pinho, F.E.C., 2008. Nova Unidade Litoestratigráfica Registro Glaciação Ediacarana em Mato Grosso: Formação Serra Azul. *Geologia USP. Série Científica* 8, 65–74.
- Flemings, P.B., Jordan, D.E., 1989. A synthetic stratigraphic model of foreland basin development. *Journal of Geophysical Research* 94 (B4), 3853–3866.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*, second edition. Hemphill Press, Austin, TX, p. 182.
- Geraldes, M., Tassinari, C., Babinski, M., Martinelli, C., Iyer, S., Barboza, E., Pinho, F., Onoe, A., 2008. Isotopic evidence for the Late Brasiliano (500–550 Ma) ore-forming mineralization of the Araés Gold Deposit, Brazil: *International Geology Review* 50, 177–190. doi:10.2747/0020-6814.50.2.177.
- Giustina, M.E.S., 2010. Geocronologia e significado tectônico de rochas máficas de alto grau metamórfico da Faixa Brasília. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Universidade de Brasília, Brasília, pp. 116.
- Halverson, G.P., Hurtgen, M.T., 2007. Ediacaran growth of the marine sulfate reservoir. *Earth and Planetary Science Letters* 263, 32–44.
- Harland, W.B., 1964. Critical evidence for a great infra-Cambrian glaciation. *Geologischer Rundschau* 54, 45–61.
- Hoffman, P.F., Schrag, D.P., 2000. Snowball Earth. *Scientific American* 282 (1), 68–75.
- Hoffman, P.F., Schrag, D.P., 2002. The Snowball Earth Hypothesis: Testing the Limits of Global Change. *Terra Nova*, 14, pp. 129–155.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., Schrag, D.P., 1998. A Neoproterozoic snowball Earth. *Science* 281, 1342–1346.
- Hyde, W.T., Crowley, T.J., Baum, S.K., Peltier, W.R., 2000. Neoproterozoic “snowball Earth” simulations with a coupled climate/ice-sheet model. *Nature* 405, 425–429.
- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L., Belousova, E.A., 2004. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology* 211 (1–2), 47–69.



**Fig. 14.** Map of Brazil with a) the Tocantins Province, and b) reconstitution of the blocks that formed, and the location of (c), the Brasília, Araguaia and Paraguay belts. d) Map of the Brasília and Paraguay belts indicating the potential sources areas for the Diamantino Formation (general easterly source indicated by grey bands). São Francisco craton – sedimentary cover (Babinski and Kaufman, 2003). Brasília belt – passive margin (Coelho et al., 2008); rift sequence, greenstone belts, fold-and thrust belt (Pimentel et al., 1991; Pimentel et al., 1998; Pimentel et al., 2000); Anápolis-Itaçu Complex (Giustina 2010). Goiás massif – Serra da Mesa Group (Pimentel et al., 1991; Pimentel and Fuck, 1992); mafic-ultramafic complexes (Nilson et al., 1997); Granite-greenstones (Pimentel and Fuck, 1994; Nilson et al., 1997). Juvenile magmatic arc – Volcano-sedimentary (Viana et al., 1995); orthogneisses (Pimentel et al., 1997). Araguaia belt – supracrustals (Moura et al., 2008); sialic basement (Pimentel et al., 2000). Paraguay belt – Araras Group, Puga Formation and Cuiabá Group (Cordani et al., 1985; Cordani et al., 1978; Bonhomme et al., 1982; Nogueira, 2003; Nogueira et al., 2003; McGee et al., this volume).

Kennedy, M.J., Christie-Blick, N., Sohl, L.E., 2001. Are Proterozoic cap carbonates and isotopic excursions a record of gas hydrate destabilization following Earth's coldest intervals? *Geology* 29, 443–446.

Kirschvink, J.L., Ripperdan, R.L., Evans, D.A., 1997. Evidence for a large-scale reorganization of early Cambrian continental masses by inertial interchange true polar wander. *Science* 277, 541–545.

Knoll, A.H., 2000. Learning to tell Neoproterozoic time. *Precambrian Res.* 100, 3–20.

Knoll, A.H., Walter, M.R., Narbonne, G.M., Christie-Blick, N., 2004. A new period for the geologic time scale. *Science* 305, 621–622.

Litherland, M., Anells, R.N., Darbyshire, D.P.F., Fletcher, C.J.N., Hawkins, M.P., Klinck, B.A., Mitchell, W.I., O'Connell, E.A., Pitfield, P.E.J., Power, G., Webb, B.C., 1989. The Proterozoic of eastern Bolivia and its relationship to the Andean mobile belt. *Precambrian Research* 43, 157–174.

Lowe, D.R., 1982. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology* 52, 279–297.

Lucchi, F.R., 1986. The Oligocene to recent foreland basin of the northern Apennines. In: Allen, P.A., Homewood, P. (Eds.), *Foreland Basins*. Special Publication, 8, pp. 105–139.

Ludwig, K.R., 2003. A user's manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Special Publication. Berkeley Geochronology Centre, Berkeley, CA, p. 73.

Meert, J.G., Lieberman, B.S., 2008. The Neoproterozoic assembly of Gondwana and its relationship to the Ediacaran–Cambrian radiation. *Gondwana Research* 14, 5–21.

Meert, J.G., Gibscher, A.S., Levashova, N.M., Grice, W.C., Kamenov, G.D., Ryabinin, A.B., 2011. Glaciation and 770 Ma Ediacara (?) fossils from the Lesser Karatau Microcontinent, Kazakhstan. *Gondwana Research* 19, 867–880.

Moura, C.A.V., Pinheiro, B.L.S., Nogueira, A.C.R., Gorayeb, P.S.S., Galarza, M.A., 2008. Sedimentary provenance and palaeoenvironment of the Baixo Araguaia Super-

group: constraints on the palaeogeographical evolution of the Araguaia belt and assembly of West Gondwana. *Geological Society, London, Special Publications* 294, 173–196.

Nilson, A.A., Gioia, S., Pimentel, M.M., 1997. Idade Sm–Nd do Complexo Máfico-Ultramáfico de Americano do Brasil, Goiás e características isotópicas das rochas encaixantes. *Anais, VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, SBGq*, pp. 643–645.

Nio, S.D., Yang, C.S., 1991. Sea-level fluctuation and the geometric variability of tide-dominated sandbodies. *Journal of Sedimentary Geology* 70, 161–193.

Nogueira, A.C.R., 2003. A plataforma carbonática Araras no sudoeste do Cráton Amazônico, Mato Grosso: estratigrafia, contexto paleoambiental e correlação com os eventos glaciais do Neoproterozóico. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 173.

Nogueira, A.C.R., Riccomini, C., Sial, A.N., Moura, C.A.V., Fairchild, T.R., 2003. Soft-sediment deformation at the Neoproterozoic Puga cap carbonate (southwestern Amazon craton, Brazil): conformation of rapid icehouse to greenhouse transition in snowball Earth. *Geology* 31, 613–616.

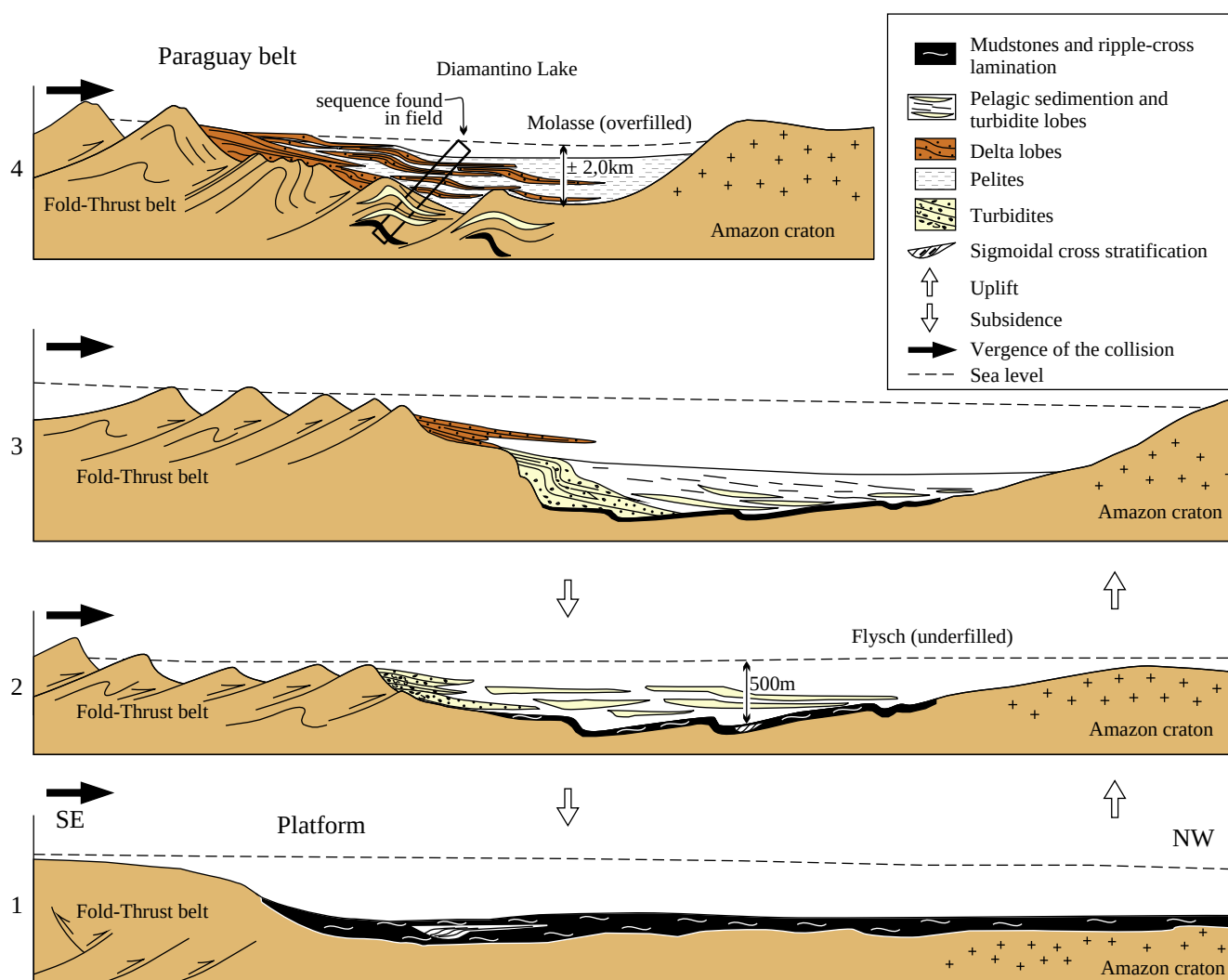
Nogueira, A.C.R., Riccomini, C., Sial, A.N., Moura, C.A.V., Trindade, R.I.F., Fairchild, T.R., 2007. Carbon and strontium isotope fluctuations and paleoceanographic changes in the late Neoproterozoic Araras carbonate platform, southern Amazon craton, Brazil. *Chemical Geology* 237, 168–190.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., 1992. Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology* 20 (4), 375–379.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., 1994. Geocronologia Rb–Sr da porção sudoeste do Maciço Mediano de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências* 24 (2), 104–111.

Pimentel, M.M., Heaman, L., Fuck, R.A., 1991. U–Pb zircon and sphene geochronology of late Proterozoic volcanic arc rock units from southwestern Goiás, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 4, 329–339.





**Fig. 15.** The late Ediacaran–Early Cambrian tectonic-sedimentary evolution of Paraguay foreland basin. 1) Passive continental margin unchanged during the early stages of convergence between the Paraná block (?) and the Amazon craton. In this stage mudstones and sandstones with tangential to sigmoidal cross-bedding were deposited. These have mud drapes and ripple cross-lamination and are interpreted as lower shoreface deposits of the Sepotuba Formation. 2) Continuous displacement of the Paraná (or Parapanema) block to the northwest resulted in subsidence and deposition of marine sediments commonly known as flysch. During this stage turbidites are deposited to form the lower facies of the Diamantino Formation. 3) Continued convergence resulted in confinement of the Clymene ocean, creating a large lake or restricted sea that represents initial continental sedimentation in the region. 4) The basin is filled and by prograding delta lobes. This forms the overfilled stage of the basin.

Pimentel, M.M., Whitehouse, M.J., Viana, M.G., Fuck, R.A., Machado, N., 1997. The Mara Rosa arc in the Tocantins Province: further evidence for Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Precambrian Research* 81, 299–310.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Junges, S., 1998. New Sm–Nd isotopic constraints for the age of metamorphic events in the Neoproterozoic Brasília belt, Central Brazil. Abstracts, 14. International Conference on Precambrian and Craton Tectonics – International Conference on Basement Tectonics. UFOP–International Basement Tectonics Association, Ouro Preto, pp. 50–52.

Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Gioia, S.M.C.L., 2000. The Neoproterozoic Goiás magmatic arc, central Brazil: a review and new Sm–Nd isotopic data. *Revista Brasileira de Geociências* 30 (1), 035–039.

Pisarevsky, S.A., Murphy, J.B., Cawood, P.A., Collins, A.S., 2008. Late Neoproterozoic and early Cambrian palaeogeography: models and problems. In: Brito Neves, B.B., Trouw, R.A.J., de Wit, M.J., Pankhurst, R.J. (Eds.), *Western Gondwana: Pre-Cenozoic Geology Bordering the South Atlantic*. Geological Society, London, Special Publication, pp. 9–32.

Reading, H.G., Collinson, J.D., 1996. Clastic coast. In: Reading, H.G. (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science, 3ª edição, Oxford, pp. 154–231.

Røe, S.L., 1987. Cross-strata and bedforms of probable transitional dune to upper-stage plane-bed origin from a Late Precambrian fluvial sandstone, northern Norway. *Sedimentology* 34, 89–101.

Saes, G.S., Fragozo Cesar, A.R.S., 1994. The Aguapeí basin (southwest Amazonia): a Greenville age aulacogen of the Sunsas orogen. *SBG-Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos* 38 (1), 207–209.

Stow, D.A.V., 1986. Deep clastic seas. In: Reading, H.G. (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Scientific Public, Oxford, pp. 399–444.

Tohver, E., van der Pluijm, B., Mezger, K., Essene, E., Scandolaro, J., Rizzotto, G., 2004. Significance of the Nova Brasilândia metasedimentary belt in western Brazil: redefining the Mesoproterozoic boundary of the Amazon craton. *Tectonics* 23, 6.

Tohver, E., D'Agrella Filho, M.S., Trindade, R.I.F., 2006. Paleomagnetic record of Africa and South America for the 1200–500 Ma interval, and evaluation of Rodinia and Gondwana assemblies. *Precambrian Research* 147, 193–222.

Tohver, E., Trindade, R.I.F., Solum, J.G., Hall, C.M., Riccomini, C., Nogueira, A.C., 2010. Closing the Clymene ocean and bending a Brasiliano belt: evidence for the Cambrian formation of Gondwana, southeast Amazon craton. *Geology (Boulder, Colo.)* 38, 267–270.

Tohver, E., Cawood, P.A., Rossello, E.A., Jourdan, F., 2011. Closure of the Clymene Ocean and formation of West Gondwana in the Cambrian: evidence from the Sierras Australes of the southernmost Rio de la Plata craton, Argentina. *Gondwana Research*. doi:10.1016/j.gr.2011.04.001.

Trindade, R.I.F., Macouin, M., 2007. Palaeolatitude of glacial deposits and palaeogeography of Neoproterozoic ice ages. *Comptes Rendus Geosciences* 339, 200–211.

Trindade, R.I.F., D'Agrella Filho, M.S., EPOF, I., Neves, B.B.B., 2006. Paleomagnetism of early Cambrian Itabaiana mafic dikes (NE Brazil) and the final assembly of Gondwana. *Earth and Planetary Science Letters* 244, 361–377.

Trompette, R., 2000. Gondwana evolution, its assembly at around 600 Ma. *Acad. Sci. Paris. Sciences de la Terre et des planètes/Earth and Planetary Sciences* 330, 305–315.

- Valeriano, C.M., Almeida, J.C.H., Simões, L.S.A., Duarte, B.P., Roig, H.L., Heilbron, M., 1995. Evolução estrutural do domínio externo da Faixa Brasília no sudoeste de Minas Gerais: registros de uma tectônica pré-brasiliana. *Revista Brasileira de Geociências* 25 (4), 221–234.
- Van Acherbergh, E., Ryan, C.G., Jackson, S.E., Griffin, W.L., 2001. Data reduction software for LA-ICP-MS. In: Sylvester, P.J. (Ed.), *The Earth Sciences: Principles and Applications*. Mineralogical Association of Canada. Short Course, 29, pp. 239–243.
- Viana, M.G., 1995. Geocronologia e geoquímica das rochas ortognáissicas e metavulcânicas da região de Mara Rosa, norte de Goiás. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, p. 118.
- Viana, M.G., Pimentel, M.M., Whitehouse, M.J., Fuck, R.A., Machado, N., 1995. O Arco Magmático de Mara Rosa, Goiás: geoquímica e geocronologia e suas implicações regionais. *Revista Brasileira de Geociências* 25 (2), 111–123.

**Table 2.** LA-ICPMS Zircon U-Th-Pb Age Data

| Analysis | Isotopic Ratios <sup>a</sup> |                                      |        |                                     |        |                                     |        |                                      |        | Age Estimates <sup>a</sup> (Ma) |                                      |      |                                     |      |                                     |      |                                      |      | Conc. <sup>c</sup> | Eff. Age <sup>d</sup> |
|----------|------------------------------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|---------------------------------|--------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|--------------------------------------|------|--------------------|-----------------------|
|          | Th/U                         | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ± 1σ   | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ± 1σ   | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ± 1σ   | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ± 1σ   | Rho <sup>b</sup>                | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ± 1σ | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ± 1σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ± 1σ | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ± 1σ |                    |                       |
| Spot 2   | 0,31                         | 0,0582                               | 0,0017 | 0,0982                              | 0,0018 | 0,7864                              | 0,0241 | 0,0386                               | 0,0015 | 0,5998                          | 537                                  | 65   | 604                                 | 10   | 589                                 | 14   | 765                                  | 28   | 110                | 537                   |
| Spot 3   | 71,21                        | 0,1195                               | 0,0013 | 0,3051                              | 0,0043 | 5,0258                              | 0,0706 | 0,0642                               | 0,0010 | 0,7617                          | 1949                                 | 19   | 1716                                | 21   | 1824                                | 12   | 1257                                 | 19   | 88                 | 1949                  |
| Spot 5   | 0,72                         | 0,0601                               | 0,0016 | 0,0878                              | 0,0015 | 0,7262                              | 0,0204 | 0,0316                               | 0,0009 | 0,6432                          | 608                                  | 58   | 542                                 | 9    | 554                                 | 12   | 630                                  | 17   | 91                 | 608                   |
| Spot 7   | 0,53                         | 0,0576                               | 0,0022 | 0,0879                              | 0,0017 | 0,6966                              | 0,0260 | 0,0324                               | 0,0012 | 0,5126                          | 513                                  | 81   | 543                                 | 10   | 537                                 | 16   | 645                                  | 24   | 105                | 513                   |
| Spot 8   | 12,60                        | 0,3712                               | 0,0243 | 0,1546                              | 0,0071 | 7,9068                              | 0,4169 | 0,0259                               | 0,0010 | 0,7039                          | 3796                                 | 96   | 927                                 | 40   | 2221                                | 48   | 517                                  | 19   | 42                 | 927                   |
| Spot 9   | 0,43                         | 0,0822                               | 0,0017 | 0,2020                              | 0,0030 | 2,2901                              | 0,0475 | 0,0458                               | 0,0013 | 0,7215                          | 1251                                 | 39   | 1186                                | 16   | 1209                                | 15   | 904                                  | 24   | 95                 | 1251                  |
| Spot 11  | 0,79                         | 0,0641                               | 0,0010 | 0,0964                              | 0,0013 | 0,8518                              | 0,0147 | 0,0189                               | 0,0004 | 0,8391                          | 745                                  | 34   | 593                                 | 8    | 626                                 | 8    | 379                                  | 8    | 95                 | 593                   |
| Spot 13  | 2,10                         | 0,0718                               | 0,0036 | 0,1739                              | 0,0041 | 1,7216                              | 0,0833 | 0,0545                               | 0,0017 | 0,4764                          | 981                                  | 99   | 1034                                | 23   | 1017                                | 31   | 1073                                 | 32   | 104                | 981                   |
| Spot 14  | 0,56                         | 0,0669                               | 0,0016 | 0,0840                              | 0,0014 | 0,7744                              | 0,0189 | 0,0287                               | 0,0007 | 0,7143                          | 835                                  | 48   | 520                                 | 8    | 582                                 | 11   | 572                                  | 14   | 70                 | 835                   |
| Spot 15  | 0,48                         | 0,0946                               | 0,0017 | 0,1827                              | 0,0029 | 2,3807                              | 0,0465 | 0,0461                               | 0,0012 | 0,9101                          | 1520                                 | 33   | 1082                                | 16   | 1237                                | 14   | 912                                  | 23   | 71                 | 1520                  |
| Spot 15r | 85,67                        | 0,0818                               | 0,0021 | 0,0584                              | 0,0010 | 0,6588                              | 0,0173 | 0,0065                               | 0,0002 | 0,6638                          | 1241                                 | 50   | 366                                 | 6    | 514                                 | 11   | 130                                  | 4    | 71                 | 366                   |
| Spot 16  | 0,52                         | 0,0809                               | 0,0014 | 0,2063                              | 0,0029 | 2,2986                              | 0,0410 | 0,0430                               | 0,0010 | 0,8245                          | 1218                                 | 33   | 1209                                | 15   | 1212                                | 13   | 852                                  | 20   | 99                 | 1218                  |
| Spot 17  | 0,58                         | 0,1111                               | 0,0014 | 0,1767                              | 0,0023 | 2,7063                              | 0,0380 | 0,0395                               | 0,0009 | 0,9401                          | 1818                                 | 22   | 1049                                | 13   | 1330                                | 10   | 784                                  | 18   | 58                 | 1818                  |
| Spot 19  | 0,46                         | 0,0882                               | 0,0012 | 0,1534                              | 0,0023 | 1,8647                              | 0,0305 | 0,0392                               | 0,0008 | 0,8842                          | 1388                                 | 25   | 920                                 | 13   | 1069                                | 11   | 777                                  | 15   | 66                 | 1388                  |
| Spot 20  | 0,61                         | 0,0698                               | 0,0011 | 0,1602                              | 0,0022 | 1,5410                              | 0,0262 | 0,0340                               | 0,0008 | 0,8476                          | 922                                  | 32   | 958                                 | 12   | 947                                 | 10   | 675                                  | 15   | 101                | 958                   |
| Spot 20r | 69,96                        | 0,0718                               | 0,0012 | 0,1458                              | 0,0021 | 1,4444                              | 0,0259 | 0,0317                               | 0,0006 | 0,8643                          | 982                                  | 33   | 877                                 | 12   | 908                                 | 11   | 630                                  | 11   | 97                 | 877                   |
| Spot 22  | 0,48                         | 0,0697                               | 0,0012 | 0,1593                              | 0,0024 | 1,5303                              | 0,0288 | 0,0512                               | 0,0011 | 0,9245                          | 919                                  | 34   | 953                                 | 14   | 943                                 | 12   | 1009                                 | 21   | 103                | 919                   |
| Spot 25  | 0,21                         | 0,0649                               | 0,0013 | 0,1114                              | 0,0016 | 0,9959                              | 0,0205 | 0,0285                               | 0,0011 | 0,6984                          | 769                                  | 42   | 681                                 | 9    | 702                                 | 10   | 569                                  | 21   | 97                 | 681                   |
| Spot 26  | 0,13                         | 0,0721                               | 0,0010 | 0,1622                              | 0,0021 | 1,6108                              | 0,0244 | 0,0356                               | 0,0012 | 0,9609                          | 988                                  | 27   | 969                                 | 12   | 974                                 | 10   | 706                                  | 23   | 99                 | 969                   |
| Spot 27  | 0,39                         | 0,0733                               | 0,0012 | 0,1748                              | 0,0024 | 1,7664                              | 0,0314 | 0,0417                               | 0,0014 | 0,8116                          | 1023                                 | 33   | 1039                                | 13   | 1033                                | 12   | 825                                  | 26   | 102                | 1023                  |
| Spot 28  | 0,25                         | 0,0748                               | 0,0011 | 0,1759                              | 0,0024 | 1,8135                              | 0,0298 | 0,0431                               | 0,0014 | 0,8768                          | 1063                                 | 30   | 1045                                | 13   | 1050                                | 11   | 852                                  | 27   | 98                 | 1063                  |
| Spot 29  | 1,69                         | 0,1107                               | 0,0016 | 0,3604                              | 0,0055 | 5,4992                              | 0,0931 | 0,0946                               | 0,0015 | 0,9322                          | 1810                                 | 26   | 1984                                | 26   | 1901                                | 15   | 1827                                 | 27   | 95                 | 1810                  |
| Spot 30  | 0,56                         | 0,0784                               | 0,0014 | 0,0940                              | 0,0013 | 1,0155                              | 0,0193 | 0,0293                               | 0,0009 | 0,7585                          | 1157                                 | 36   | 579                                 | 8    | 712                                 | 10   | 583                                  | 18   | 81                 | 579                   |
| Spot 31  | 2,73                         | 0,2210                               | 0,0062 | 0,1120                              | 0,0022 | 3,4104                              | 0,0875 | 0,0337                               | 0,0011 | 0,6961                          | 2988                                 | 45   | 684                                 | 13   | 1507                                | 20   | 669                                  | 22   | 45                 | 684                   |
| Spot 32  | 0,45                         | 0,0640                               | 0,0013 | 0,1123                              | 0,0016 | 0,9908                              | 0,0205 | 0,0279                               | 0,0009 | 0,6943                          | 743                                  | 42   | 686                                 | 9    | 699                                 | 10   | 557                                  | 18   | 98                 | 686                   |
| Spot 33  | 0,55                         | 0,0608                               | 0,0013 | 0,1109                              | 0,0016 | 0,9299                              | 0,0209 | 0,0272                               | 0,0009 | 0,6467                          | 633                                  | 47   | 678                                 | 9    | 668                                 | 11   | 542                                  | 18   | 102                | 678                   |
| Spot 34  | 0,71                         | 0,0585                               | 0,0016 | 0,1071                              | 0,0018 | 0,8650                              | 0,0237 | 0,0379                               | 0,0010 | 0,6125                          | 550                                  | 58   | 656                                 | 10   | 633                                 | 13   | 752                                  | 19   | 119                | 550                   |
| Spot 35  | 0,67                         | 0,0732                               | 0,0010 | 0,1847                              | 0,0025 | 1,8647                              | 0,0284 | 0,0427                               | 0,0007 | 0,9542                          | 1019                                 | 26   | 1093                                | 14   | 1069                                | 10   | 845                                  | 13   | 107                | 1019                  |
| Spot 36  | 0,40                         | 0,0608                               | 0,0010 | 0,1115                              | 0,0016 | 0,9344                              | 0,0165 | 0,0266                               | 0,0005 | 0,8677                          | 631                                  | 34   | 681                                 | 9    | 670                                 | 9    | 530                                  | 10   | 102                | 681                   |
| Spot 46  | 0,95                         | 0,0725                               | 0,0012 | 0,1727                              | 0,0024 | 1,7246                              | 0,0314 | 0,0384                               | 0,0016 | 0,8152                          | 999                                  | 34   | 1027                                | 13   | 1018                                | 12   | 763                                  | 32   | 103                | 999                   |
| Spot 47  | 0,81                         | 0,1110                               | 0,0013 | 0,3133                              | 0,0041 | 4,7944                              | 0,0663 | 0,0779                               | 0,0024 | 0,9200                          | 1816                                 | 22   | 1757                                | 20   | 1784                                | 12   | 1515                                 | 44   | 97                 | 1816                  |
| Spot 47r | 27,49                        | 0,0866                               | 0,0012 | 0,2094                              | 0,0031 | 2,4982                              | 0,0401 | 0,0431                               | 0,0009 | 0,9203                          | 1350                                 | 26   | 1226                                | 16   | 1272                                | 12   | 853                                  | 17   | 91                 | 1350                  |
| Spot 48  | 0,52                         | 0,0762                               | 0,0022 | 0,1682                              | 0,0028 | 1,7666                              | 0,0492 | 0,0335                               | 0,0024 | 0,5804                          | 1101                                 | 56   | 1002                                | 15   | 1033                                | 18   | 665                                  | 48   | 91                 | 1101                  |
| Spot 49  | 0,58                         | 0,0727                               | 0,0012 | 0,1824                              | 0,0024 | 1,8280                              | 0,0318 | 0,0474                               | 0,0023 | 0,8035                          | 1005                                 | 33   | 1080                                | 13   | 1056                                | 11   | 937                                  | 44   | 107                | 1005                  |
| Spot 50  | 0,72                         | 0,1176                               | 0,0019 | 0,3650                              | 0,0052 | 5,9185                              | 0,1018 | 0,0729                               | 0,0039 | 0,8749                          | 1920                                 | 29   | 2006                                | 25   | 1964                                | 15   | 1421                                 | 73   | 104                | 1920                  |
| Spot 56  | 0,82                         | 0,0585                               | 0,0011 | 0,0927                              | 0,0013 | 0,7477                              | 0,0148 | 0,0210                               | 0,0009 | 0,7158                          | 549                                  | 41   | 572                                 | 8    | 567                                 | 9    | 420                                  | 17   | 101                | 572                   |
| Spot 57  | 0,86                         | 0,3950                               | 0,0123 | 0,1875                              | 0,0046 | 10,2053                             | 0,2673 | 0,1585                               | 0,0080 | 0,7870                          | 3890                                 | 46   | 1108                                | 25   | 2454                                | 24   | 2974                                 | 140  | 28                 | 3890                  |
| Spot 58  | 0,52                         | 0,0642                               | 0,0010 | 0,1124                              | 0,0015 | 0,9945                              | 0,0171 | 0,0240                               | 0,0011 | 0,8179                          | 748                                  | 34   | 687                                 | 9    | 701                                 | 9    | 479                                  | 21   | 98                 | 687                   |

Table 2. (continued)

| Analysis | Isotopic Ratios <sup>a</sup> |                                      |        |                                     |        |                                     |        |                                      |        | Age Estimates <sup>a</sup> (Ma) |                                      |      |                                     |      |                                     |      |                                      |      | Conc. <sup>c</sup> | Eff. Age <sup>d</sup> |
|----------|------------------------------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|---------------------------------|--------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|--------------------------------------|------|--------------------|-----------------------|
|          | Th/U                         | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ± 1σ   | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ± 1σ   | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ± 1σ   | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ± 1σ   | Rho <sup>b</sup>                | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ± 1σ | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ± 1σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ± 1σ | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ± 1σ |                    |                       |
| Spot 60  | 0,10                         | 0,1043                               | 0,0011 | 0,2644                              | 0,0034 | 3,8004                              | 0,0489 | 0,0556                               | 0,0024 | 0,8630                          | 1702                                 | 20   | 1512                                | 17   | 1593                                | 10   | 1094                                 | 45   | 89                 | 1702                  |
| Spot 63  | 0,99                         | 0,0602                               | 0,0012 | 0,1059                              | 0,0015 | 0,8784                              | 0,0180 | 0,0249                               | 0,0011 | 0,6856                          | 610                                  | 43   | 649                                 | 9    | 640                                 | 10   | 497                                  | 21   | 101                | 649                   |
| Spot 64  | 0,35                         | 0,0708                               | 0,0011 | 0,1659                              | 0,0022 | 1,6183                              | 0,0257 | 0,0283                               | 0,0021 | 0,9104                          | 952                                  | 30   | 990                                 | 12   | 977                                 | 10   | 564                                  | 42   | 101                | 990                   |
| Spot 68  | 0,58                         | 0,0604                               | 0,0014 | 0,0883                              | 0,0013 | 0,7352                              | 0,0173 | 0,0156                               | 0,0014 | 0,6312                          | 618                                  | 50   | 545                                 | 8    | 560                                 | 10   | 314                                  | 28   | 97                 | 545                   |
| Spot 69  | 37,11                        | 0,0741                               | 0,0008 | 0,1702                              | 0,0023 | 1,7372                              | 0,0246 | 0,0395                               | 0,0005 | 0,8183                          | 1043                                 | 23   | 1013                                | 13   | 1022                                | 9    | 783                                  | 10   | 97                 | 1043                  |
| Spot 70  | 65,27                        | 0,0716                               | 0,0008 | 0,0975                              | 0,0013 | 0,9614                              | 0,0136 | 0,0175                               | 0,0002 | 0,8294                          | 973                                  | 23   | 600                                 | 8    | 684                                 | 7    | 352                                  | 4    | 88                 | 600                   |
| Spot 71  | 84,70                        | 0,0603                               | 0,0008 | 0,1028                              | 0,0014 | 0,8544                              | 0,0138 | 0,0272                               | 0,0004 | 0,9993                          | 615                                  | 30   | 631                                 | 8    | 627                                 | 8    | 543                                  | 7    | 101                | 631                   |
| Spot 72  | 61,69                        | 0,0611                               | 0,0009 | 0,0786                              | 0,0011 | 0,6617                              | 0,0110 | 0,0213                               | 0,0003 | 0,9414                          | 642                                  | 31   | 488                                 | 7    | 516                                 | 7    | 427                                  | 7    | 95                 | 488                   |
| Spot 73  | 74,50                        | 0,0606                               | 0,0009 | 0,0825                              | 0,0012 | 0,6884                              | 0,0118 | 0,0219                               | 0,0003 | 0,9364                          | 624                                  | 32   | 511                                 | 7    | 532                                 | 7    | 438                                  | 6    | 96                 | 511                   |
| Spot 74  | 67,57                        | 0,0600                               | 0,0009 | 0,0979                              | 0,0014 | 0,8093                              | 0,0139 | 0,0263                               | 0,0004 | 0,9129                          | 603                                  | 33   | 602                                 | 8    | 602                                 | 8    | 525                                  | 8    | 100                | 602                   |
| Spot 75  | 125,63                       | 0,1171                               | 0,0019 | 0,3234                              | 0,0048 | 5,2215                              | 0,0926 | 0,0838                               | 0,0014 | 0,8933                          | 1913                                 | 29   | 1806                                | 23   | 1856                                | 15   | 1627                                 | 26   | 94                 | 1913                  |
| Spot 75r | 80,02                        | 0,1135                               | 0,0015 | 0,3305                              | 0,0045 | 5,1672                              | 0,0779 | 0,0813                               | 0,0012 | 0,9624                          | 1856                                 | 24   | 1841                                | 22   | 1847                                | 13   | 1579                                 | 22   | 99                 | 1856                  |
| Spot 76  | 34,20                        | 0,0739                               | 0,0009 | 0,1734                              | 0,0024 | 1,7660                              | 0,0253 | 0,0399                               | 0,0006 | 0,8516                          | 1038                                 | 23   | 1031                                | 13   | 1033                                | 9    | 790                                  | 11   | 99                 | 1038                  |
| Spot 76r | 33,63                        | 0,1215                               | 0,0065 | 0,1845                              | 0,0053 | 3,0891                              | 0,1539 | 0,0633                               | 0,0043 | 0,5360                          | 1978                                 | 92   | 1091                                | 29   | 1430                                | 38   | 1241                                 | 81   | 55                 | 1978                  |
| Spot 77  | 137,62                       | 0,0580                               | 0,0014 | 0,0907                              | 0,0014 | 0,7250                              | 0,0185 | 0,0224                               | 0,0004 | 0,6347                          | 529                                  | 54   | 560                                 | 8    | 554                                 | 11   | 447                                  | 8    | 101                | 560                   |
| Spot 79  | 139,88                       | 0,0617                               | 0,0009 | 0,1031                              | 0,0015 | 0,8760                              | 0,0141 | 0,0249                               | 0,0003 | 0,9800                          | 662                                  | 29   | 632                                 | 8    | 639                                 | 8    | 497                                  | 6    | 99                 | 632                   |
| Spot 80  | 80,89                        | 0,0641                               | 0,0009 | 0,0781                              | 0,0011 | 0,6900                              | 0,0113 | 0,0178                               | 0,0002 | 0,9792                          | 745                                  | 29   | 485                                 | 7    | 533                                 | 7    | 357                                  | 4    | 91                 | 485                   |
| Spot 82  | 31,03                        | 0,0717                               | 0,0009 | 0,1310                              | 0,0018 | 1,2938                              | 0,0198 | 0,0363                               | 0,0005 | 0,9039                          | 976                                  | 26   | 793                                 | 10   | 843                                 | 9    | 721                                  | 11   | 94                 | 793                   |
| Spot 83  | 83,78                        | 0,0762                               | 0,0012 | 0,1706                              | 0,0025 | 1,7915                              | 0,0316 | 0,0432                               | 0,0007 | 0,9224                          | 1099                                 | 31   | 1016                                | 14   | 1042                                | 11   | 856                                  | 13   | 92                 | 1099                  |
| Spot 84  | 32,99                        | 0,0757                               | 0,0008 | 0,1215                              | 0,0017 | 1,2678                              | 0,0176 | 0,0324                               | 0,0004 | 0,7735                          | 1088                                 | 21   | 739                                 | 10   | 831                                 | 8    | 644                                  | 8    | 89                 | 739                   |
| Spot 85  | 24,75                        | 0,0828                               | 0,0009 | 0,0903                              | 0,0013 | 1,0307                              | 0,0143 | 0,0149                               | 0,0002 | 0,7685                          | 1264                                 | 21   | 558                                 | 7    | 719                                 | 7    | 298                                  | 4    | 78                 | 558                   |
| Spot 86  | 29,44                        | 0,0656                               | 0,0008 | 0,1317                              | 0,0018 | 1,1915                              | 0,0177 | 0,0340                               | 0,0005 | 0,8617                          | 794                                  | 25   | 798                                 | 10   | 797                                 | 8    | 676                                  | 10   | 100                | 798                   |
| Spot 87  | 51,93                        | 0,0629                               | 0,0008 | 0,0764                              | 0,0011 | 0,6624                              | 0,0101 | 0,0167                               | 0,0002 | 0,8771                          | 705                                  | 26   | 475                                 | 6    | 516                                 | 6    | 334                                  | 4    | 92                 | 475                   |
| Spot 88  | 0,18                         | 0,0627                               | 0,0009 | 0,1363                              | 0,0019 | 1,1794                              | 0,0194 | 0,0337                               | 0,0008 | 0,9305                          | 699                                  | 31   | 824                                 | 11   | 791                                 | 9    | 669                                  | 15   | 104                | 824                   |
| Spot 89  | 30,09                        | 0,0694                               | 0,0009 | 0,0869                              | 0,0012 | 0,8305                              | 0,0124 | 0,0216                               | 0,0004 | 0,8872                          | 909                                  | 25   | 537                                 | 7    | 614                                 | 7    | 432                                  | 7    | 87                 | 537                   |
| Spot 90  | 48,80                        | 0,0727                               | 0,0009 | 0,1706                              | 0,0024 | 1,7088                              | 0,0261 | 0,0401                               | 0,0006 | 0,8862                          | 1005                                 | 25   | 1015                                | 13   | 1012                                | 10   | 795                                  | 11   | 101                | 1005                  |
| Spot 92  | 95,07                        | 0,0778                               | 0,0013 | 0,1893                              | 0,0028 | 2,0308                              | 0,0365 | 0,0467                               | 0,0007 | 0,9072                          | 1142                                 | 32   | 1117                                | 15   | 1126                                | 12   | 923                                  | 14   | 98                 | 1142                  |
| Spot 93  | 42,29                        | 0,0702                               | 0,0009 | 0,1612                              | 0,0023 | 1,5613                              | 0,0242 | 0,0388                               | 0,0006 | 0,9121                          | 936                                  | 26   | 964                                 | 13   | 955                                 | 10   | 770                                  | 11   | 101                | 964                   |
| Spot 94  | 79,55                        | 0,0633                               | 0,0009 | 0,1069                              | 0,0015 | 0,9323                              | 0,0151 | 0,0266                               | 0,0004 | 0,9675                          | 717                                  | 29   | 655                                 | 9    | 669                                 | 8    | 530                                  | 7    | 98                 | 655                   |
| Spot 95  | 76,78                        | 0,0606                               | 0,0008 | 0,0843                              | 0,0012 | 0,7039                              | 0,0115 | 0,0220                               | 0,0003 | 0,9826                          | 624                                  | 30   | 522                                 | 7    | 541                                 | 7    | 439                                  | 6    | 96                 | 522                   |
| Spot 96  | 33,10                        | 0,0624                               | 0,0007 | 0,0762                              | 0,0011 | 0,6552                              | 0,0096 | 0,0159                               | 0,0002 | 0,8341                          | 686                                  | 25   | 474                                 | 6    | 512                                 | 6    | 319                                  | 5    | 93                 | 474                   |
| Spot 97  | 78,48                        | 0,0651                               | 0,0008 | 0,1314                              | 0,0019 | 1,1803                              | 0,0182 | 0,0318                               | 0,0004 | 0,9052                          | 779                                  | 26   | 796                                 | 11   | 792                                 | 8    | 632                                  | 8    | 101                | 796                   |
| Spot 98  | 87,10                        | 0,0654                               | 0,0010 | 0,0750                              | 0,0011 | 0,6767                              | 0,0116 | 0,0206                               | 0,0003 | 0,9424                          | 788                                  | 31   | 466                                 | 6    | 525                                 | 7    | 412                                  | 6    | 89                 | 466                   |
| Spot 100 | 15,42                        | 0,0734                               | 0,0010 | 0,1697                              | 0,0024 | 1,7183                              | 0,0272 | 0,0437                               | 0,0010 | 0,9399                          | 1026                                 | 27   | 1011                                | 13   | 1015                                | 10   | 864                                  | 18   | 99                 | 1026                  |
| Spot 101 | 12,93                        | 0,0587                               | 0,0010 | 0,0875                              | 0,0013 | 0,7074                              | 0,0130 | 0,0251                               | 0,0007 | 0,8555                          | 555                                  | 36   | 541                                 | 7    | 543                                 | 8    | 500                                  | 15   | 100                | 541                   |
| Spot 102 | 65,92                        | 0,0616                               | 0,0010 | 0,0827                              | 0,0012 | 0,7021                              | 0,0122 | 0,0203                               | 0,0003 | 0,9246                          | 659                                  | 33   | 512                                 | 7    | 540                                 | 7    | 406                                  | 7    | 95                 | 512                   |
| Spot 103 | 0,68                         | 0,0591                               | 0,0010 | 0,1041                              | 0,0014 | 0,8490                              | 0,0149 | 0,0242                               | 0,0004 | 0,8608                          | 572                                  | 35   | 639                                 | 8    | 624                                 | 8    | 482                                  | 8    | 102                | 639                   |
| Spot 104 | 62,76                        | 0,0610                               | 0,0013 | 0,0869                              | 0,0014 | 0,7311                              | 0,0162 | 0,0205                               | 0,0004 | 0,7400                          | 639                                  | 44   | 537                                 | 8    | 557                                 | 10   | 410                                  | 8    | 96                 | 537                   |

Table 2. (continued)

| Analysis  | Th/U   | Isotopic Ratios <sup>a</sup>         |        |                                     |        |                                     |        |                                      |        | Age Estimates <sup>a</sup> (Ma) |                                      |      |                                     |      |                                     |      |                                      | Conc. <sup>c</sup> | Eff. Age <sup>d</sup> |      |
|-----------|--------|--------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------------------------|--------|---------------------------------|--------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|------|
|           |        | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ± 1σ   | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ± 1σ   | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ± 1σ   | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th | ± 1σ   | Rho <sup>b</sup>                | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | ± 1σ | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U | ± 1σ | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U | ± 1σ | <sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th |                    |                       | ± 1σ |
| Spot 105  | 86,64  | 0,0586                               | 0,0009 | 0,0884                              | 0,0013 | 0,7142                              | 0,0121 | 0,0220                               | 0,0003 | 0,9594                          | 551                                  | 32   | 546                                 | 7    | 547                                 | 7    | 440                                  | 6                  | 100                   | 546  |
| Spot 106  | 33,87  | 0,0763                               | 0,0012 | 0,1541                              | 0,0023 | 1,6196                              | 0,0292 | 0,0368                               | 0,0011 | 0,9573                          | 1102                                 | 31   | 924                                 | 13   | 978                                 | 11   | 730                                  | 22                 | 94                    | 924  |
| Spot 108  | 0,40   | 0,0732                               | 0,0009 | 0,1827                              | 0,0024 | 1,8448                              | 0,0272 | 0,0416                               | 0,0007 | 0,9506                          | 1021                                 | 26   | 1082                                | 13   | 1062                                | 10   | 823                                  | 14                 | 106                   | 1021 |
| Spot 109  | 0,36   | 0,0763                               | 0,0010 | 0,0951                              | 0,0013 | 1,0003                              | 0,0145 | 0,0184                               | 0,0004 | 0,9487                          | 1104                                 | 25   | 585                                 | 7    | 704                                 | 7    | 369                                  | 7                  | 83                    | 585  |
| Spot 110  | 0,28   | 0,0618                               | 0,0013 | 0,1034                              | 0,0015 | 0,8802                              | 0,0190 | 0,0187                               | 0,0005 | 0,6990                          | 665                                  | 44   | 634                                 | 9    | 641                                 | 10   | 374                                  | 11                 | 99                    | 634  |
| Spot 112  | 65,03  | 0,0623                               | 0,0011 | 0,0973                              | 0,0014 | 0,8359                              | 0,0162 | 0,0276                               | 0,0006 | 0,8205                          | 684                                  | 37   | 599                                 | 8    | 617                                 | 9    | 551                                  | 13                 | 97                    | 599  |
| Spot 113  | 107,75 | 0,1069                               | 0,0014 | 0,3058                              | 0,0044 | 4,5050                              | 0,0702 | 0,0808                               | 0,0015 | 0,8993                          | 1747                                 | 23   | 1720                                | 22   | 1732                                | 13   | 1571                                 | 27                 | 98                    | 1747 |
| Spot 114r | 94,54  | 0,0597                               | 0,0025 | 0,1001                              | 0,0019 | 0,8237                              | 0,0331 | 0,0242                               | 0,0007 | 0,4699                          | 594                                  | 86   | 615                                 | 11   | 610                                 | 18   | 483                                  | 14                 | 101                   | 615  |
| Spot 115  | 41,64  | 0,0725                               | 0,0010 | 0,1752                              | 0,0025 | 1,7507                              | 0,0284 | 0,0445                               | 0,0009 | 0,9498                          | 999                                  | 28   | 1041                                | 14   | 1027                                | 11   | 881                                  | 16                 | 101                   | 1041 |
| Spot 116  | 103,86 | 0,0724                               | 0,0011 | 0,1684                              | 0,0025 | 1,6803                              | 0,0299 | 0,0434                               | 0,0008 | 0,9270                          | 996                                  | 32   | 1004                                | 14   | 1001                                | 11   | 859                                  | 16                 | 100                   | 1004 |
| Spot 117  | 19,94  | 0,0616                               | 0,0009 | 0,1016                              | 0,0015 | 0,8632                              | 0,0146 | 0,0265                               | 0,0006 | 0,9950                          | 661                                  | 31   | 624                                 | 9    | 632                                 | 8    | 529                                  | 12                 | 99                    | 624  |
| Spot 118  | 0,63   | 0,0711                               | 0,0015 | 0,1586                              | 0,0023 | 1,5547                              | 0,0339 | 0,0333                               | 0,0007 | 0,6904                          | 961                                  | 43   | 949                                 | 13   | 952                                 | 13   | 662                                  | 14                 | 100                   | 949  |
| Spot 118r | 11,08  | 0,0639                               | 0,0010 | 0,1273                              | 0,0018 | 1,1210                              | 0,0188 | 0,0380                               | 0,0010 | 0,9360                          | 740                                  | 31   | 772                                 | 10   | 764                                 | 9    | 753                                  | 19                 | 101                   | 772  |
| Spot 119  | 38,30  | 0,0630                               | 0,0008 | 0,1129                              | 0,0016 | 0,9811                              | 0,0153 | 0,0280                               | 0,0005 | 0,8903                          | 709                                  | 27   | 690                                 | 9    | 694                                 | 8    | 558                                  | 10                 | 99                    | 690  |
| Spot 120  | 0,71   | 0,0731                               | 0,0011 | 0,1672                              | 0,0023 | 1,6840                              | 0,0275 | 0,0323                               | 0,0005 | 0,9103                          | 1017                                 | 30   | 997                                 | 13   | 1003                                | 10   | 643                                  | 10                 | 99                    | 997  |
| Spot 121  | 1,39   | 0,0593                               | 0,0015 | 0,0966                              | 0,0015 | 0,7892                              | 0,0203 | 0,0180                               | 0,0003 | 0,5891                          | 577                                  | 55   | 595                                 | 9    | 591                                 | 12   | 361                                  | 7                  | 101                   | 595  |
| Spot 122  | 29,25  | 0,0646                               | 0,0007 | 0,1293                              | 0,0018 | 1,1521                              | 0,0168 | 0,0320                               | 0,0005 | 0,8026                          | 762                                  | 24   | 784                                 | 10   | 778                                 | 8    | 636                                  | 10                 | 101                   | 784  |
| Spot 123  | 0,41   | 0,0674                               | 0,0025 | 0,1253                              | 0,0023 | 1,1642                              | 0,0423 | 0,0285                               | 0,0012 | 0,4826                          | 850                                  | 76   | 761                                 | 13   | 784                                 | 20   | 568                                  | 23                 | 97                    | 761  |
| Spot 124  | 27,94  | 0,0874                               | 0,0010 | 0,2417                              | 0,0036 | 2,9148                              | 0,0441 | 0,0469                               | 0,0011 | 0,7943                          | 1370                                 | 22   | 1396                                | 18   | 1386                                | 11   | 926                                  | 21                 | 102                   | 1370 |
| Spot 125  | 36,90  | 0,0615                               | 0,0011 | 0,1002                              | 0,0015 | 0,8489                              | 0,0161 | 0,0287                               | 0,0006 | 0,8586                          | 655                                  | 36   | 616                                 | 9    | 624                                 | 9    | 572                                  | 12                 | 99                    | 616  |
| Spot 127  | 42,04  | 0,0864                               | 0,0011 | 0,1718                              | 0,0025 | 2,0459                              | 0,0318 | 0,0542                               | 0,0009 | 0,8935                          | 1347                                 | 25   | 1022                                | 14   | 1131                                | 11   | 1066                                 | 18                 | 76                    | 1347 |
| Spot 128  | 104,56 | 0,0665                               | 0,0010 | 0,1035                              | 0,0015 | 0,9489                              | 0,0160 | 0,0270                               | 0,0005 | 0,9864                          | 822                                  | 30   | 635                                 | 9    | 678                                 | 8    | 538                                  | 9                  | 94                    | 635  |
| Spot 130  | 80,33  | 0,0593                               | 0,0010 | 0,0865                              | 0,0013 | 0,7073                              | 0,0138 | 0,0199                               | 0,0005 | 0,8729                          | 579                                  | 37   | 535                                 | 8    | 543                                 | 8    | 398                                  | 9                  | 98                    | 535  |
| Spot 132  | 0,44   | 0,0716                               | 0,0019 | 0,1704                              | 0,0027 | 1,6814                              | 0,0434 | 0,0402                               | 0,0013 | 0,6019                          | 974                                  | 52   | 1014                                | 15   | 1002                                | 16   | 797                                  | 25                 | 101                   | 1014 |
| Spot 134  | 127,43 | 0,0694                               | 0,0012 | 0,1234                              | 0,0018 | 1,1815                              | 0,0222 | 0,0327                               | 0,0006 | 0,8677                          | 912                                  | 35   | 750                                 | 10   | 792                                 | 10   | 651                                  | 11                 | 95                    | 750  |
| Spot 136  | 0,72   | 0,0756                               | 0,0011 | 0,0691                              | 0,0009 | 0,7208                              | 0,0115 | 0,0168                               | 0,0004 | 0,9149                          | 1085                                 | 29   | 431                                 | 6    | 551                                 | 7    | 336                                  | 8                  | 78                    | 431  |
| Spot 137  | 0,71   | 0,0615                               | 0,0017 | 0,1019                              | 0,0016 | 0,8638                              | 0,0232 | 0,0217                               | 0,0006 | 0,5743                          | 657                                  | 57   | 626                                 | 9    | 632                                 | 13   | 433                                  | 12                 | 99                    | 626  |
| Spot 138  | 56,77  | 0,0857                               | 0,0010 | 0,0437                              | 0,0006 | 0,5161                              | 0,0074 | 0,0076                               | 0,0001 | 0,7896                          | 1331                                 | 21   | 276                                 | 4    | 423                                 | 5    | 154                                  | 2                  | 65                    | 276  |

<sup>a</sup>Displayed ratios and ages are uncorrected for common Pb.<sup>b</sup>Error correlation; defined as  $[(\text{err. } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})/(\text{measured } ^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})]/[(\text{err. } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})/(\text{measured } ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})]$ .<sup>c</sup>Degree of concordance (%); defined as  $100 \times [(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U age})/(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U age})]$  for grains <1000 Ma, and  $100 \times [(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U age})/(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb age})]$  for grains >1000 Ma.<sup>d</sup>Effective age; for ages <1000 Ma and >1000 Ma, this corresponds to calculated  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  and  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ages, respectively.

## CAPÍTULO 5

---

### 5.1. CONCLUSÕES

A integração das análises paleoambiental e estratigráfica em combinação com dados de proveniência permitiu desvendar a história neoproterozóica-cambriana da sedimentação siliciclástica do Grupo Alto Paraguai. As principais conclusões obtidas neste trabalho são relevantes à compreensão paleoambiental e paleogeográfica do sudoeste do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte.

A análise de fácies realizada no Grupo Alto Paraguai permitiu a individualização de 11 associações de fácies: 1) plataforma marinha, formada por caracterizado por espessuras decamétricas de pelitos laminados, estes localmente com seixos de arenito disseminados, ritmitos arenito fino/pelito com estratificação cruzada *hummocky*; 2) face litorânea dominada por tempestades, constituída de arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* intercalados com pelitos; 3) planície costeira, consistindo de arenitos finos a grosso com acamamento maciço e estratificação cruzada acanalada, pelitos laminados e silexitos; 4) face litorânea dominada por onda e maré, consistindo de arenitos finos a grossos e conglomerados com diversos tipos de estratificação cruzada (inclinada, tabular, acanalada, às vezes, com foresets recobertos por pelitos), formando barras complexas; 5) face litorânea dominada por ondas e tempestades, caracterizada por arenitos cimentados por dolomita com estratificação cruzada *swaley*, arenitos com estratificações plano-paralela e cruzada acanalada; 6) fluvial entrelaçado, constituído por arenitos médios a grossos e conglomerados com estratificação cruzada acanalada, estratificação plano-paralela, estratificação cruzada de baixo ângulo; 7) Planície de maré/sabkha, caracterizado por pelitos, arenitos finos, dolomitos finos, estromatólitos e nódulos de evaporitos geralmente silicificados; 8) Plataforma marinha dominada por maré e tempestade, consiste de folhelhos/pelitos e arenitos finos com estratificação cruzada sigmoidal com *foresets* recobertos por pelito e arenitos com estratificação cruzada *swaley* e laminação cruzada cavalgante supercrítica; 9) turbiditos distais, constituída por arenitos finos com laminações plano-paralela e cruzada, laminação cruzada subcrítica, siltitos e pelitos laminados com típica coloração vermelha a roxa; 10) prodelta lacustre, caracterizado por pelitos e siltitos laminados, com laminação cruzada Cavalcante subcrítica e arenitos finos maciços subordinados, com mais de 1,5 km de espessura; e 11) frente deltaica, que consiste de arenitos finos a médios com estratificação cruzada sigmoidal, compondo feições lobadas, estratificação plano-paralela e pelitos laminados subordinados.



O trabalho adotou proposta estratigráfica de Almeida (1964) que subdivide as rochas siliciclásticas do Grupo Alto Paraguai nas formações Raizama, Sepotuba e Diamantino. Cabe ressaltar que o termo Formação Sepotuba, excluído de diversos trabalhos mais recentes foi resgatado. Foram propostos membros estratigráficos para o Grupo Alto Paraguai que refletem as associações de fácies definidas. O membro inferior da Formação Raizama foi depositado em plataforma marinha localmente influenciada por fluxo de detritos e face litorânea com influência de tempestades, enquanto o membro superior registra a deposição de face litorânea dominada por onda, tempestades e maré associada a uma planície costeira com canais fluviais entrelaçados. O membro inferior da Formação Sepotuba representa depósitos restritos de planície de maré carbonática enquanto o membro superior consiste nos depósitos de plataforma marinha siliciclástica. A Formação Diamantino foi interpretada como depósitos de turbiditos (membro inferior), prodelta lacustre (membro intermediário) e frente deltaica (membro superior). O estudo litoestratigráfico e faciológico do Grupo Alto Paraguai estabeleceu a base para a correlação regional desta unidade ao longo da Faixa Paraguai e Sul do Cráton Amazônico.

A evolução do Grupo Alto Paraguai envolveu a deposição de um sistema costeiro progradante dominado por processos fluviais e influenciado por ondas, maré e tempestades conectado a uma plataforma marinha dominada por tempestades e, localmente, por fluxos de detritos (Formação Raizama). A indicação prévia alguns autores de sugerir condições glaciais usando uma única fácies (pelitos seixosos) ainda necessita de um maior estudo estratigráfico e faciológico de outras áreas a leste, para testar a extensão desses depósitos. Ao contrário das interpretações que sugerem condições iniciais de deposição glacial, a presença de fácies sedimentares desprovidas em grande parte de feldspato, bem como a ocorrência de tempestitos sugerem condições climáticas tropicais. O sistema deposicional descrito aqui fornece informações importantes para melhorar o entendimento paleoclimático e paleogeográfico da Bacia Paraguai.

O ultimo evento transgressivo na bacia Paraguai promoveu o estabelecimento de planície de maré/*sabkha* nas porções mais rasas da bacia a oeste (membro inferior da Formação Sepotuba), lateralmente a uma plataforma marinha dominada por tempestade na parte central e leste da bacia (membro superior da Formação Sepotuba). O confinamento deste oceano em antefossas na margem do Craton Amazônico formou um lago/mar restrito preenchido por depósitos de turbiditos (membro inferior da Formação Diamantino) e lacustre (membro intermediário da Formação Diamantino) culminando na progradação de frente deltaica (membro superior da Formação Diamantino), suprida por áreas fontes

neoproterozóicas de idade de 600 a 500 Ma (método U-Pb) situadas a sudeste e leste, relacionadas à Faixa Brasília e ao próprio orógeno Paraguay. Este estágio final representa a amalgamação final do Gondwana Ocidental, marcado pelo fechamento do Oceano Clymene do Neoproterozóico entre o Craton Amazônico e Gondwana Central estabelecendo o segmento norte da Faixa Paraguai.

## REFERÊNCIAS

- Adams A.E., Mackenzie W.S., Guilford C. 1984. Atlas of sedimentary rocks under the microscope. Longman, Harlow, 104 p.
- Albuquerque P.R.F. 2001. Reavaliação de estruturas de possível origem biogênica (icnofósseis, dubiofósseis e estruturas associadas) do Grupo Alto Paraguai (Vendiano ou Cambriano) – MT. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 120 p.
- Alkmin F.F., Marshak S., Fonseca M.A. 2001. Assembling West Gondwana in the Neoproterozoic: Clues from the São Francisco Craton region, Brazil. *Geology*, **29**: 319-322.
- Allen J.R.L. 1980. Sand Waves: a model of origin and internal structure. *Sedimentary Geology*, **26**: 281-328.
- Allen P.A. & Hoffman P.F. 2005. Extreme winds and waves in the aftermath of a Neoproterozoic glaciation. *Nature*, **433**: 123-127.
- Allen P.A. & Leather J. 2006. Post-Marinoan marine siliciclastic sedimentation: The Masirah Bay Formation, Neoproterozoic Huqf Supergroup of Oman. *Precambrian Research.*, **144**: 167-198.
- Almeida F.F.M. & Mantovani, M.S.M. 1975. Geologia e geocronologia do Granito São Vicente, Mato Grosso. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **47**: 451-458.
- Almeida F.F.M. 1964a. Geologia do Centro-Oeste mato-grossense. Rio de Janeiro, DNPM, Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia 215, p. 1-54.
- Almeida F.F.M. 1964b. Glaciação eocambriana em Mato Grosso. *Notas Prel. e Est.* Rio de Janeiro, DNPM, Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia Rio de Janeiro 117, p. 1-11.
- Almeida F.F.M. 1965a. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso). Rio de Janeiro, DNPM, Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia 219, p. 1-96.
- Almeida F.F.M. 1965b. Geossiclíneo Paraguaio. 1ª. Semana de Debates Geológicos, *Centro Acad. Est. Geol.* Porto Alegre, p. 88-109.
- Almeida F.F.M. 1984. Província Tocantins, setor Sudoeste. In: Almeida F.F.M. & Hasui Y. (coord.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo, Edgard Blücher, p. 265-281.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SBG, Simp. Geol. Nordeste, 7, *Atas*, p. 363-391.
- Alvarenga C.J.S. 1988. Turbiditos e a glaciação do final do Proterozóico Superior no Cinturão dobrado Paraguaio, Mato Grosso. *Rev. Bras. Geoc.*, **18**(3): 323-327.
- Alvarenga C.J.S. 1990. Phénomènes sédimentaires, structuraux et circulation de fluides développés à la transition chaîne-craton. Exemple de chaîne Paraguaio d'âge protérozoïque supérieur, Mato Grosso, Brésil. Tese de Doutorado. Univ. Aix-Marseille III, França. 177 p.
- Alvarenga C.J.S. & Saes G.S. 1992. Estratigrafia e sedimentologia do Proterozóico Médio e Superior da região Sudeste do Cráton Amazônico. *Rev. Bras. Geoc.*, **22**(4): 493-499.

- Alvarenga C.J.S. & Trompette R. 1992. Glacial Influenced Sedimentation in the Later Proterozoic of The Paraguay Belt (Mato Grosso, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **92**: 85-105.
- Alvarenga C.J.S. & Trompette R. 1993. Evolução tectônica brasileira da Faixa Paraguai: a estruturação da região de Cuiabá. *Rev. Bras. Geoc.*, **23**(1): 18-30.
- Alvarenga C.J.S. & Trompette R. 1994. A Faixa Paraguai e sua compartimentação estratigráfica e tectônica. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 38, *Anais*, **1**: 239-240.
- Alvarenga C.J.S., Moura C.A.V., Gorayeb P.S.S., Abreu F.A.M. 2000. Paraguay and Araguaia Belts. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, ABC/DNPM/MCT/CNPq/FINEP/ANP. p. 183-193.
- Alvarenga C.J.S., Santos R.V., Dantas E.L. 2004. C-O-Sr isotopic stratigraphy in cap carbonate overlying Marionan-age glacial diamictites in Paraguay Belt, Brazil. *Precambrian Research*, **131**(1-2): 1-21.
- Alvarenga C.J.S., Figueiredo M.F., Babinski M., Pinho F.E.C. 2007. Glacial diamictites of Serra Azul Formation (Ediacaran, Paraguay belt): Evidence of the Gaskiers glacial event in Brazil. *Journal of South American Earth Science*, **23**: 236-241.
- Anderton R. 1976. Tidal-shelf sedimentation: an example from the Scottish Dalradian. *Sedimentology*, **23**: 429-458.
- Arnot M.J., Good T.R., Lewis J.J.M. 1997. Photogeological and image-analysis techniques for collection of large-scale outcrop data. *J. Sediment. Res.*, **67**(5): 984-987.
- Arnott, R.W. & Southard J.B. 1990. Exploratory flow-duct experiments on combined-flow bed configurations, and some implications for interpreting storm-event stratification. *Journal of Sedimentary Petrology*, **60**: 211-219.
- Bandeira J. & Nogueira A.C.R. (submetido). Litoestratigrafia do Grupo Alto Paraguai, Neoproterozóico-Cambriano da Faixa Paraguai Norte e Sul do Cráton Amazônico. *Revista Brasileira Geociências*.
- Bandeira J., Nogueira A.C.R., Riccomini C. (submetido). Depósitos progradantes fluvio-costeiros influenciados por maré e tempestades da Formação Raizama, Grupo Alto Paraguai, Neoproterozóico do sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte. *Revista Brasileira Geociências*.
- Bandeira J., McGee B., Nogueira A.C.R., Collins A.S., Trindade R. (no prelo). Sedimentological and provenance response to Cambrian closure of the Clymene ocean: The upper Alto Paraguai Group, Paraguay belt, Brazil. *Gondwana Research* (Aceito ainda sem data de publicação).
- Barros A.M. & Simões M.A. 1980. Levantamento geológico nas porções meio-leste da Folha SD.21-Z-A e extremo noroeste da Folha SD.21-Z-C, abrangendo áreas dos municípios de Raizama, Rosário Oeste, Nobres e Diamantino; operação 511/80. In: Projeto RADAMBRASIL. 31 p. (Relatório Interno RADAMBRASIL, 387-G).
- Barros A.M., Silva R.H., Cardoso O.R.F.A., Freire A.F., Souza Jr. J.J., Rivetti M., Luz D.S., Palmeira R.C.B., Tassinari C.C.G. 1982. Geologia. Folha SD.21 - Cuiabá. In: Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais. v.26, p. 25-192.

- Basei M.A.S. & Brito Neves B.B. 1993. Características Geológicas da Transição Proterozóico-Fanerozóico no Brasil. *In: Gutierrez J.G., Saavedra J., Rabano I. (org.). Paleozoico Inferior de Ibero-America. Universidade de Extremadura, Madrid, Espanha.* p. 331-342.
- Bhattacharya J.P. & Walker R.G. 1992. Deltas. *In: Walker R.G. & James N.P. (eds) Facies models: responses to sea level change.* Canada, Geological Association of Canada. p. 157-177.
- Boersma J.R. & Terwindt J.H.J. 1981. Neap-spring tide sequences of intertidal shoal deposits in a mesotidal estuary. *Sedimentology*, **28**(2): 151-170.
- Bond G.C., Nickeson P.A., Kominz M.A. 1984. Breakup of a supercontinent between 625 Ma and 595 Ma: New evidence and implications for continental histories. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **70**: 325-345.
- Bonhomme M.G., Cordani U.G., Kawashita K., Macedo M.H.F., Thomas Filho A. 1982. Radiochronological age and correlation of Proterozoic sediments in Brazil. *Precambrian Research*, **18**: 103-118.
- Bowring S., Myrow P., Landing E., Ramezani J., Grotzinger J. 2003. Geochronological constraints on terminal neoproterozoic events and rise of metazoans. *Geophysical Research*, Abstracts 5, 13219.
- Boyd R., Dalrymple R., Zaitlin B.A. 2006. Estuarine and incised-valley facies models. *In: Posamentier H.W. & Walker R.G. (eds.). Facies Models Revisited.* SEPM Special Publication, 84, p. 171-235.
- Bruto Neves B.B., Campos Neto M.C., Fuck R. 1999. From Rodinia to western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*, **22**(3): 155-166.
- Bromley M.H. 1991. Variations in fluvial style as revealed by architectural elements, Kayenta Formations, Mesa Creek, Colorado, USA: evidence for both ephemeral and perennial fluvial process. *In: Miall A.D. & Tyler N. (eds.). The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery.* Soc. Econ. Paleont. Miner., Concepts Sediment. Paleont., 3, p. 94-102.
- Bryant I.D. & Smith M.P. 1990. A composite tectonic-eustatic origin for shelf sandstones at the Cambrian-Ordovician boundary in North Greenland. *Journal of the Geological Society*, **147**: 795-809.
- Cheel R.J. & Leckie D.A. 1993. Hummocky cross-stratification. *In: Wright V.P. (ed.). Sedimentology Review.* Cambridge, Blackwell Scientific Publication. p. 103-122.
- Christie-Blick N., Dyson I.A., Von Der Borch C.C. 1995. Sequence stratigraphy and the interpretation of Neoproterozoic Earth history. *Precamb. Res.*, **73**: 3-26.
- Coleman J.M. & Prior D.B. 1982. Deltaic environments of deposition. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, **31**: 139-178.
- Cordani U.G., Kawashita K., Thomaz Filho A. 1978. Applicability of the rubidium-strontium methods to shales and related rocks. *In: Cohee B.V. et al. (eds). Contributions to the geologic time scale.* Am. Ass. Petrol. Geol., Studies in Geology, **6**: 93-117.

- Cordani U.G., Thomaz Filho A., Brito Neves B.B., Kawashita K. 1985. On the applicability of the Rb-Sr method to argillaceous sedimentary rocks: some examples from Precambrian sequences of Brazil. *Giornale Geol.*, **471**: 253-280.
- Cowan E.J. 1991. The large-scale architecture of fluvial westernwater Canyon Member, Morrison Formation (jurassic), San Juan Basin, New Mexico. In: Miall A.D. & Tyler, N. (Eds). *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. SEPM, Concepts Sediment. Paleont., 3, p. 80-93.
- Cozzi A., Grotzinger J.P., Allen P.A. 2004. Evolution of a terminal Neoproterozoic carbonate ramp system (Buah Formation, Sultanate of Oman): effects of basement palaeotopography. *Bull. Geol. Soc. Am.* **116**: 1367-1384.
- Dalrymple R.W. 1992. Tidal depositional systems. In: Walker R.G. & James N.P. (eds.) *Facies Models: response to sea level change*. Ontario, Geol. Assoc. Canada. 454 p.
- Dalziel I.W.D. 1992. On the organization of American plates in the Neoproterozoic and the breakout of Laurentia. *GSA Today*, **2**: 240-241.
- Dantas E.L., Alvarenga C.J.S., Ventura R., Pimentel M.M. 2009. Using Nd isotopes to understand the provenance of sedimentary rocks from a continental margin to a foreland basin in the Neoproterozoic Paraguay Belt, Central Brazil. *Precambrian Research*, **170**: 01-12.
- De Boer P.L., Oost A.P., Visser M.J. 1989. The diurnal inequality of the tide as a parameter for recognising tidal influences. *Journal of Sedimentary Petrology*, **59**: 912-921.
- De Raaf, J.F.M. & Boersma, J.R. 1971. Tidal deposits and their sedimentary structures (seven examples from western Europe). *Geologie en Mijnbouw*. **50**: 479-504.
- De Raaf J.F.M, Boersma J.R., Van Gelder A. 1977. Wave generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology*, **4**: 1-52.
- Del'Arco J.O., Silva R.H., Tarapanoff I., Freire F.A., Pereira L.G.M., Souza S.L., Luz L.G., Palmeira R.C.B, Tassinari C.C.G. 1982. Geologia. Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE 20. In: Projeto RADAM BRASIL, Levantamento de Recursos Naturais. v.27, p. 25-160 (Levantamento de Recursos Naturais).
- Del'Arco J.O., Silva R.H., Tarapanoff I., Pereira L.G.M., Souza S.L., Luz D.S. 1981. Geologia do Pré-Cambriano na Folha SE 21- Corumbá. In: SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, Goiânia. *Atas*, p. 154-176.
- Derry L.A., Kaufman A.J., Jacobson S.B. 1992. Sedimentary cycling and environmental change in the Late Proterozoic: evidence from stable and radiogenic isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**: 1317-1329.
- Dott Jr R.H. & Bourgeois J. 1983. Hummocky stratification--significance of its variable bedding sequences. Reply: *Geol. Soc. Am. Bull.*, **94**: 1249-1251.
- Duke W.L., Arnott R.W., Cheel R.J. 1991. Shelf sandstones and hummocky cross-stratification; new insights in a stormy debate. *Geology*, **19**: 625-628.
- Duke W.L. & Prave A.R. 1992. Storm-and tide-influenced prograding shoreline sequences in the Middle Devonian Mahantango Formation, Pennsylvania. In: Smith D.G., Reison G.E., Zaitlin B.A., Rahmani R.A. (eds.). *Clastic Tidal Sedimentology*. Canadian Soc. Petrol. Geol., Memoir 16, p. 49-370.



- Evans J.W. 1894. The geology of Mato Grosso (Particularly the region drained by the upper Paraguay), *Quart. Journal Soc. London*, Londres, **50**(2): 85-104.
- Eyles C.H. 1988. Glacially and tidally-influenced shallow marine sedimentation of the Late Precambrian Port Askaig Formation, Scotland. *Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoecol.*, **68**: 1-25.
- Fedo C.M. & Cooper J.D. 1992. Braided fluvial to marine transition: the basal Lower Cambrian Wood Canyon Formation, Southern Manble Mountains, Mojave Desert, California. *J. Sed. Petrol.*, **60**(2): 220-234.
- Figueiredo A.J.A. & Olivatti O. 1974. O Projeto Alto – Guaporé. Relatório final integrado. Goiânia, DNPM/CPRM, 11. (Relatório do arquivo técnico da DGM, 2323).
- Figueiredo M.F., Babinski M., Alvarenga C.J.S., Pinho F.E.C. 2008. Nova unidade litoestratigráfica registra glaciação ediacarana em Mato Grosso: Formação Serra Azul. *Geologia USP. Série Científica*, **8**(2): 65-74.
- Folk R.L. 1974. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Hemphill Publishing. 182 p.
- Font E., Nédélec A., Trindade R.I.F., Macouin M., Charriere A. 2006. Chemostratigraphy of the Neoproterozoic Mirassol d'Oeste cap dolostones (Mato Grosso, Brazil): An alternative model for Marinoan cap dolostones formation. *Earth and Planetary Science Letters*, **250**: 89-103.
- Goodall T.M., North C.P., Glennie K.W. 2000. Surface and subsurface sedimentary structures produced by crusts. *Sedimentology*, **47**: 99-118.
- Halverson G., Dudas F.O., Maloof A.C., Bowring S.A. 2007. Evolution of the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  composition of Neoproterozoic seawater. *Palaeogeog. Palaeoclimat., Palaeoecol.*, doi:10.1016/j.palaeo.2007.02.028.
- Halverson G.P., Hoffman P.F., Schrag D.P., Maloof A.C., Rice A.H.N. 2005. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **117**: 1181-1207.
- Harms J.C., Southard J.B., Walker R.G. 1982. *Structures and sequences in clastic rocks*. Soc. Econ. Paleont. Miner. 249 p. (Short course, 9).
- Hasui Y. & Almeida F.F.M. 1970. Geocronologia do Centro-Oeste brasileiro. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, **19**(1): 1-26.
- Hasui Y., Abreu F.A.M., Rangel J.M.R. 1977. Estratigrafia da Faixa de Dobramentos Paraguai Araguaia no centro-norte do Brasil. *Bol. Inst. Geoc.*, **8**: 107-118.
- Hennies W.T. 1966. Geologia do Centro-Norte, Mato Grosso. São Paulo. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP, 65 p.
- Hiscott R.N., James N.P., Pemberton S.G. 1984. Sedimentology and ichnology of the Lower Cambrian Bradore Formation, coastal Labrador: fluvial to shallow-marine transgressive sequence. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, **32**: 11-26.
- Hoffman P.F., Kaufman A.J., Halverson G.P., Schrag D.P. 1998, A Neoproterozoic snowball Earth. *Science*, **281**: 1342-1346.
- Hoffman P.F. & Schrag D.P. 2002. The Snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change: *Terra Nova*, **14**: 129-155.
- James N.P., Narbonne G.M., Kyser T.K. 2001. Late Neoproterozoic cap carbonates: Mackenzie Mountains, northwestern Canada: precipitation and global glacial meltdown. *Can. J. Earth Sci.*, **38**: 1229-1262.

- Jiang G., Christie-Blick N., Kaufman D.M.B., Banerjee D.M., Vibhuti R. 2002. Sequence stratigraphy of the Neoproterozoic Infra Krol Formation and Krol Group, Lesser Himalaya, India. *J. Sediment. Res.*, **72**: 524-542.
- Johnson H.D. & Baldwin C.T. 1996. Shallow clastic seas. *In*: Reading H.G. *Sedimentary environments: processes, facies, and stratigraphy*. 3a. ed. Blackwell Science. p. 232-280.
- Kennedy M.J. 1996. Stratigraphy, sedimentology, and isotopic geochemistry of Australian Neoproterozoic postglacial cap dolostones: Deglaciation,  $\delta^{13}\text{C}$  excursions, and carbonate precipitation, *Journal of Sedimentary Research*, **66**: 1050-1064.
- Kirschvink J.L. 1992. Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the snowball Earth. *In*: Schopf J.W. & Klein C. (eds.). *The Proterozoic Biosphere*. Cambridge University Press. p. 51-52
- Leckie D.A. & Walker R.G. 1982. Storm and tide-dominated shorelines in Cretaceous Moosebar-Lower Gates interval-outcrop equivalents of deep basin gas trap in western Canada. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **66**(2): 138-157.
- Long D.G.F. 1978. Proterozoic stream deposits some problems of recognition and interpretation of ancient sandy fluvial systems. *In*: Miall A.D. (ed.) *Fluvial Sedimentology*. Calgary, Can. Soc. Petrol. Geol., p. 313-341 (Memoir 5).
- Luz J.S., Oliveira A.M., Lemos D.B., Argolo J.L., Souza N.B., Abreu Filho W. 1978. Projeto Província Serrana. Relatório final. Goiânia, DNPM/CPRM. v.1. 136 p.
- Luz J.S., Oliveira A.M., Souza J.O., Motta J.F.M., Tanno L.C., Carmo L.S., Souza N.B. 1980. Projeto Coxipó. Relatório final. Goiânia, DNPM/CPRM. v.1. 136 p.
- MacNaughton R.B., Dalrymple R.W., Narbonne G.N. 1997. Early Cambrian braided delta deposits, Mackenzie Mountains, northwestern Canada. *Sedimentology*, **44**: 587-609.
- McCrory V.L.C. & Walker R.G. 1986. A storm- and tidally influenced prograding shoreline - Upper Cretaceous Milk River Formation southern Alberta, Canada. *Sedimentology*, **33**: 47-60.
- McGee B., Collins A.S., Trindade R.I.F. (no prelo). G'day Gondwana – birth of a supercontinent: U/Pb ages for the post-orogenic São Vicente granite, Mato Grosso, Brazil. *Gondwana Research* (Aceito ainda sem data de publicação).
- McKie T. 1990. Tidal and storm influenced sedimentation from a Cambrian transgressive passive margin sequence. *J. Geol. Soc.*, **147**: 785-794.
- Mellere D. 1994. Sequential development of an estuarine valley fill the Twowells Tongue of the Dakota Sandstone, Acoma Basin, New Mexico. *J. Sediment. Res.*, **B64**(4): 500-515.
- Miall A.D. 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth Science Reviews*, **13**: 1-62.
- Miall A. 1981. *Analysis of fluvial depositional systems*. Am. Assoc. Petr. Geol., Cont. Educ. Course, Note Series 20, 75 p.
- Miall A.D. 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Sci. Rev.*, **22**(4): 105-118.

- Miall A.D. 1991. Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks and their relationship to sedimentation rate. In: Miall A.D. & Tyler N. (eds.). *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. Tulsa, SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology, 3, p. 6-12.
- Mohrig D., Whipple K.X., Hondzo M., Ellis C., Parker G. 1998, Hydroplaning of subaqueous debris flows. *Geological Society of America Bulletin*, **110**: 387-394.
- Myrow P.M. 1992. Pot and gutter casts from the Chapel Island Formation, southeast Newfoundland. *J. Sediment. Petrol.* **62**: 992-1007.
- Narbonne G.M. & Aitken J.D. 1995. Neoproterozoic of the Mackenzie Mountains, northwestern Canada. *Precambrian Res.*, **73**(1-4): 101-121.
- Narbonne G.M., Kaufman A.J., Knoll A.H. 1994. Integrated chemostratigraphy and biostratigraphy of the upper Windermere Supergroup (Neoproterozoic), northwestern Canada: Implications for Neoproterozoic correlations and the early evolution of animals. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **106**: 1281-1292.
- Nio S.D. & Yang C.S. 1991. Sea-level fluctuation and the geometric variability of tide-dominated sandbodies. *J. Sediment. Geol.*, **70**: 161-193.
- Nogueira A.C.R. 2003. A plataforma carbonática Araras no sudeste do Cráton Amazônico, Mato Grosso: Estratigrafia, contexto paleoambiental e correlação com os eventos glaciais do Neoproterozóico. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 173 p.
- Nogueira A.C.R. 2004. Depósitos siliciclásticos costeiros influenciados por maré e tempestades da Formação Raizama, Neoproterozóico da Faixa paraguai, MT. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 42, *Anais*. Disponível em: [http://sbgeo.org.br/pub\\_sbg/cbg/2004-ARAXA/07\\_322\\_NOGUEIRAACR.pdf](http://sbgeo.org.br/pub_sbg/cbg/2004-ARAXA/07_322_NOGUEIRAACR.pdf). Acessado em 22 de fevereiro de 2011.
- Nogueira A.C.R. & Riccomini C. 2006. O Grupo Araras (Neoproterozóico) na parte norte da Faixa Paraguai e sul do Cráton Amazônico, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, **36**: 623-640.
- Nogueira A.C.R., Riccomini C., Sial A.N., Moura C.A.V., Fairchild T.R., 2003. Soft sediment deformation at the Neoproterozoic Puga cap carbonate (southwestern Amazon craton, Brazil): conformation of rapid icehouse to greenhouse transition in Snowball Earth. *Geology*, **31**: 613-616.
- Nogueira A.C.R., Riccomini C., Sial A.N., Moura C.A.V., Trindade R.I.F., Fairchild T.R. 2007. Carbon and strontium isotope fluctuations and paleoceanographic changes in the late Neoproterozoic Araras carbonate platform, southern Amazon craton, Brazil. *Chemical Geology*, **237**: 168-190.
- Oliveira A.I. & Leonardos O.H. 1943. *Geologia do Brasil*. 2ed. Rio de Janeiro, Serviço Informação Agrícola. 813 p. (Série Didática, 2).
- Payne J.L., Barovich K.M., Hand M. 2006. Provenance of metasedimentary rocks in the northern Gawler Craton, Australia: implications for Palaeoproterozoic reconstructions. *Precambrian Research*, **148**: 275-291.
- Petri S., Coimbra A.M., Amaral G., Ojeda Y Ojeda H., Fúlfaro V.J., Ponçano W.L. 1986. Código brasileiro de nomenclatura estratigráfica. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**(4): 370-415.
- Posamentier H. W. & Kolla V. 2003. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research*, **73**(3): 367-388.

- Posamentier H.W. & Walker R.G. 2006. Deep-water turbidites and submarine fans: Special Publication Society for Sedimentary Geology, **84**: 399-520.
- Prave A.R., Duke W.L., Slattery W. 1996. A deposition model for storm and tide-influenced prograding siliciclastic shorelines from the Middle Devonian of the central Appalachian foreland basin, USA. *Sedimentology*, **43**: 611-629.
- Prave A.R., Duke W.L., Slattery W. 1996. A deposition model for storm and tide-influenced prograding siliciclastic shorelines from the Middle Devonian of the central Appalachian foreland basin, USA. *Sedimentology*, **43**: 611-629.
- Preiss W.V. 1987. The Adelaide Geosyncline. *Geol. Surv. S. Aust. Bull.*, **53**: 438.
- Reading H.G. & Collinson J.D. 1996. Clastic Coast. In: Reading H.G. (editor). *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. 3ed., Blackwell Science, p. 154-231.
- Roe S.L. 1987. Cross-strata and bedforms of probable transitional dune to upper-stage plane-bed origin from a Late Precambrian fluvial sandstone, northern Norway. *Sedimentology*, **34**: 89-101.
- Roe S.L. & Hermansen M. 1993. Processes and products of large, Late Precambrian sandy rivers in northern Norway. In: Marzo M. & Puigdefabregas C. (eds.). *Alluvial Sedimentation*. Int. Ass. Sed., Special Publication, **17**: 151-166.
- Silva Jr J.B.C., Nogueira A.C.R., Petri S., Riccomini C., Trindade R.I.F., Sial A.N., Ridalga R.L. 2007. Depósitos litorâneos neoproterozóicos do Grupo Alto Paraguai no sudoeste do Cráton Amazônico, região de Mirassol d'Oeste, Mato Grosso. *Rev. Bras. Geoc.*, **37**: 595-606.
- Sloss L.L. 1963. Sequences in the cratonic interior of North America. *Geological Society of America Bulletin*, **74**: 93-114.
- Stow, D.A.V., 1986. Deep clastic seas. In: Reading, H.G. (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Scientific Public, Oxford, p. 399-444
- Swift D.J.P. & Niedoroda A.W. 1985. Fluid and sediment dynamics on continental shelves. In: Tillman R.W., Swift D.J.P., Walker R.G. (eds.). *Shelf sands and sandstone reservoirs*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course 13, p. 47-53.
- Tohver E., D'Agrella Filho M.S., Trindade R.I.F. 2006. Paleomagnetic record of Africa and South America for the 1200–500 Ma interval, and evaluation of Rodinia and Gondwana assemblies. *Precambrian Research*, **147**: 193-222.
- Tohver E., Trindade R.I.F., Solum J.G., Hall C.M., Riccomini C., Nogueira A.C. 2010. Closing the Clymene ocean and bending a Brasileiro belt: Evidence for the Cambrian formation of Gondwana, southeast Amazon craton. *Geology*, **38**: 267-270.
- Trindade R.I.F., Font E., D'agrella Filho M.S., Nogueira A.C.R., Riccomini C. 2003. Low-latitude and multiple geomagnetic reversals in the Neoproterozoic Puga cap carbonate, Amazon Craton. *Terra Nova*, **15**: 441-446.
- Trindade R.I.F., D'Agrella Filho M.S., Epof I., Neves B.B.B. 2006. Paleomagnetism of early Cambrian Itabaiana mafic dikes (NE Brazil) and the final assembly of Gondwana. *Earth and Planetary Science Letters*, **244**: 361-377.
- Trompette R. 1994. *Geology of the Western Gondwana (2000 - 500 Ma): Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa*. Rotterdam, 350 p.

- Trompette R. 2000. Gondwana evolution; its assembly at around 600 Ma. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes/ Earth and Planetary Sciences, **330**: 305-315.
- Trompette R., Alvarenga C.J.S., Walde D. 1998. Geological evolution of the Neoproterozoic Corumba graben system (Brazil). Depositional context of the stratified Fe and Mn ores of the Jacadico Group. *J. South Am. Earth Sci.*, **11**(6): 587-597.
- Tucker M.E. 1992. Sedimentary Petrology: an introduction to the Origin of sedimentary rocks. 2ed. Blackwell Scientific Publications, 260 p.
- Tucker M. 2003. Sedimentary Rocks in the Field: The geological field guide series. 3<sup>a</sup> ed., John Wiley & Sons Ltd. 234 p.
- Vail P.R., Mitchum R.M., Todd R.G., Widmier J.M., Thompson S., Sangree J.B., Bubbs J.N., Hatlelid W.G. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In: Payton C.E. (Ed.) *Seismic Stratigraphy- Applications to Hydrocarbon Exploration*. AAPG. p. 49-212 (Memoir 26).
- Visser M.J. 1980. Neap-spring cycles reflected in Holocene subtidal large-scale bedform deposits: a preliminary note. *Geology*, **8**: 543-546.
- Walker R.G. 1990. Facies Modelling and Sequence Stratigraphy. *J. Sediment. Petrol.*, **60**: 777-786.
- Walker R.G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker R.G. & James N.P. (eds.) *Facies Models - Response to Sea Level Change*. Ontario, Geological Association of Canada. p. 1-14.
- Walker R.G. & Cant D.J. 1984. Sandy Fluvial Systems. In: Walker R.G. (ed.) *Facies Models*. Geological Society of Canada Publications, Toronto. p. 71-90.
- Walker R.G. & Plint A.G. 1992. Wave- and storm-dominated shallow marine systems. In: Walker R.G. & James N.P. (eds.) *Facies Models: Response to Sea Level Changes*. Ontario, Canada. *Geol. Assoc. Can.* p. 219-239.
- Wizevich M.C. 1991. Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques. In: Miall A.D. & Tyler N. (Eds.). *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implications for hydrocarbon discovery and recovery*. Tulsa, SEPM. Concepts in Sedimentology and Paleontology, 3. p. 22-24.
- Yagishita K., Arakawa S., Taira A. 1992. Grain fabric of hummocky and swaley cross-stratification. *Sedim. Geology*, **78**: 181-189.
- Zaine M.F. 1991. Análise dos fosséis de parte da Faixa Paraguai (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 218 p.
- Zaine M.F., Ciguel J.H.G., Fairchild T.R. 1991. Icnofosséis na Faixa Paraguai, Formação Raizama, Grupo Alto Paraguai Vendiano/Cambriano), Estado de Mato Grosso, Brasil. In: SBP, Congresso Brasileiro de Paleontologia, 12, *Boletim de Resumos*, p. 111.
- Zaine M.F. & Fairchild T.R. 1992. Considerações paleoambientais sobre a Formação Araras, Faixa Paraguai, estado do Mato Grosso. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 37, São Paulo. *Boletim de Resumos Expandidos*, **2**: 474-475.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

## PARECER

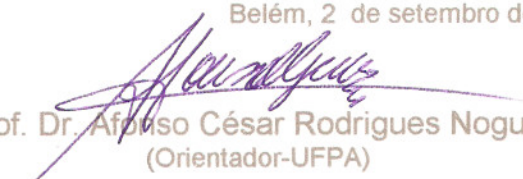
### Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de JOSÉ BANDEIRA CAVALCANTE DA SILVA JÚNIOR

A banca examinadora da tese de doutorado de JOSÉ BANDEIRA CAVALCANTE DA SILVA JÚNIOR, intitulada “SEDIMENTAÇÃO SILICICLÁSTICA E PROVENIÊNCIA DO GRUPO ALTO PARAGUAI (NEOPROTEROZÓICO-CAMBRIANO), BORDA SUL DO CRÁTON AMAZÔNICO E FAIXA PARAGUAI NORTE, ESTADO DO MATO GROSSO”, composta pelos Professores Doutores Afonso César Rodrigues Nogueira (Orientador-UFGA), Renato Paes de Almeida (USP), Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (USP), Candido Augusto Veloso Moura (UFGA) e Werner Truckenbrodt (UFGA) após a apresentação oral e arguição do candidato, emite o seguinte parecer:

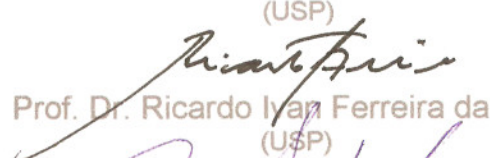
O candidato fez uma apresentação clara e demonstrou segurança durante a arguição respondendo com propriedade os questionamentos dos membros da banca. O documento apresentado foi estruturado em três artigos que representam uma contribuição significativa ao conhecimento da geologia das sucessões siliciclásticas ediacaranas e cambrianas do Cráton Amazônico e da Faixa Paraguai.

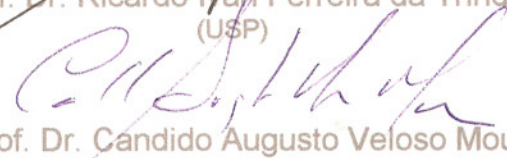
A banca examinadora considerou, por unanimidade, o candidato aprovado.

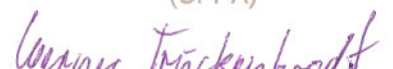
Belém, 2 de setembro de 2011.

  
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
(Orientador-UFGA)

  
Prof. Dr. Renato Paes de Almeida  
(USP)

  
Prof. Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade  
(USP)

  
Prof. Dr. Candido Augusto Veloso Moura  
(UFGA)

  
Prof. Dr. Werner Truckenbrodt  
(UFGA)