

## A Formação Lagoa Formosa, Grupo Bambuí (MG):

### Sistema Depositional de Leque Submarino em Bacia de Ante-País

Alexandre Uhlein<sup>1</sup>, Marcos Cristóvão Baptista<sup>2</sup>, Hildor José Seer<sup>3</sup>, Fabrício de Andrade Caxito<sup>4</sup>,  
Gabriel Jubé Uhlein<sup>5</sup>, Marcel Auguste Dardenne<sup>6</sup>

1 - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa, Av. Antonio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte, CEP 31270-901, Minas Gerais, Brasil. E-mail: uhlein@netuno.igc.ufmg.br

2 - CPRM – Serviço Geológico do Brasil

3 - Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET – Araxá, Minas Gerais

4 - Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG)

5 - Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), Brasil.

6 - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, *in memoriam*

Recebido em 17 de outubro de 2011; aceito em 28 de outubro de 2011

**RESUMO:** Na região de Lagoa Formosa e Carmo do Paranaíba (Alto Rio Paranaíba), situada no oeste de Minas Gerais, afloram rochas metassedimentares pertencentes ao Grupo Bambuí, rochas sedimentares cretácicas pertencentes ao Grupo Areado e rochas vulcânicas e vulcanoclásticas pertencentes ao Grupo Mata da Corda. As rochas neoproterozóicas do Grupo Bambuí, compreendem duas associações de fácies: associação de diamictitos maciços e associação de arenitos, conglomerados, siltitos e carbonatos. Estas associações são representadas por litologias variadas que envolvem contextos diferenciados de deposição. As associações de fácies descritas neste trabalho sugerem uma sedimentação dominada por fluxos gravitacionais subaquosos, com fluxos de detritos e lama e correntes de turbidez, que caracterizam uma sedimentação de leque submarino, em uma bacia do tipo *foreland*. Esta seqüência metassedimentar foi deformada no final da Orogênese Brasileira, apresentando, principalmente, dobras assimétricas e foliação na forma de clivagem ardosiária.

**Palavras chave:** Grupo Bambuí, sedimentação, estratigrafia, reconstrução paleogeográfica, bacia de ante-país.

**ABSTRACT:** THE LAGOA FORMOSA FORMATION, BAMBUÍ GROUP (MG). SUBMARINE FAN DEPOSITIONAL SYSTEM IN *FORELAND* BASIN. On the Lagoa Formosa and Carmo do Paranaíba region, situated in western of Minas Gerais state, outcrop neoproterozoic metasedimentary rocks of Bambuí Group, remnants of cretaceous sedimentary rocks of Areado Group and volcanic rocks of Mata da Corda Group. The Neoproterozoic Bambuí Group shows two facies associations: (1) massive diamictites; (2) sandstones, conglomerates, laminated siltstones and carbonates association. These facies associations exhibit various lithology that involve different depositional systems. These facies associations suggest a slope and base-of-slope systems with subaqueous gravitational flows (submarine fans depositional systems) on a *foreland* basin context. This neoproterozoic sequence was deformed at the end of Brasiliano Orogeny (~600Ma), showing asymmetric folds and slaty cleavage.

**Keywords:** Bambuí Group, sedimentation, stratigraphy, paleogeographic reconstitution, *foreland* basin.

## 1. INTRODUÇÃO

Na região de Lagoa Formosa (Alto Paranaíba), afloram rochas metassedimentares neoproterozóicas relacionadas ao Grupo Bambuí, rochas sedimentares do Grupo Areado e rochas vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Mata da Corda, ambas desenvolvidas no Cretáceo, assim como extensas coberturas cenozóicas arenó-argilosas parcialmente lateritizadas (Seer *et al.*, 1989; Baptista, 2004; Uhlein *et al.*, 2011). Estas unidades estratigráficas são relacionadas à Bacia do São Francisco (Alkmim & Martins Neto, 2001), bacia desenvolvida sobre o Cráton do São Francisco, que ocorre nos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. As litofácies da região de Lagoa Formosa foram descritas, inicialmente, por Seer *et al.* (1987) que tinham dúvidas se as mesmas estariam efetivamente no Grupo Bambuí, pois eram desconhecidas na coluna estratigráfica da unidade, na época. Entretanto, nos últimos anos, surgiram novos trabalhos na região ocidental do Grupo Bambuí (Castro, 1997; Martins Neto *et al.*, 2001; Uhlein *et al.*, 2004) sendo descritos diversos ruditos e psamitos como integrantes do Grupo Bambuí, em especial na região ocidental da bacia. Desta forma, este artigo

apresenta e descreve diferentes litofácies rudíticas e psamíticas, pelíticas e carbonáticas da região de Lagoa Formosa, integrando-as ao Grupo Bambuí, e propondo a designação de Formação Lagoa Formosa. Além disto, propõe-se aqui um modelo de sedimentação de leque submarino para as litofácies pertencentes a Formação Lagoa Formosa (Baptista, 2004; Uhlein *et al.*, 2010; 2011).

## 2. LOCALIZAÇÃO

A área estudada localiza-se no centro-oeste do Estado de Minas Gerais (Fig. 1). Insere-se no contexto geológico da porção sudoeste da Bacia do São Francisco, englobando os municípios de Lagoa Formosa, Areado, Carmo do Paranaíba e Patos de Minas. O acesso ao local, a partir de Belo Horizonte, é efetuado através da BR-262 em direção ao Triângulo Mineiro, até o trevo de Patos de Minas. Prossegue-se, então, para norte pela BR-354, por cerca de 90 Km, até a cidade de Lagoa Formosa, e mais 17 km até a cidade de Patos de Minas, importante centro comercial da região do Alto Paranaíba. As estradas secundárias que dão acesso às várias localidades da região pesquisada não são pavimentadas, mas se encontram em bom estado de

conservação. No roteiro de Serr *et al* (1989) acham-se detalhados os acessos a diversos afloramentos importantes, representativos da geologia da região. Na figura 1, são indicadas também as diversas folhas do Projeto CODEMIG-UFMG (Pedrosa Soares *et al*, 2011) que permitiram a ampliação do conhecimento geológico da região do Alto Paranaíba.

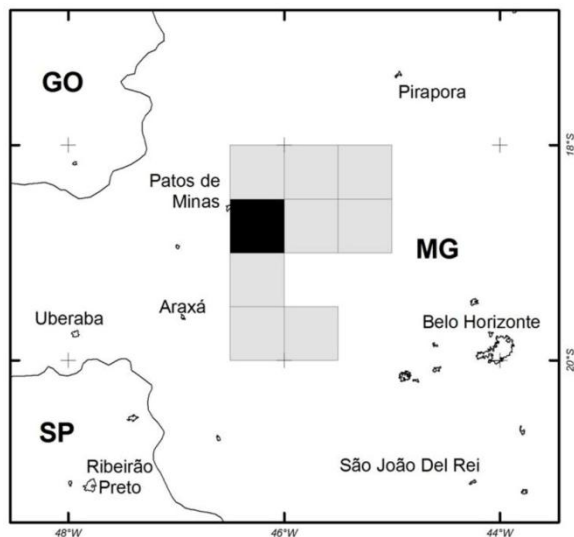


Figura 1- Localização da região de Lagoa Formosa, situada ao sul de Patos de Minas e das folhas mapeadas no Projeto CODEMIG-UFMG na região do Alto Paranaíba, com destaque para a localização da Folha Carmo do Paranaíba (Uhlein *et al*, 2011).

### 3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A região pesquisada está localizada na Bacia do São Francisco, considerada como uma bacia intracratônica que recobre a parte centro-sul do cráton homônimo (Almeida, 1977; Alkmim, 2004). A Bacia do São Francisco compreende um Embasamento, constituído de rochas granito-gnáissicas arqueanas-paleoproterozóicas e rochas supracrustais dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas e é constituída por diversas unidades estratigráficas, o Supergrupo Espinhaço (Paleomesoproterozóico), o Grupo Bambuí (Neoproterozóico), os sedimentos paleozóicos do Grupo Santa Fé e as unidades cretácicas dos Grupos Areado, Mata da Corda e Urucuia (Alkmim & Martins Neto, 2001; Sgarbi *et al*, 2001; Signorelli *et al*, 2003).

Costa & Branco (1961) foram os primeiros que propuseram uma subdivisão litoestratigráfica para o Grupo Bambuí. Sua “seção tipo” foi definida ao longo da BR-040, onde a partir de Belo Horizonte-MG, foi elaborado um perfil geológico até as cercanias de Brasília-DF. Estes autores propuseram a subdivisão da “Série Bambuí” em três formações: Carrancas (unidade basal), Sete Lagoas (unidade intermediária) e Rio Paraopeba (unidade superior). A Formação Rio Paraopeba foi subdividida em quatro membros: Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Três Marias e Serra da Saudade.

Posteriormente, Dardenne (1978), introduziu a Formação Jequitá e alterou o posicionamento estratigráfico da Formação Serra da Saudade, que foi colocada abaixo da Formação Três Marias. Nesta proposta, seis formações foram individualizadas, da base para o topo. São elas: Jequitá, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias. A Formação Jequitá, corresponde à base do Grupo Bambuí, constituindo-se de paraconglomerados com seixos de quartzitos, calcários, dolomitos, chert, gnaisses, mica-xistos, granitos e rochas vulcânicas. É associada a um evento de glaciação generalizada no Neoproterozóico, com unidades correlatas em vários estados e localidades. A Formação Sete Lagoas apresenta rochas carbonáticas com intercalações margosas e pelíticas, que formam um horizonte contínuo nos arredores da cidade de Sete Lagoas. A Formação Serra de Santa Helena é um nível chave para a estratigrafia do Grupo Bambuí, pois se compõe de folhelhos e siltitos acinzentados que separam os níveis carbonáticos das Formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré. Esta última se caracteriza pela alternância de calcários oolíticos e pisolíticos, de cor cinza escura, com intercalações de siltitos e margas. Em direção ao topo, segue-se a Formação Serra da Saudade, com folhelhos, argilitos e siltitos esverdeados (“verdetes”) que passam progressivamente a siltitos e arenitos arcoseanos. Finalmente, a Formação Três Marias encerra a seqüência, com siltitos, arenitos e, principalmente, arcóseos.

Na região de Lagoa Formosa e Carmo do Paranaíba, Seer *et al* (1987, 1989) identificaram, pela primeira vez, diamictitos, siltitos, arenitos e calcários que mostravam continuidade com as rochas do Grupo Bambuí. Entretanto, na época, especialmente os metadiamictitos, eram rochas desconhecidas na estratigrafia do Grupo Bambuí.

### 4. ESTRATIGRAFIA DA REGIÃO DE LAGOA FORMOSA

O Grupo Bambuí é representado, na região, por seis litofácies distintas: diamictitos, siltitos, arenitos, conglomerados, jaspilitos e carbonatos, conforme o mapa geológico (Fig. 2). Estas rochas possuem deformação e metamorfismo de grau baixo. Entretanto, sendo este um trabalho que objetiva a reconstituição da sedimentação destas litofácies, é utilizada a terminologia de rochas sedimentares na sua designação. Geralmente, as rochas pelíticas apresentam clivagem ardósiana e o mergulho do acamamento, freqüentemente, atinge 20 a 40° em função da deformação.

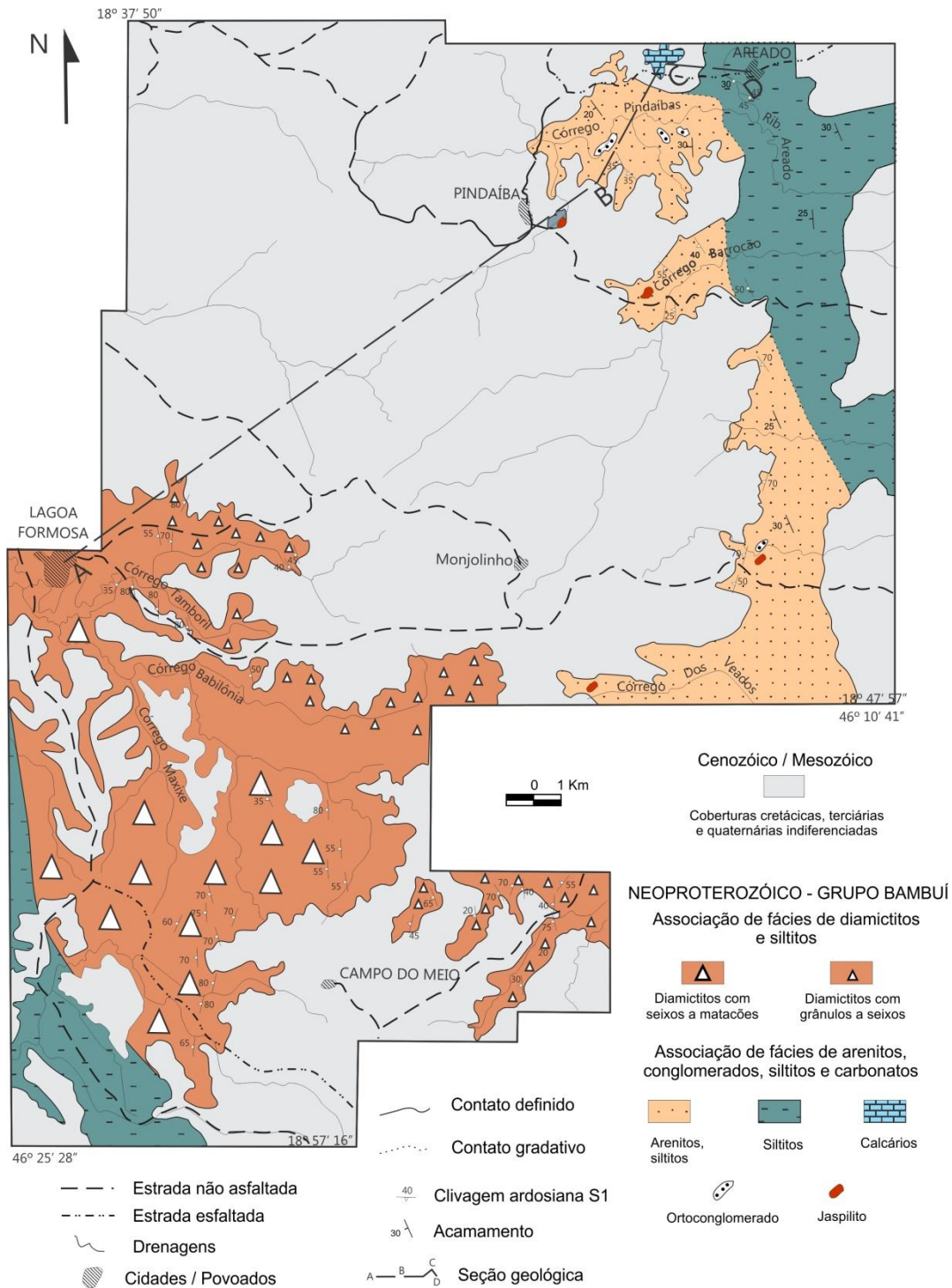


Figura 2. Mapa geológico da região de Lagoa Formosa. Segundo Seer et al. (1989) e Baptista (2004).

As litofácies descritas (Figura 2) formam duas associações: (1) associação de diamictitos maciços, pouco estratificados, e raros siltitos, que predomina a sudoeste; (2) associação de arenitos, conglomerados, siltitos e carbonatos interestratificados, que predomina a nordeste. A coluna estratigráfica (Fig. 3) reflete a estrutura homoclinal, com mergulho do acamamento para SW, observada nas litofácies do Grupo Bambuí na região. Isto pode ser melhor observado na seção geológica da Figura 4. Na coluna estratigráfica observa-se, na base, um predomínio de siltitos. Para

o topo aparecem, freqüentemente, várias camadas de arenitos e conglomerados e um espesso pacote de diamictitos. O empilhamento estratigráfico é do tipo engrossamento ascendente (*coarsening upward*), freqüente em bacias de ante-país (*foreland*). Localmente é possível encontrar diamictito e paraconglomerado com pequena espessura na região nordeste do mapa geológico, intercalado nos arenitos, carbonatos e siltitos, o que significa uma interdigitação entre as associações de fácies. Estas litofácies são descritas a seguir.

**Diamictitos:** Distribuem-se a sudoeste da área de estudo, com uma espessura de, aproximadamente 500 a 1000m (Fig. 2). Os diamictitos representam ruditos dominados pela matriz argilo-siltosa, com clastos que variam de matacões a grânulos, geralmente angulosos. São maciços, pouco estratificados, amalgamados, sugerindo geometria lenticular. Os clastos são constituídos, basicamente, de siltitos laminados e siltitos maciços. Os clastos ocorrem, ainda, mas de forma reduzida, como arenitos arcósianos e carbonatos, e, mais raramente, como conglomerado. Os afloramentos de diamictitos apresentam-se bastante alterados em sua maioria, com formação de ravinas, devido a cobertura argilosa. Via de regra apresentam cor rósea ou marrom amarelada, até avermelhada, devido a alteração intempérica. Predomina, amplamente, a matriz argilo-siltosa, com foliação nítida (clivagem ardósiana), contornando os clastos. Nos diamictitos, ocorre uma diminuição do tamanho médio dos clastos, de sudoeste para nordeste. Clastos com dimensões de matacões, calhaus e seixos, que predominam a sudoeste, gradativamente cedem lugar a clastos de tamanho seixo, mais a nordeste, sugerindo sedimentação de sudoeste para nordeste. Localmente, observa-se intercalação de siltitos laminados, limitando camadas e/ou lentes de diamictitos maciços.

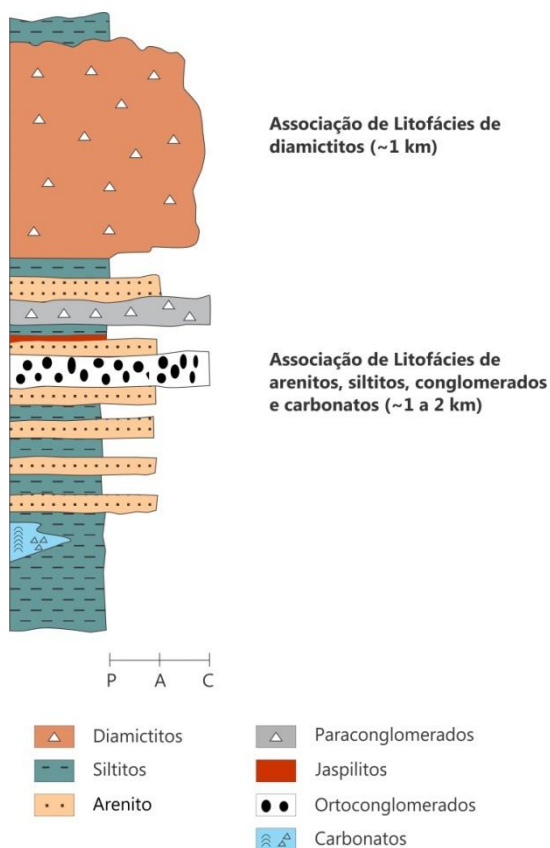


Figura 3. Coluna estratigráfica da Formação Lagoa Formosa, Grupo Bambuí, na região do Alto Paranaíba. Segundo Baptista (2004).

**Conglomerados:** Os conglomerados apresentam-se de duas formas: conglomerados sustentados pelos clastos (ortoconglomerados) e conglomerados sustentados pela matriz ou (paraconglomerados). Os ortoconglomerados possuem matriz arenosa e clastos angulosos a subarredondados que variam de matacões a grânulos. Estes são constituídos de quartzitos, siltitos, calcários, quartzo (silixito), granitóides e jaspilitos. Os ortoconglomerados ocorrem como corpos lenticulares, com 100 a 500 metros de extensão, na direção aproximadamente, norte-sul ou noroeste-sudeste, sugerindo sedimentação canalizada. A sua espessura varia entre 3 e 10 metros, possuindo estrutura maciça e desorganizada. Os paraconglomerados ocorrem em camadas métricas a centimétricas. Constituem camadas ou lentes de diamictitos distais intercalados numa seqüência predominantemente estratificada e que demonstra a ligação genética (interdigitamento) entre as duas associações de fácies. Possuem matriz argilo/arenosa ou areno/siltosa, de cor amarelada e avermelhada. Os clastos são de siltitos esverdeados e alguns grãos de quartzo, com diâmetro entre 1 até 3 cm. Observam-se minerais oxidados (vermelhos) e plaquetas de mica detrítica, com xistosidade fina envolvendo os clastos.

**Arenitos:** Os arenitos ocorrem em camadas que variam de decímetros a metros, podendo ser finos a grossos. Os arenitos grossos mostram camadas planas e são, geralmente, maciços, sem estrutura interna visível, ou gradados, mostrando estratificação gradacional. Os arenitos finos, localmente, podem apresentar xistosidade, marcada pela presença de matriz pelítica. São sedimentos arenosos imaturos que variam desde arenitos líticos a wackes líticos, quando apresentam matriz silto-argilosa mais evidente. Localmente, aparecem arenitos conglomeráticos que mostram também estratificação gradacional, o que indica que foram depositados por correntes de turbidez. Arenitos gradados, formados por correntes de turbidez, foram reconhecidos, pela primeira vez, na região, por Seer *et al.* (1987). São neste trabalho considerados como turbiditos, indicativos de sedimentação gravitacional, a partir de correntes de turbidez subaquosas. Frequentemente, mostram intercalações de conglomerados e de siltitos.

**Siltitos:** Os siltitos ocorrem, principalmente, na porção NE da área estudada, podendo ocorrer também como finas intercalações nos arenitos e conglomerados, com espessuras decimétricas a métricas, e também como intercalações nos diamictitos. Os siltitos mostram estrutura laminada, plano-paralela, com níveis argilosos alternados com camadas siltosas, estas últimas, predominantes. Frequentemente mostram cor bege ou avermelhada

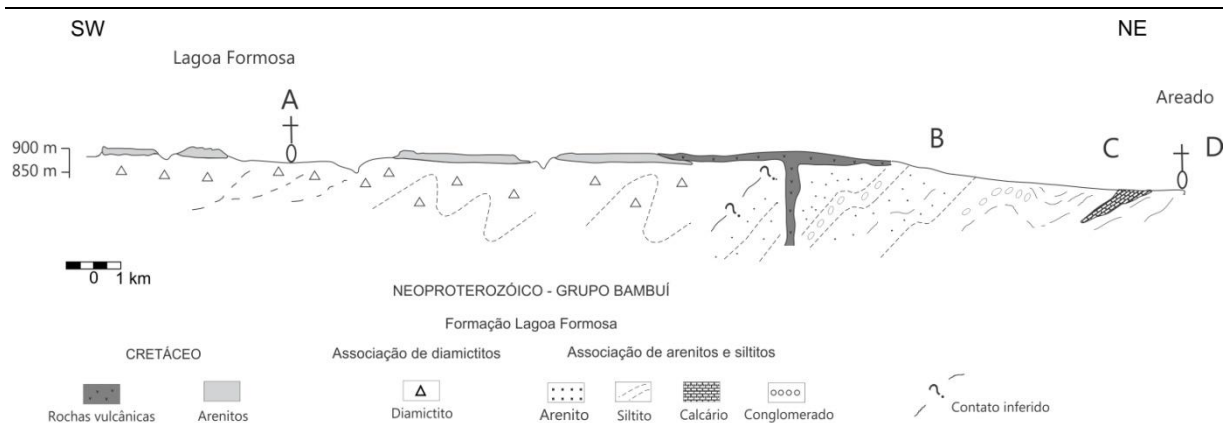


Figura 4. Seção geológica na Formação Lagoa Formosa. Segundo Baptista (2004).

devido ao intemperismo. Quando inalterados, mostram tonalidade cinza esverdeada. São rochas típicas do Grupo Bambuí e que, na região de Lagoa Formosa, intercalam-se com todas as outras litofácies descritas e que, para nordeste, passam a predominar amplamente, constituindo a Formação Serra da Saudade (Reis, 2011).

**Jaspilitos:** O jaspilito é uma rocha sedimentar de precipitação química, com níveis alternados de hematita e jaspe. Os jaspilitos ocorrem como corpos lenticulares métricos, às vezes decimétricos, sempre associados aos siltitos. Esta rocha apresenta-se dura, laminada ou bandada, com uma cor cinza-avermelhada típica. O jaspilito apresenta lâminas alternadas, de jaspe (vermelhas) e bandas cinzas de hematita, com espessuras desde milimétrica a centimétrica.

**Carbonatos:** Os calcários ocorrem em uma área reduzida, como uma lente de aproximadamente 0,5 Km<sup>2</sup>, no extremo norte da área, próximo à cidade de Areado. Apresentam-se como carbonatos biogênicos, que mostram estruturas estromatolíticas colunares e carbonatos de retrabalhamento como calcarenitos e calciruditos. Estromatólitos são estruturas biossedimentares formadas através de atividades microbianas de cianobactérias, algas e fungos nos ambientes aquáticos, principalmente marinhos rasos (Srivastava, 2000). Na região de Lagoa Formosa ocorrem estromatólitos colunares bem desenvolvidos. As colunas são convexas, com cerca de 30 cm de comprimento e um diâmetro de aproximadamente 5 cm. A laminação estromatolítica é marcada por níveis escuros finos e níveis mais espessos, claros, constituindo a intercalação entre os níveis de crescimento dos microorganismos (níveis escuros) e a precipitação de lamelas de carbonato de cálcio (níveis claros). Os estromatólitos, na região estudada, encontram-se dolomitizados. Os calciruditos podem apresentar-se de duas formas: 1- como brechas, com seixos e matacões de calcilutito e calcarenito em uma matriz carbonática/arenosa esverdeada; 2- como calcirudito intraclástico, com clastos milimétricos a centimétricos de calcilutito em

matriz carbonática fina (intramicrito). Os calciruditos podem representar depósitos de tálus de recife, uma vez que encontram-se depositados junto às colunas de estromatólitos. Foi observado que alguns clastos dos calciruditos preservam a laminação estromatolítica. Isto pode significar que os calciruditos originaram-se da fragmentação de um paleorecife de estromatólitos, hoje parcialmente preservado.

## 5. ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES E PROCESSOS SEDIMENTARES.

As diversas litofácies descritas no Grupo Bambuí, na região de Lagoa Formosa, podem ser agrupadas em associações de litofácies (Figuras 2, 3 e 4), facilitando a identificação e reconhecimento dos processos sedimentares atuantes e a caracterização dos sistemas deposicionais.

**Associação de Diamictitos:** compreende uma associação constituída por corpos de diamictitos amalgamados, pouco estratificados, que ocorrem a SW da área mapeada (Fig. 5A e 5B). Nesta associação, predominam diamictitos com calhaus e matacões, associados ou intercalados com diamictitos onde predominam clastos tamanho seixo, preferencialmente, sugerindo diferentes camadas ou lentes amalgamadas. Localmente foi possível identificar algum silito marcando o acamamento nos diamictitos, entretanto raramente foi possível reconhecer o acamamento com segurança, pois as intercalações de siltitos são raras. Acredita-se que a associação dos diamictitos foi depositada por fluxo gravitacional tipo mud-flow, num processo de avalanches submarinas. A predominância de diamictitos com matacões a sudoeste e de diamictitos com clastos tamanho seixo a nordeste indica uma diminuição no tamanho dos clastos para esta direção, sugerindo uma área fonte a oeste/sudoeste da área de pesquisa. Assim, a origem dos fluxos gravitacionais poderia ser relacionada ao soergimento orogênico da Faixa Brasília, situada a oeste de Lagoa Formosa. A associação de fácies diamictíticas representa

depósitos proximais, formados por fluxos de detritos, na forma de avalanches submarinas. A espessura elevada, a imaturidade textural e raras intercalações de siltitos, são indicativos desta interpretação. Ocorreu um processo de ressedimentação, com retrabalhamento de litologias aflorantes na base do Grupo Bambuí, principalmente siltitos, que aparecem como clastos no diamictito. Estes clastos apresentam orientação do seu maior eixo na direção SW/NE, sugerindo ser esta a orientação do fluxo gravitacional.

Associação de conglomerados, arenitos, siltitos, carbonatos: afloram na região leste-nordeste da área, segundo uma faixa estimada de 30 Km de extensão por 15 Km de largura, em média. Esta associação de litofácies constitui uma seqüência bem estratificada, caracterizada pela alternância de camadas, com espessuras que variam de centímetros a metros, de ortoconglomerados, paraconglomerados (diamictitos), arenitos finos a grossos e siltitos, aparecendo, também, intercalações de jaspilitos e carbonatos, às vezes estromatolíticos (Figura 5C e 5D). Os processos sedimentares que atuaram na deposição da associação de fácies foram fluxos gravitacionais submarinos, como correntes de turbidez e fluxos de detritos, assim como decantação e sedimentação química (jaspilitos) e bioquímica (calcários estromatolíticos). As correntes de turbidez foram responsáveis pela sedimentação dos arenitos e siltitos. Estratificação gradacional foi identificada, localmente, nos arenitos conglomeráticos (Figura 5C). Fluxos de detritos foram responsáveis pela sedimentação dos ortoconglomerados lenticulares,

provavelmente representando canais submarinos. Os paraconglomerados podem ser originados por fluxos de lama/areia que fluem, alternadamente, com as correntes de turbidez (Seer et al.,1987). A associação de fácies representa a ação de correntes de turbidez de alta e baixa concentração, que, via de regra, associam-se lateralmente, num sistema de leque submarino (Walker, 1992; Einsele, 1992; Catuneanu, 2004; Allen & Allen, 2005). Os conglomerados podem representar fluxos de detritos ou correntes de turbidez canalizadas, ricas em cascalho e areia. Os arenitos e siltitos representam correntes de turbidez distais, ricas em areia, silte e argila, fazendo depósitos planos distais. Os siltitos, que predominam para leste da área, como litofácies dominante, representam, em termos de processos sedimentares, a sedimentação de correntes de turbidez diluídas, distais, que carregam silte e argila, como principais constituintes. Localmente, desenvolveram-se bioconstruções estromatolíticas, em zona de quiescência das correntes de turbidez, possivelmente em águas mais rasas, associadas a paleo-altos sinsedimentares. A sedimentação química de ferro e sílica para gerar o jaspilito pode ser tentativamente relacionada a fluidos hidrotermais sinsedimentares. A associação dos siltitos constitui a franja distal dos leques submarinos formada por corrente de turbidez diluídas, ricas em silte e argila.

Estas associações de litofácies sugerem uma sedimentação dominada por fluxos gravitacionais subaquosos com fluxos de detritos/lama e correntes de turbidez, relacionando-se a um ambiente de leque submarino.

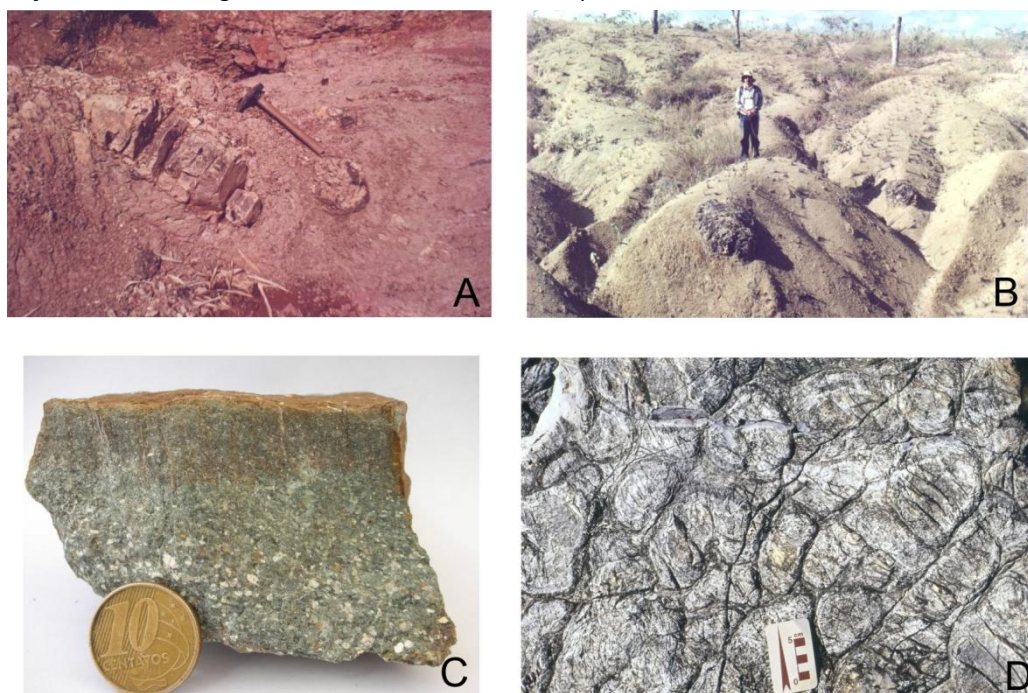


Figura 5. Litofácies da Formação Lagoa Formosa, Grupo Bambuí. (A,B) Diamictitos com clastos de matacões e matriz silto-argilosa. (C) Arenitos com estratificação gradacional, interpretado como turbidito. (D) Carbonato com estrutura estromatolítica.

## 6. GEOLOGIA ESTRUTURAL

O conjunto metassedimentar do Grupo Bambuí na região de Lagoa Formosa apresenta-se suavemente dobrado, com planos de acamamento mergulhando preferencialmente para SW (Fig. 04), o que evidencia dobras com eixos orientados segundo a direção NW ou NNW. A deformação expressa-se através de uma clivagem ardosiana, presente principalmente na matriz dos diamictitos, envolvendo os clastos, e nos metassiltitos, litologias ricas em filossilicatos. Esta clivagem ardosiana é fina, em geral pouco visível nos metarenitos e conglomerados. Os planos desta foliação variam de N05W/ 52SW a N22W/48SW (Seer *et al*, 1987; Baptista, 2004).

O acamamento ( $S_0$ ) apresenta, via de regra, atitude de N10 a 40W com mergulho para o quadrante sudoeste (SW), variando desde 20 até 40 ou 50°, devido aos dobramentos. As dobras observadas em alguns poucos afloramentos, são geralmente assimétricas, com flanco longo a oeste e flanco curto a leste. A estrutura geral da área é homoclinal. Dobras aparecem apenas em escala de afloramentos. Às vezes pode-se observar uma lineação de intersecção entre o acamamento ( $S_0$ ) e a clivagem ardosiana  $S_1$ . Esta lineação mostra-se subparalela aos eixos de dobras, portanto N-S a NNW.

## 7. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

As associações de fácies de diamictitos e de arenitos gradados – siltitos - carbonatos são caracteristicamente de leque submarino, depositadas numa bacia *foreland* (ante-país), com influência do soerguimento da Faixa Brasília (Castro,1997; Dardenne, 2000, Alkmim & Martins-Neto, 2001; Baptista, 2004). Um sistema deposicional de leque submarino para as fácies sedimentares do Grupo Bambuí na região já foi inferido anteriormente por Seer *et al.*(1989). Este trabalho corrobora a interpretação anterior e apresenta detalhamento e novas evidências paleogeográficas. O modelo clássico para deposição em uma bacia tipo *foreland*, mostra uma sucessão de sedimentos de água profundas sin-deformacionais (*flysch*), sobrepostos por sedimentos de água mais rasa a não marinhos (molassa) (Einsele, 1992; Decelles & Giles, 1996; Catuneanu, 2004; Allen & Allen, 2005). O modelo de empilhamento em uma bacia *foreland* é similar ao modelo da coluna estratigráfica do Grupo Bambuí na região de Lagoa Formosa (Fig. 03), onde observa-se o empilhamento tipo *coarsening upward*, ou seja, de aumento da granulometria em direção ao topo.

Os dados aqui apresentados permitem delinear os seguintes aspectos da evolução geológica do

Grupo Bambuí na região de Lagoa Formosa (Fig. 06), em conformidade com Dardenne (2000):

1 - Inicialmente ocorreu o soerguimento da Faixa Brasília (Orogênese Brasileira), que, através de falhas de empurrão, soergueu fatias do próprio Grupo Bambuí e do embasamento.

2 - Houve ressedimentação, com erosão dos sedimentos da base do Grupo Bambuí, recém depositados e formação de avalanches submarinas. Fluxos de detritos, ricos em lama e com matacões e seixos de rochas do próprio Grupo Bambuí (siltitos, arenitos, carbonatos) ocorreram de oeste/sudoeste para nordeste. As avalanches permitiram, também, a formação de correntes de turbidez com cascalho, areia, silte e argila, gerando um sistema deposicional do tipo leque submarino.

3 - Localmente, em fases de quiescência da sedimentação detrítica, ocorreu sedimentação química, representada pelos jaspilitos, e sedimentação bioquímica, representada pelas bioconstruções estromatolíticas.

4 - Posteriormente à sedimentação, que deve ter ocorrido no intervalo entre 630 e 600 Ma (Rodrigues, 2008), ocorreram dobramentos com vergencia para Leste, que estabeleceram os mergulhos do acamamento, predominantemente para SW, e metamorfismo de baixo grau, com formação de clivagem ardosiana plano-axial aos dobramentos. Esta deformação deve ter ocorrido em torno de 600-570 Ma (Dardenne, 2000), constituindo o final da Orogênese Brasileira.

Assim sendo, é possível identificar e cartografar a Formação Lagoa Formosa como unidade pertencente ao Grupo Bambuí. Surge então a questão – qual a posição estratigráfica da Formação Lagoa Formosa dentro do Grupo Bambuí? Perfis estratigráficos regionais sugerem uma posição estratigráfica superior, acima da Formação Serra de Santa Helena. A cor verde da matriz dos diamictitos, quando frescos, assim como a existência, tanto a norte, próximo de Presidente Olegário (Fragoso *et al.* 2010), como a sul, na Folha São Gotardo (Dias *et al.* 2010) de siltitos esverdeados (“verdetes”), típicos da Formação Serra da Saudade, indica que a Formação Lagoa Formosa representa uma variação lateral da Formação Serra da Saudade (Uhlein *et al.* 2010).

As bacias do tipo *foreland* ou antepaís são depressões alongadas que se formam na região entre um orógeno e o cráton adjacente, paralelamente à cadeia de montanhas em formação. Essas depressões são geradas principalmente por subsidência flexural, devido ao peso exercido pelo volume de crosta espessada na frente orogênica, que provoca um flexionamento na litosfera da placa.

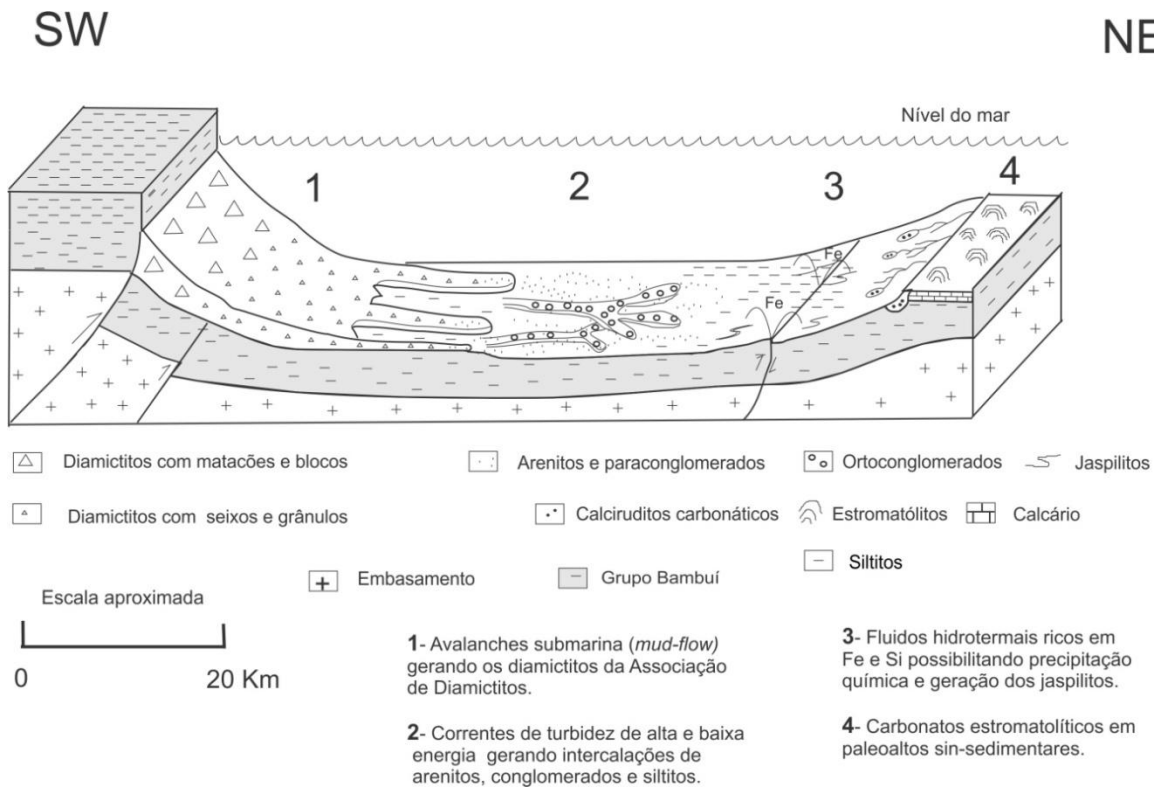


Figura 6. Reconstituição paleogeográfica da sedimentação de leque submarino da Formação Lagoa Formosa, Grupo Bambuí, na região de Lagoa Formosa e Carmo do Paranaíba (MG). Segundo Baptista (2004).

A taxa de subsidência decai gradualmente em direção ao cráton, e dessa forma as bacias *foreland* apresentam uma geometria em cunha assimétrica, com maior profundidade próximo à frente orogênica (Fig. 7).

As bacias do tipo *foreland* podem ser subdivididas em quatro depozonas ou províncias flexurais, da frente orogênica para a região cratônica: *wedge-top*, *foredeep*, *forebulge* e *back-bulge* (Fig. 7), conforme Decelles & Giles (1996) e Catenuanu (2004).

O *wedge-top* envolve sedimentos sin-tectônicos que cobrem grande parte das porções frontais do cinturão de dobramentos e cavalgamentos. Os sedimentos nessa área provêm da erosão das porções superiores da cadeia de montanhas, cobrindo as nappes externas. Nesses sedimentos, desenvolvem-se falhas e dobras de crescimento, além de outras estruturas sin-sedimentares. Nesta região, falhas inversas podem soerguer sedimentos já depositados e ressedimentá-los, formando leques submarinos no *foredeep*.

O *foredeep* é a parte mais profunda da bacia, onde acumulam-se entre 2 e 8 km de espessura de sedimentos, em uma área com até 300 km de largura em direção ao cráton. Os sedimentos são derivados principalmente da cadeia de montanhas, mas com pequena contribuição do *forebulge* e do cráton propriamente dito.

O *forebulge* é uma região de alto de embasamento, que pode ou não estar presente. A feição positiva é causada pela resposta à flexura negativa na região do *foredeep*. Em sistemas *foreland* subaéreos, o *forebulge* pode ser uma zona basicamente erosiva, com sistemas fluviais drenantes tanto para o *foredeep* quanto para a região cratônica. Em sistemas subaquáticos, extensas plataformas e rampas carbonáticas podem se desenvolver sobre o *forebulge*, conectando as regiões de *foredeep* e *back-bulge* (Giles & Dickinson 1995).

No *back-bulge* desenvolve-se importante sedimentação marinha rasa, tipicamente com a formação de extensas plataformas carbonáticas. A espessura do pacote sedimentar é geralmente muito menor do que a espessura dos sedimentos do *foredeep*.

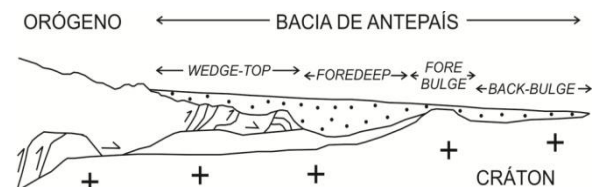


Figura 7. Geometria e depozonas de uma bacia de antepaís (ou *foreland*). Sedimentos pré-*foreland*, incluindo seqüências de margem passiva, podem estar soterrados sob os sedimentos sin-orogênicos. O *foredeep* mostra grande espessura de sedimentos sintectônicos, que diminuem em direção ao cráton.



Períodos de atividade tectônica na zona orogênica resultam em subsidência no *foredeep* e subida do *forebulge*, enquanto o contrário se verifica em períodos de quiescência tectônica. Essas modificações, aliadas à efeitos climáticos e eustáticos, geram mudanças no espaço de acomodação das diferentes depozonas. Dessa forma, o sistema *foreland* se desenvolve no tempo e no espaço, com a migração de depocentros e mudança no padrão sedimentar. Tipicamente, ocorre a transição de ambientes marinhos profundos nos estágios primordiais (*flysch*), para sedimentação marinho rasa a continental, com o assoreamento completo da bacia, nos estágios finais (DeCelles & Giles 1996; Catuneanu 2004; Allen & Allen 2005).

Nos estágios iniciais, a rápida subsidência causada pela intensa atividade tectônica no orógeno gera um grande espaço de acomodação no *foredeep*. A taxa de suprimento sedimentar nesse estágio é menor do que a taxa de subsidência, dessa forma a bacia é dita sub-preenchida ou *underfilled* (Catunenau 2004; Allen & Allen 2005). São gerados sistemas deposicionais marinho profundo, com sedimentação do tipo *flysch*.

Reading & Richards (1994) propõem uma classificação para os ambientes marinhos profundos, de acordo com a granulometria predominante e a natureza do sistema alimentador (fonte pontual, múltipla ou linear). Segundo esses autores, em regiões de área-fonte montanhosa, onde desenvolve-se uma bacia marinha profunda, como é o caso em bacias de antepaís, formam-se sistemas deposicionais dominados por cascalho (*gravel-rich*) com fonte alimentadora linear (a extensão longitudinal da cadeia de montanhas). Neste contexto, desenvolvem-se diversos leques submarinos que se coalescem formando os chamados *slope-aprons*. Esses sistemas são dominados por processos sedimentares gravitacionais, tais como fluxos de lama e detritos, que podem gradar para correntes de turbidez nas porções distais da bacia.

Os fluxos de lama e de detritos dependem da força coesiva da matriz para suportar os grãos (Fritz & Moore 1988). Formam-se quando água suficiente se mistura com os sedimentos a ponto de se formar um material plástico, viscoso, mas não a ponto de se formar um material fluido ou turbulência. Os clastos maiores são suportados pela alta viscosidade e densidade da mistura matriz-água. Os fluxos de lama carregam clastos, mas contêm uma grande quantidade de material fino. São formados depósitos matriz-suportados (diamictitos, paraconglomerados), geralmente maciços devido à ausência de turbulência ou processos trativos. Os fluxos de detritos se formam quando a concentração

de clastos na matriz é suficiente para que haja contato entre eles, porém a matriz continua agindo como agente transportador. Os depósitos normalmente são clasto-suportados (ortoconglomerados, brechas).

## 8. CONCLUSÕES

Na região de Lagoa Formosa e Carmo do Paranaíba afloram diamictitos, arenitos, siltitos, conglomerados e carbonatos estromatolíticos que pertencem ao Grupo Bambuí e são relacionados à Formação Lagoa Formosa, aqui descrita. É possível subdividi-la em duas associações de litofácies originalmente interdigitadas: (1) associação de diamictitos maciços e raras intercalações de siltitos; (2) associação de arenitos, siltitos, conglomerados e carbonatos, bem estratificados. A primeira associação é interpretada como depositada por fluxos de lama e detritos (*debris-flows*) e a segunda por fluxos de detritos e correntes de turbidez, em bacia marinha. Ambas associações representam uma sedimentação de leque submarino em bacia de antepaís ou *foreland*, caracterizando litofácies de sedimentação gravitacional, com fácies de rampa e base-de-rampa (*slope and base-of-slope*) em bacia *foreland*.

## 9. AGRADECIMENTOS

Ao CPMTC-IGC-UFMG pelas facilidades colocadas a disposição, ao programa de Pós-Graduação em Geologia do IGC-UFMG e ao Convênio CODEMIG-UFMG pelo aporte financeiro que permitiu o desenvolvimento, em diferentes épocas, de pesquisas relacionadas ao Grupo Bambuí.

## 10. REFERÊNCIAS

- Allen P.A. & Allen J.R. 2005. Basin Analysis: Principles and Applications, 2nd ed., Blackwell Publishing, 549 pp.
- Alkmim F.F. & Martins-neto M.A. 2001. A bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e cenários evolutivos. In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.) Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais. SBG, p. 9-30.
- Alkmim F.F. 2004. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: V. Mantesso-Neto; A. Bartorelli; C.D.R. Carneiro; B.B. Brito-Neves (eds.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Ed. Beca. p. 17-35.
- Almeida F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, 7: 285-295.
- Baptista M.C. 2004. *Estratigrafia e Evolução Geológica da Região de Lagoa Formosa (MG)*. UFMG, Belo Horizonte. Dissertação de mestrado. 104 p.
- Castro P.T.A. 1997. *Os Conglomerados Associados ao Grupo Bambuí na Porção Sudoeste do Cráton do São Francisco: Sedimentologia, Estratigrafia e Implicações Tectônicas*. Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, 255p.

- Catenuanu O. 2004. Retroarc *foreland* systems—evolution through time. *Journal of African Earth Sciences*, **38**: 225–242.
- Costa M.T. & Branco J.J.R. 1961. Roteiro da Excursão Belo Horizonte - Brasília. *In*: Congr. Bras. Geol., 14, Roteiros de Excursões, SBG, 25p. (Publicação 15), Belo Horizonte.
- Dardenne M.A. 1978. Síntese sobre a Estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. *In*: Congr. Bras. Geol., 30, Anais, SBG, v.2, Recife: 597-610.
- Dardenne M.A. 2000. The Brasília Fold Belt. *In*: U.G. Cordani; A.J. Milani; A. Thomaz Fo & D.A. Campos (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, Brazil, 231-264. (Intern. Geol. Congress., 31)
- Decelles P.G. & Giles K.A. 1996. *Foreland* basin systems. *Basin Research*, **8**(1): 05–123.
- Dias P.H.A., Chaves M.L.S.C., Andrade K.W., Noce C.M. 2010. Mapa geológico da Folha São Gotardo - SE.23-Y-D-I, escala 1:100.000. Projeto Alto Paranaíba. CODEMIG/UFMG.
- Einsele G. 1992. Sedimentary Basins: Evolution, facies and sediment budget. 1 ed. Berlin, Springer Verlag 628p.
- Fragoso D.G.C., Suckau G.L., Guerzoni H.T.G., Sanglard J.C.D., Faria P.H., Uhlein A. 2010. Mapa geológico da Folha Presidente Olegário - SE.23-Y-B-I, escala 1:100.000. Projeto Alto Paranaíba. CODEMIG/UFMG.
- Fritz W.J. & Moore J.N. 1988. Transport and Deposition by Sediment Flows. *In*: W. J. Fritz & J. N. Moore (eds.), Basics of physical stratigraphy and sedimentology, John Wiley & Sons Inc., 337 p.
- Giles K.A. & Dickinson W.R. 1995. The interplay of eustasy and lithospheric flexure in forming stratigraphic sequences in *foreland* settings: an example from the Antler *foreland*, Nevada and Utah. *In*: S.L. Dorobek, G.M. Ross (eds.), Stratigraphic Evolution of *Foreland* Basins. SEPM (Soc. for Sedim. Geol.), spec. pub., **52**: 187-211.
- Martins-Neto M.A., Pedrosa Soares, A.C., Lima, S.A.A. 2001. Tectono-Sedimentary evolution of sedimentary basins from late Paleoproterozoic to late Neoproterozoic in the São Francisco Craton and Araçuaí Fold Belt, eastern Brazil. *Sedimentary Geology*, **141/142**: 343-370.
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Fragoso D. G. C., Voll E., Reis H. L. S., Kuchenbecker M. (eds). 2011. Projeto Alto Paranaíba - Mapeamento Geológico e Levantamento de Recursos Minerais. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG, 875 p.
- Rodrigues J.B. 2008. Proveniência dos sedimentos do Grupo Canastra, Ibiá, Vazante e Bambuí. Um estudo de zircões detríticos e idades modelo Sm-Nd. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Tese de doutorado, 129 p.
- Reading H. & Richards M. 1994. The classification of deep water siliciclastic depositional systems by grain size and feeder systems. AAPG Bulletin, **78**: 792-822.
- Reis H.L.S. 2011. *Estratigrafia e tectônica da Bacia do São Francisco na zona de emanções de gás natural do baixo Rio Indaia, MG*. UFOP, Degeo, Dissertação de Mestrado, 126 p.
- Seer H.J., Moraes L.C., & Fogaça A.C.C. 1987. Faciologia e Estruturação Tectônica dos Metassedimentos com Diamictitos e Jaspilitos da região de Lagoa Formosa, MG (Grupo Bambuí?). *In*: Simp. Geol. Minas Gerais, 4, Atas, Belo Horizonte, p. 199-213.
- Seer H.J., Moraes L.C., Fogaça A.C.C. 1989. Roteiro Geológico para a Região de Lagoa Formosa – Chumbo – Carmo do Paranaíba – MG. Belo Horizonte:SBG/MG. 58p.
- Signorelli N., Tuller M.P., Silva P.C.S., Justo L.J.E., 2003. Mapa geológico da Folha Três Marias, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Brasília, escala 1:250 000.
- Sgarbi G.N.C., Sgarbi, P.B. de A., Campos J.E.G., Dardenne M.A., Penha U.C., 2001. Bacia Sanfranciscana: o registro fanerozoico da bacia do São Francisco. *In*: C. P. Pinto & M. A. Martins-Neto (eds.) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte, SBG-MG, 93-138 p.
- Srivastava N.K. 2000. Estromatólitos. *In*: Carvalho I. S (ed.) Paleontologia, Editora Interciência, Rio de Janeiro, p.119-134.
- Uhlein A., Lima O.N.B., Fantinel L.M., Baptista M.C. 2004. Estratigrafia e evolução geológica do Grupo Bambuí, Minas Gerais (Roteiro Geológico). *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 42, Anais, Araxá: CD ROM (1 vol).
- Uhlein A., Dardenne M.A., Seer H.J., Moraes L.C. de, Baptista M.C., Noce C.M., Fragoso D.G., Dias P.H.A., Moreira G.C. 2010. A Formação Lagoa Formosa e a estratigrafia do Grupo Bambuí em Minas Gerais. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Belém (PA), CD-Rom.
- Uhlein A., Freitas A.M., Cruz A.B., Silva W.F., Caxito F.A., Moreira G.C. 2011. Folha Carmo do Paranaíba. SE.23-Y-B-IV. Mapa Geológico e Nota Explicativa. Escala 1:100.000. *In*: Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Fragoso D. G. C., Voll E., Reis H. L. S., Kuchenbecker M. (eds). Projeto Alto Paranaíba, Belo Horizonte, CODEMIG-UFMG.
- Walker R.G. 1992. Turbidites and Submarine Fans. *In*: R.G. Walker & N.P. James (eds.) Facies Models: Response to Sea Level Change, Geological Association of Canada Publications, Ontario, p.239-263.