




Litofácies, ambientes deposicionais e ciclicidade do Grupo Paranoá: exemplo da região da Serra de São Domingos, Minas Gerais

*Lithofacies, depositional environments and cyclicity of the Paranoá Group:
example from the Serra de São Domingos, Minas Gerais*

Icília de Lima Feitosa¹ , Carlos José Souza de Alvarenga¹ , Caroline Thaís Martinho² 

¹Universidade de Brasília - UnB, Instituto de Geociências, Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP 70910-900, Brasília, DF, BR
(icilialima@gmail.com; alva1@unb.br)

²Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUC-RS, Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais, Porto Alegre, RS, BR (ctmartinho@yahoo.com)

Recebido em 8 de novembro de 2017; aceito em 5 de fevereiro de 2019

Resumo

Na Serra de São Domingos (SSD) afloram mais de 1.000 m de espessura de rochas mesoproterozoicas predominantemente siliciclásticas do Grupo Paranoá. Duas seções estratigráficas foram medidas e descritas na escala 1:300 e individualizadas em 11 litofácies nas seções estudadas: De (dolomito com estromatólitos), DI (dolomito laminado), AFl (arenito fino laminado), AFm (arenito fino com marcas onduladas de onda e corrente), AFh (arenito fino com estratificação cruzada *hummocky*), AMc₁ (arenito médio com estratificações cruzadas unidirecionais), AMc₂ (arenito médio com estratificações cruzadas bidirecionais e/ou multidirecionais), AMe (arenito médio estratificado), AMs (arenito médio com geometria sigmoidal), PI (pelito laminado) e PAht (pelito e arenito com laminação heterolítica). Cinco associações de fácies foram identificadas: FA-I caracterizada pelas litofácies PAht e AFm em subsistema de intermaré; FA-II caracterizada pelas AMc₁, AMc₂, AMs, AMe em subsistema de inframaré; FA-III caracterizada pela associação de litofácies AFm, AFl, AFh e PI em subsistema de plataforma (*offshore* proximal) com influência de onda, maré e de tempestade; FA-IV caracterizada pelas litofácies AFl, PI, AFh, DI e De em subsistema de plataforma (*offshore* intermediária-distal); FA-V caracterizada pela associação de litofácies DI e De em subsistema de zona de plataforma rasa. As associações de fácies, FA-III, FA-IV e FA-V são típicas de sistema deposicional de plataforma marinha mista carbonática-siliciclástica, enquanto FA-I e FA-II caracterizam depósitos de planície de maré. Os sistemas deposicionais ao longo da SSD variam de depósitos de plataforma *offshore* proximal na sua base, passando em direção ao topo para o domínio de uma plataforma proximal com influência de maré (inframaré-intermaré), evidenciando um gradual e contínuo raseamento para o topo.

Palavras-chave: Fácies; Mesoproterozoico; Planície de maré; Sucessão mista carbonático-siliciclástico; Tempestitos.

Abstract

In Serra de São Domingos (SSD), a succession of Mesoproterozoic rocks of the Paranoá Group comprises dominantly siliciclastic rocks along more than 1,000 m thick. Two stratigraphic sections were measured and described in scale of 1:300 and subdivided in eleven lithofacies: De (stromatolites dolomite), DI (laminated dolomite), AFl (laminated fine grained sandstone), AFm (fine grained sandstone with wave and current ripple), AFh (fine grained sandstone with hummocky cross-stratification), AMc₁ (medium grained sandstone with unidirectional cross-stratification), AMc₂ (medium grained sandstone with bidirectional or multidirectional cross-stratification), AMe (stratified medium grained sandstone), AMs (medium grained sandstone with sigmoidal geometry), PI (laminated pelite) and PAht (pelite and sandstone with heterolithic laminations). Five facies associations were identified: FA-I is characterized by lithofacies AFm and PAht, in an intertidal subsystem; FA-II is characterized by AMc₁, AMc₂, AMs, AMe in a subtidal subsystem; FA-III is characterized by lithofacies AFm, AFl, AFh and PI in a proximal shelf with a tidal, wave and storms influence; FA-IV is characterized by lithofacies AFl, PI, AFh, De and DI, in an intermediate-distal shelf subsystem; and FA-V is characterized by lithofacies DI and De in a shallow shelf subsystem. FA-III, FA-IV and FA-V facies' associations were deposited in a mixed carbonate-siliciclastic depositional shelf system, while FA-I and FA-II were deposited in tidal flat. The depositional systems along the SSD range from deposits of the proximal offshore at their lower intervals, passing upwards to an inner platform with tidal influence (subtidal-intertidal), evidencing a shallow upward succession.

Keywords: Facies; Mesoproterozoic; Coastal tidal flat; Mixed carbonate-siliciclastic succession; Storm beds.

INTRODUÇÃO

Uma espessa sucessão de rochas predominantemente siliciclásticas depositou-se sobre o Cráton do São Francisco (CSF) e suas faixas marginais durante o Protezoico, registrando ciclos de subsidência e de soerguimentos (Faria, 1995; Guimarães, 1997; Martins-Neto, 1998; Dardenne, 2000; Campos et al., 2013; Martins-Ferreira, 2018). Essas bacias têm sido individualizadas em superposição vertical por ciclos de deposição em decorrência de processos de subsidência flexurais (Martins-Neto, 1998; Martins-Neto et al., 2001; Martins-Ferreira, 2018).

O Grupo Paranoá tem uma ampla exposição na Faixa Brasília (Figura 1), incluindo uma sucessão estratigráfica de mais de 1.500 m formados por rochas carbonáticas depositadas em fase de subsidência flexural. Na região entre a Chapada dos Veadeiros e o Distrito Federal (DF), essas rochas foram inicialmente descritas e subdivididas em 11 unidades estratigráficas informais (Faria e Dardenne, 1995), posteriormente categorizadas em uma denominação formal (Campos et al., 2013) e mais recentemente individualizadas em ciclos de sequências estratigráficas (Martins-Ferreira, 2018). A sul do DF, o Grupo Paranoá está exposto no Domo de Cristalina, incluindo parte das unidades definidas no DF (Faria, 1985, 1995). A leste do DF, o Grupo Paranoá aflora em diversos núcleos de anticlinais e também no limite leste da Faixa Brasília (FBS) com o CSF, ao longo da Falha de São Domingos, expondo uma sucessão de mais de 1.000 m de espessura (Alvarenga e Dardenne, 1978; Alvarenga, 1978; Guimarães, 1997; Alvarenga et al., 2012).

Este estudo concentra-se na descrição detalhada de fácies sedimentares do Grupo Paranoá exposto ao longo da Falha de São Domingos. Os levantamentos estratigráficos foram feitos através de boas exposições encontradas ao longo de dois cursos d'água que cortam perpendicularmente a Serra. As principais contribuições resultado desse trabalho são:

- a individualização das associações de fácies e o estabelecimento dos sistemas deposicionais;
- a discriminação dos principais ciclos transgressivos e regressivos; e
- a proposição de uma correlação entre as seções estudadas e aquelas de outras localidades do Grupo Paranoá.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A FBS localizada na margem ocidental do CSF inclui uma sucessão de rochas siliciclásticas e carbonáticas depositadas entre 1,77 e 0,56 Ga (Pimentel et al., 2011). A FBS foi deformada durante a Orogênese Brasileira entre 670 e 540 Ma (Pimentel e Fuck, 1992; Fuck et al., 2017) e foi dividida em três principais compartimentos de leste para oeste: cratônico, externo e interno (Pimentel, 2016; Dardenne, 2000;

Valeriano, et al., 2008). A zona cratônica abrange as rochas não deformadas que cobrem o CSF, a zona externa inclui uma sucessão de estratos (~2 km) dobrados e falhados no modelo *thick-skinned fold thrust belt*, e o domínio interno a oeste localiza-se onde a deformação envolve embasamento e coberturas sedimentares (Alvarenga et al., 2012; Fuck et al., 2017). Na Serra de São Domingos (SSD), os grupos Paranoá e Bambuí são expostos por uma falha inversa (Figura 2).

Uma espessa sucessão de rochas sedimentares foi depositada ao longo da margem ocidental do CSF. Esses estratos foram divididos em três conjuntos de unidades:

- Grupo Paranoá;
- Formação Jequitaiá;
- Grupo Bambuí.

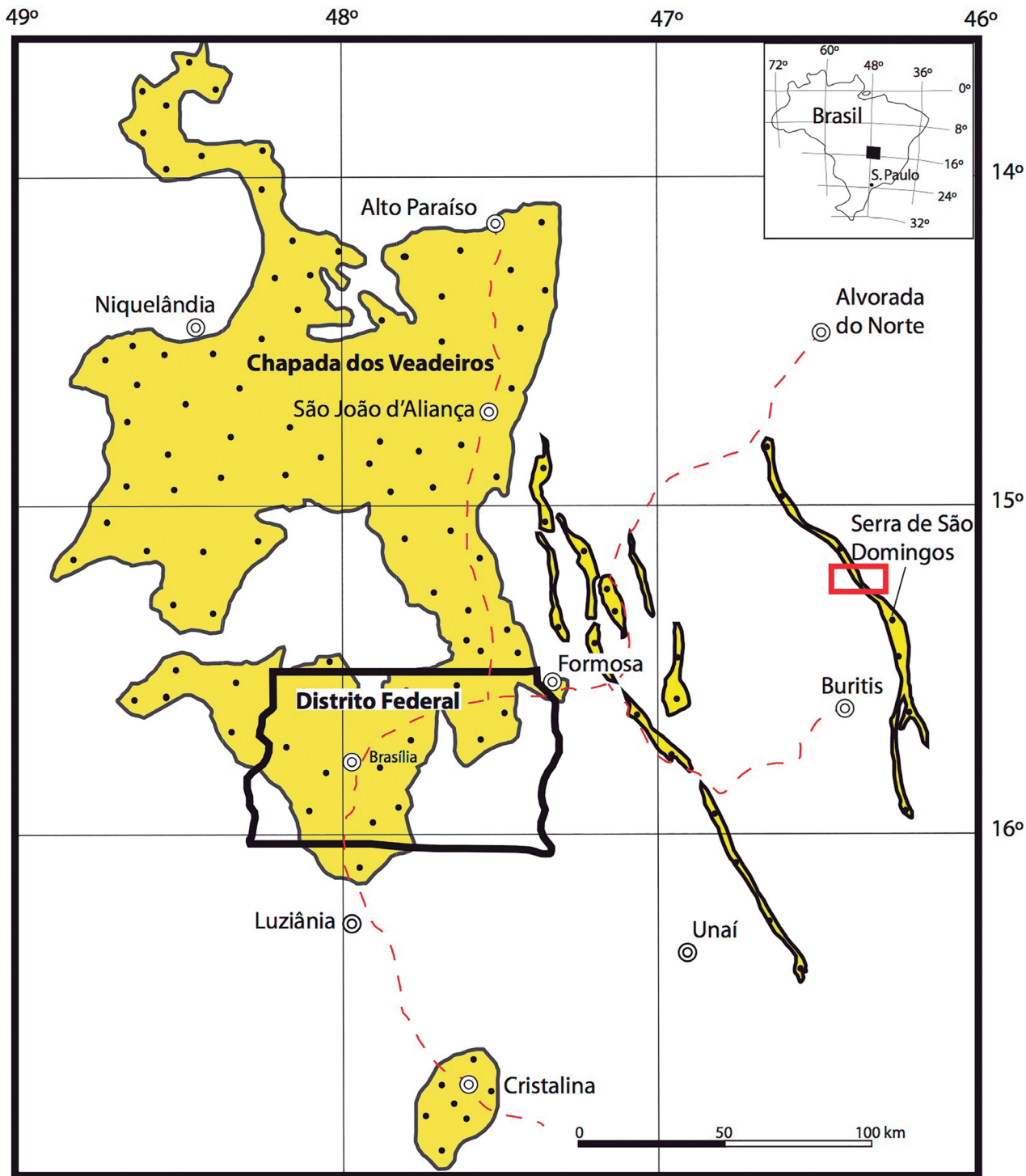
No Grupo Paranoá, foco deste trabalho, ocorrem *Conophyton metulum* Kirichenko com sugestão de idade entre 0,9 e 1,2 Ga (Dardenne et al., 1976). Estromatólitos e microfósseis (*stratifera undata*) encontrados no Grupo Paranoá sugerem um intervalo de idade entre 1170 e 950 Ma (Fairchild et al., 1996). Datações U-Pb em zircões detríticos do Grupo Paranoá, na Chapada dos Veadeiros, indicaram uma idade máxima de deposição de 1,54 Ga e uma idade Lu-Hf de 1,04 Ga em sobrecrescimento de xenotima diagenética em zircão detrítico (Matteini et al., 2012). As poucas informações cronológicas existentes permitem estabelecer que a deposição ocorreu entre os períodos *Ectasian-Stenian*.

O Grupo Paranoá é formado por rochas marinhas de águas rasas contendo principalmente rochas siliciclásticas maduras que incluem quartzitos e ritmitos (intercalações de camadas de siltitos e quartzitos). As fácies rítmicas podem incluir lentes de rochas carbonáticas, por vezes estromatóliticas (Faria e Dardenne, 1995; Alvarenga e Dardenne, 1978; Alvarenga et al., 2012). O Grupo Paranoá na Chapada dos Veadeiros recobre o Grupo Araí, começando com os conglomerados São Miguel, que é seguido por mais de 1.400 m de rochas predominantemente siliciclásticas (Faria, 1995; Campos et al., 2013). Essa espessa sucessão de rochas foi subdividida em 11 formações para a região entre a Chapada dos Veadeiros e o DF, individualizadas por intervalos de arenitos separados dos de ritmitos (Faria, 1995; Campos et al., 2013). Nas regiões a noroeste de Formosa e no domo de Cristalina, o topo desse grupo inclui 30–40 m de espessura de quartzitos feldspáticos a arcossianos, médios a grossos, superpostos por ritmitos, localmente com dolomitos que podem incluir estromatólitos colunares alguns do tipo *Conophyton metulum* Kirichenko (Guimarães, 1997; Faria, 1985).

O Grupo Paranoá na SSD, Minas Gerais, foi individualizado em cinco sucessões estratigráficas informais (Alvarenga e Dardenne, 1978; Alvarenga et al., 2012):

- I. uma inferior, caracterizada por dolomitos e dolomitos estromatólíticos, recobertos por intercalações rítmicas de arenitos finos e siltitos laminados;

- II. uma segunda difere da anterior pela presença de bancos arenosos que aumentam em direção ao topo;
- III. uma terceira caracteriza-se por aproximadamente 100 m de quartzo-arenitos silicificados;
- IV. uma quarta por intercalações rítmicas de arenitos e siltitos;
- V. no topo aproximadamente 80 m de espessura de calcários e dolomitos.



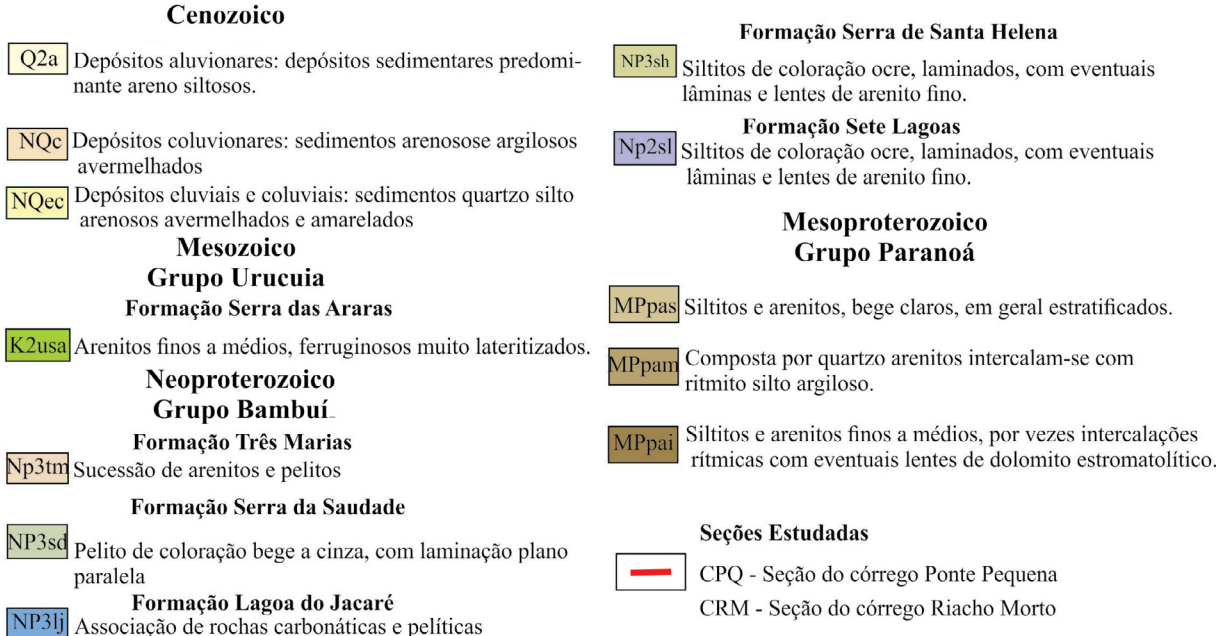
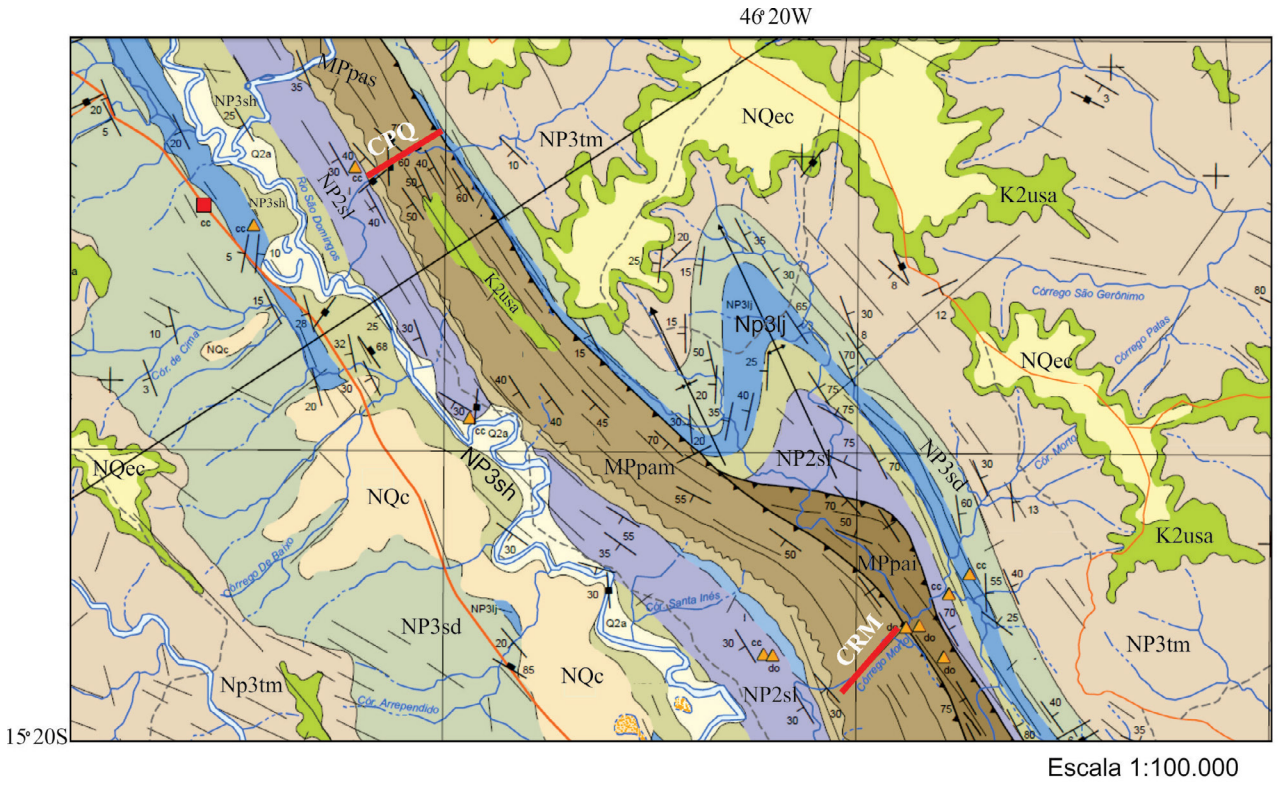
Fonte: adaptado de Heineck et al. (2004); Lacerda Filho et al. (2004); Souza et al. (2004); Valente et al. (2004).

Figura 1. Mapa dos afloramentos das rochas do Grupo Paranoá na Faixa Brasília. Retângulo vermelho localiza a área estudada.

MÉTODOS

As rochas mesoproterozoicas do Grupo Paranoá foram estudadas ao longo de duas seções lateralmente correlacionadas,

distante uma da outra em 8 km, que cortam transversalmente a SSD: Córrego Ponte Pequena (CPQ) e o Córrego Morto (CRM). As seções estratigráficas foram medidas e descritas na escala de 1:300 através de caminhamentos no leito desses



Fonte: adaptado de Alvarenga (1978); Kuchenbecker et al. (2015).

Figura 2. Mapa geológico da área de estudo na Serra de São Domingos, com a localização das seções estudadas, CPQ e CRM. A Figura 2 está localizada na Figura 1.

dois córregos, local onde ocorrem os melhores afloramentos das rochas desse grupo. Apesar da boa continuidade de afloramentos que permitiram uma boa análise das texturas e estruturas sedimentares, existem vários intervalos de não exposição em razão de recobrimentos recentes e alteração superficial. No CPQ as exposições são mais contínuas do que as do CRM. Análises das fácies foram identificadas macroscopicamente e, em alguns casos, complementadas por descrições microscópicas. Os estudos dessas duas seções foram feitos para se reconhecer fácies sedimentares e associação de fácies que permitam uma melhor avaliação dos paleoambientes do Grupo Paranoá.

Este trabalho foi acompanhado de medidas de valores de raio gama, em espaçamento de 3 m, nas tentativas de se estabelecer padrões de comparação com perfis de subsuperfície. O equipamento usado foi um gamaespectrômetro marca Scintex, modelo GRS-500.

DESCRIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE FÁCIES SEDIMENTARES

Na sucessão sedimentar siliciclástica e carbonática mesoproterozoica estudada foram identificadas 11 litofácies sedimentares (Tabela 1; Figura 3), sendo as fácies codificadas, nas quais as letras maiúsculas representam a litologia principal, enquanto as letras minúsculas correspondem às estruturas sedimentares presentes nas fácies (Miall, 1977). Este item refere-se à descrição e interpretação das fácies em escala de afloramento, sua distribuição lateral e vertical na forma de seções panorâmicas e perfis estratigráficos.

Fácies dolomito com estromatólito

A fácies De apresenta-se como microbialitos formados por um conjunto de estromatólitos colunares que se sustentam. As colunas apresentam-se em corte longitudinal com até 1,5 m de comprimento, enquanto a sua seção em corte transversal varia de 5 a 30 cm de diâmetro (Figura 4A). Essa fácies está bem exposta nos primeiros metros da estratigrafia descrita em CPQ e CRM, e no topo da coluna de CPQ, ocorrendo intercalada com fácies Pl (pelito laminado) e AFl (arenito fino laminado).

As colunas métricas dos estromatólitos indicam deposição em águas rasas, sem contribuição de terrígenos e energia moderada. As condições para formação dos estromatólitos são sustentadas pela temperatura (águas quentes), pelo grau de saturação de carbonato na água em ambiente de alta energia (Wood, 2015).

Fácies dolomito laminado

A fácies de dolomito laminado Dl, cinza claro, por vezes com finas interlaminanças pelíticas, ocorre como níveis

centimétricos de dolomito intercalado com finas camadas de siltitos e arenitos muito finos (Figura 4B). A fácies Dl possui espessuras que variam de alguns centímetros a 5 metros.

Precipitação bioquímica na qual a irregularidade nas laminações pode estar relacionada a lamitos microbianos (Fairchild e Sanches, 2015). O aspecto brechado pode ser explicado pelo retrabalhamento dos carbonatos durante tempestades, posteriormente redepositados.

Fácies arenito médio com estratificações cruzadas

A fácies arenosa média com estratificações cruzadas (AMc) foi subdividida em duas subfácies, a com estratificação cruzada tabular e acanalada (AMc₁) e a com estratificação bidirecional e/ou multidirecional (AMc₂).

Subfácies arenito médio com estratificação cruzada unidirecional

Na subfácies AMc₁, observam-se localmente no topo do *set* de estratificações cruzadas marcas onduladas assimétricas. As estratificações cruzadas tabulares, em sua maioria, apresentam pequena escala, e as estratificações cruzadas acanaladas em geral são de pequena (5 cm) a grande escala (10 a 30 cm). Localmente, é possível distinguir lâminas de *sets* de estratificações cruzadas de corrente dominante e *sets* de laminação cruzada de corrente subordinada, ambas separadas por superfície de reativação. Os *sets* das estratificações acanaladas são recobertos por lâminas de pelitos (*mud drapes*) (Figura 5A) e clastos de argila achatados.

As subfácies AMc₁ foram formadas pela migração de dunas subaquosas, assimétricas, de crista reta ou sinuosa, geradas por correntes trativas unidirecionais sob condições de regime de fluxo inferior. Nos *sets* de estratificações cruzadas acanaladas finas lâminas pelíticas foram depositadas ao longo dos estratos cruzados em razão da intercalação dos processos de tração por correntes e de decantação durante períodos de águas paradas. Intraclastos de argila achatados são também observados ao longo de superfícies de reativação na estratificação cruzada.

Subfácies arenito médio com estratificações cruzadas bidirecionais e/ou multidirecionais

A subfácies AMc₂ compõe-se de arenitos médios, cinza-esbranquiçados a rosados, subarredondados, bem selecionados, parcialmente silicificados, apresentando *sets* de estratificação cruzada, que mergulham em sentidos opostos ou em vários sentidos diferentes (Figuras 5B e 5C). Localmente, nessas estruturas há lâminas pelíticas, além de níveis conglomeráticos (grânulos) que podem ocorrer ao longo dos planos das estratificações cruzadas ou marcando a base dos *sets*. Em geral, as estratificações cruzadas bidirecionais são de

pequena (5 cm) a grande escala (10 a 30 cm). Essas estruturas são formadas por fluxos unidirecionais alternantes sugestivos de depósitos de canais de maré, em que um conjunto de *foreset* representa a maré enchente e outro a maré vazante. As paleocorrentes bipolares demonstram claramente a origem por correntes de maré (Allen e Homewood, 1984).

Fácies arenito médio com geometria sigmoidal

A fácies AMs consiste de arenitos de coloração rosado, médio, silicificado, com estratificações cruzadas sigmoidais, formando um conjunto de pares alternados de 5 a

10 cm de espessura com geometria sigmoidal, sendo cada *set* arenoso capeado por pelito (Figura 5D). Essa fácies é formada por correntes subaquosas e fluxos hipopicnais, com deposição do material arenoso alternado com deposição de finos (pelito) em períodos de água parada, podendo estar relacionado às marés. Essas feições sigmoidais são típicas de depósitos deltaicos.

Fácies arenito médio estratificado

Esta fácies AMe consiste de arenito cinza claro, médio, bem selecionado, com grãos subangulosos a subarredondados,

Tabela 1. Código de fácies, estruturas e interpretação dos processos sedimentares.

Código	Fácies	Estrutura sedimentar	Interpretação
De	Dolomito com estromatólitos	Laminação irregular de origem biogênica	As dimensões métricas dos estromatólitos indicam condições plataformais, com lâmina d'água relativamente rasa, sem contribuição de sedimentação siliciclástica e energia moderada.
DI	Dolomito laminado	Laminado	Precipitação bioquímica de carbonatos com finas interlaminacões pelíticas de baixa energia. Brechas de intraclastos, locais sugerem retrabalhamento por fluxo oscilatório, causados por ondas de tempestades.
AMc ₁	Arenito médio com estratificações cruzadas unidirecionais	Estratificação cruzada tabular e acanalada	Associada a migração de dunas subaquosas, assimétricas, de crista reta ou sinuosa, geradas por correntes trativas unidirecionais sob condições de regime de fluxo inferior.
AMc ₂	Arenito médio com estratificações cruzadas bidirecionais e/ou opostas	Estratificações cruzadas bidirecionais e/ou multidirecionais	Essas estruturas são formadas por fluxos unidirecionais alternantes, sugestivas de depósitos de canais de maré, em que um conjunto de <i>foreset</i> representa a maré enchente e outro a maré vazante.
AMe	Arenito médio estratificado	Estratificação plano-paralela	Deposição por correntes trativas com suplemento de sedimento periódico e rápida deposição.
AMs	Arenito médio com geometria sigmoidal	Cruzada de baixo ângulo	Correntes subaquosas, fluxo vigoroso com deposição do material arenoso alternada por drapes de pelitos depositados sob a influência de marés.
AFI	Arenito fino laminado	Laminação plano-paralela, estruturas de carga e <i>gutter cast</i> .	Deposição por fluxo oscilatório de alta energia. As estruturas de carga são formadas pela pressão e densidade do material arenoso sob o material lamoso e as estruturas <i>gutter cast</i> são cavas formadas e preenchidas no nível de base de ondas de tempo bom.
AFm	Arenito fino com marcas onduladas de onda e corrente	Marcas onduladas e laminações cruzadas produzidas por onda e corrente.	Combinação de processos geradores de estruturas típicas da ação de onda e de corrente. A corrente unidirecional forma a laminação cruzada seguida de fluxo oscilatório responsável pelo desenvolvimento de ondulações simétricas de crista reta.
AFh	Arenito fino com estratificação cruzada <i>hummocky</i>	Estratificação cruzada <i>hummocky</i>	Formado por fluxo oscilatório de alta energia, gerado por regime de ondas de tempestade.
PI	Pelito laminado	Laminação plano-paralela	Condições subaquosas de baixa energia com decantação de sedimentos finos.
PAht	Pelito intercalado por arenito fino formando laminações heterolíticas.	Laminação <i>flaser</i> , <i>wavy</i> e <i>lisen</i> . Localmente com gretas de contração	Sugestiva de regimes unidirecionais e/ou bidirecionais, com alternância de períodos de maior energia (ação de correntes e ondas) e de baixa energia com decantação. As estruturas de contração são formadas por exposição subárea e desidratação.

apresentando estratificação paralela. As camadas estratificadas apresentam espessura de aproximadamente de 5 a 10 cm. Esses arenitos são formados por correntes trativas com suplemento de sedimento periódico e rápida deposição.

Fácies arenito fino com marcas onduladas

Esta fácies AFm consiste em arenito fino, cinza claro a rosado, subarredondado, bem selecionado. Nesses arenitos

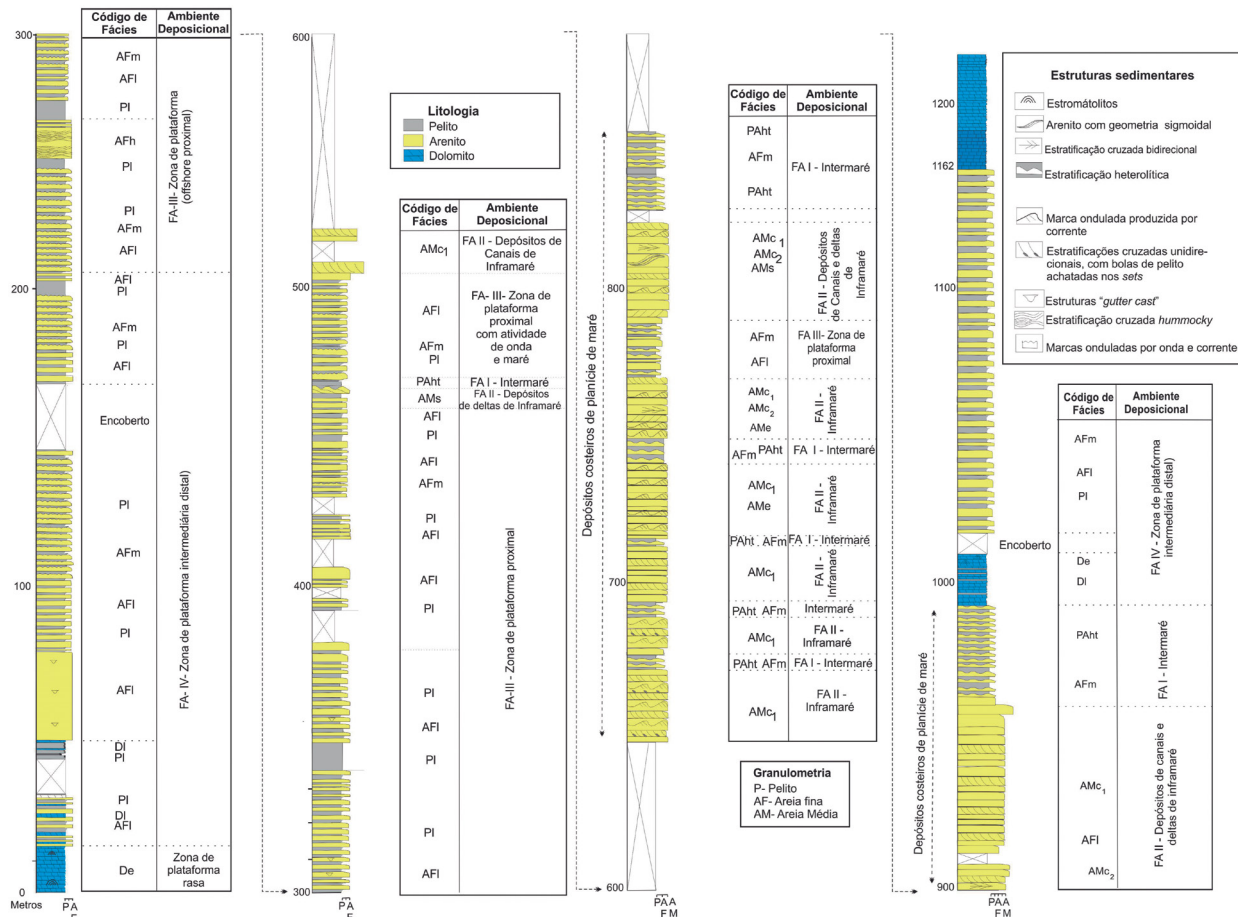


Figura 3. Seção litoestratigráfica do córrego Ponte Pequena (CPQ) na Serra de São Domingos, à NW de Minas Gerais. Ver Tabelas 1 e 2 para significado dos códigos de fácies e Figura 2 com a sua localização.

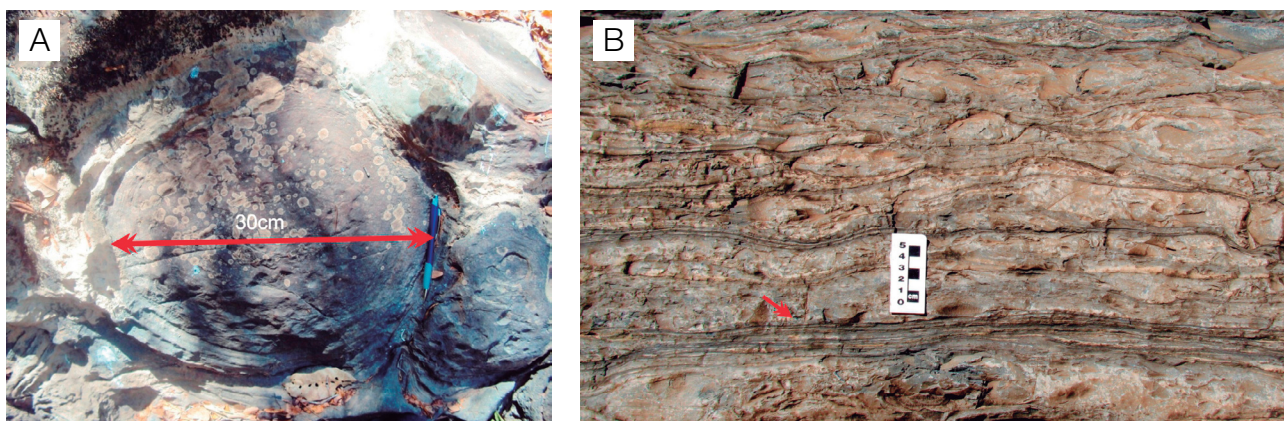


Figura 4. (A) Observar as formas circulares em planta do dolomito com estromatólito localizado na base da seção do Córrego Ponte Pequena (ver Figura 3 no intervalo de 5–15 m). (B) Detalhe dos dolomitos laminado (D) com destaque para as laminações onduladas (seta vermelha).

são observadas marcas onduladas simétricas de crista reta, internamente com laminações cruzadas truncadas e marcas onduladas assimétricas internamente características de atividade de corrente unidirecional (Figura 6A). Essa fácies ocorre intercalada pelas fácies AFl e Pl.

Na fácies AFm é observada uma combinação de processos geradores de estruturas típicas da ação combinada de onda e de corrente. O processo sedimentar implica numa corrente unidirecional com fluxo de baixa energia formando a laminação cruzada por corrente e em seguida ocorre fluxo oscilatório de baixa energia responsável pelo desenvolvimento de ondulações simétricas de crista reta.

Fácies arenito fino laminado

As fácies AFl consiste em arenitos de coloração cinza claro a escuro, por vezes esverdeado, fino, bem selecionado, subarredondados, localmente silicificados, apresentando

laminações plano-paralelas centimétricas. É comum as camadas apresentarem geometria lenticular, além de estruturas de carga e estruturas *gutter cast* na base das camadas (Figuras 6B e 6C). Esta fácies ocorre também intercalada pelas fácies AFm, Pl, AFh e PAht, que serão descritas a seguir.

A geometria lenticular dessa fácies pode indicar deposição por fluxo oscilatório de alta energia. As estruturas de carga são formadas pela pressão e densidade do material arenoso sob o material lamoso (viscoso-plástico), e as estruturas *gutter cast* são cavas formadas pela erosão no substrato, possivelmente durante as tempestades, e preenchidas durante os períodos com nível de base de ondas de tempo bom (Myrow, 1992).

Fácies pelito laminado

A fácies Pl é composta por pelitos que apresentam coloração marrom-avermelhado, cinza claro a preto, com estrutura finamente laminada. Em geral, intercala-se com as fácies AFl, AFh

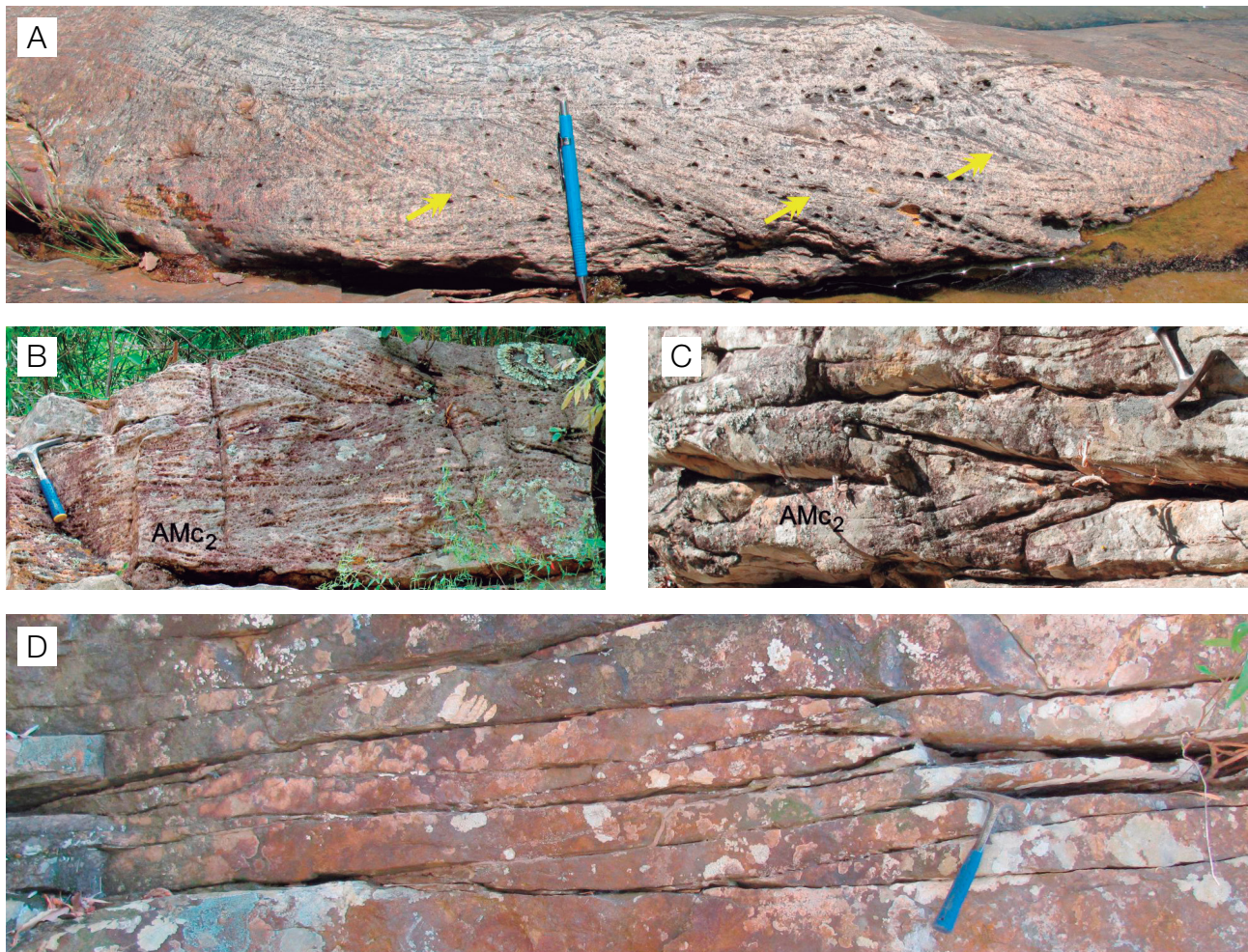


Figura 5. (A) Arenitos conglomeráticos com estratificações cruzadas acanaladas com *drape* de argila. (B) e (C) Arenitos com estratificações cruzadas bidirecionais (AMc₂). (D) Aspecto geral sigmoidal dos arenitos (AMS), notar o recobrimento de lâminas pelíticas entre cada set das cruzadas sigmoidais.

e AFm. Essas fácies são formadas pela alternância de condições subaquosas de baixa energia com decantação de sedimentos finos.

Fácies arenito fino com estratificação cruzada *hummocky*

Esta fácies AFh consiste em arenitos finos, de coloração cinza claro a rosado, bastante silicificado, com estratificação

cruzada *hummocky*. Em geral, esta fácies apresenta geometria lenticular. Localmente, observam-se no topo megaondulações simétricas com quilhas de aproximadamente 2 m (Figura 6D). Esta fácies pode ocorrer intercalada por fácies AFm, AFi e PI. A espessura média dos arenitos dessa fácies é de 0,5 a 1,0 m.

Fluxo oscilatório de alta energia em regime de ondas de tempestade de grande amplitude é o processo gerador

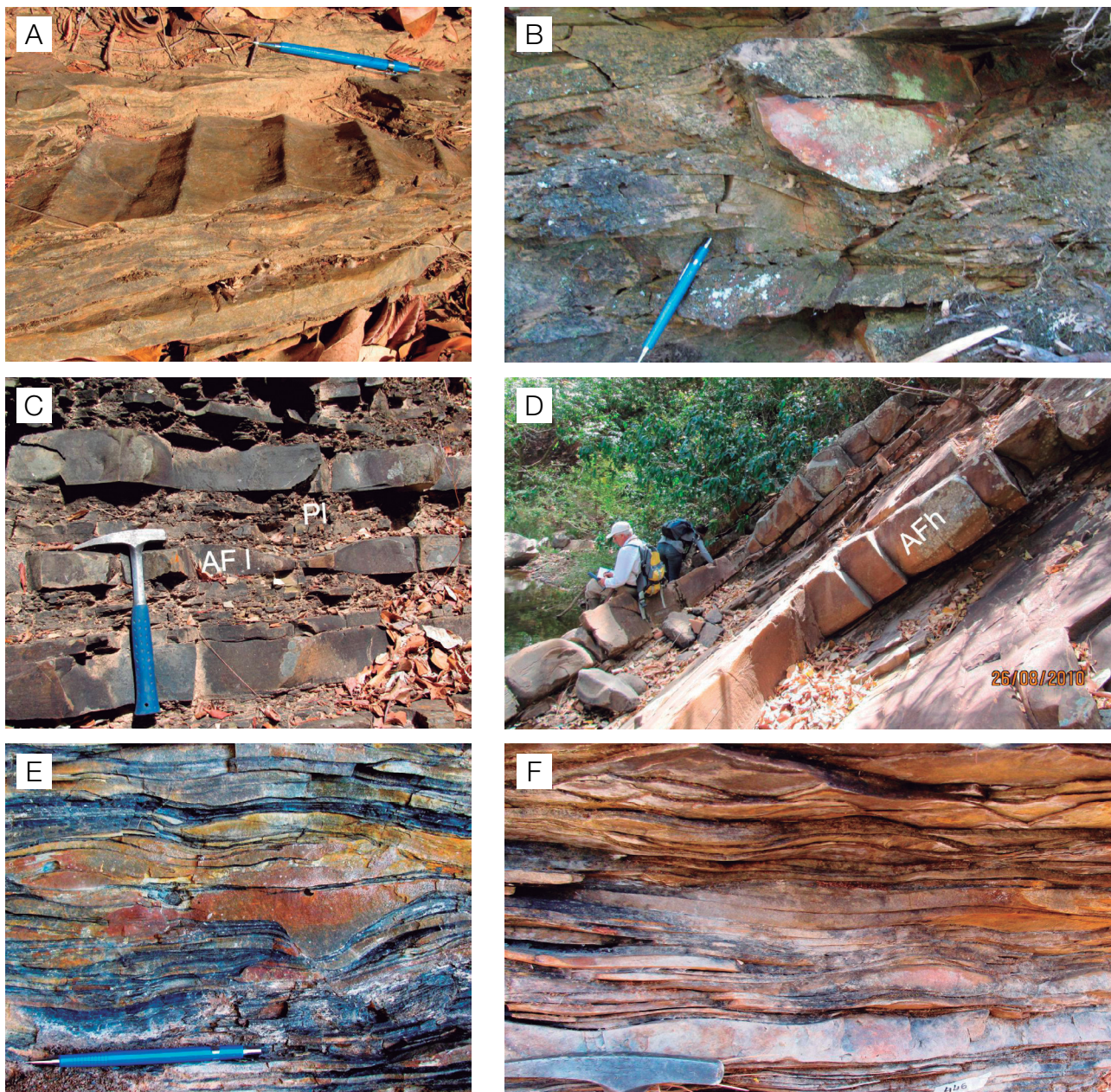


Figura 6. (A) Vista tridimensional de marcas de onda simétricas por processos oscilatórios (442 m na Figura 7). (B) Vista transversal de um *gutter cast* na associação de fácies *offshore* (FA-III). Notar que ele corta a fácies PI. (C) Intercalações das fácies AFi e PI (FA-III), notar ondulações no limite superior da camada de arenito fino. (D) Estratificações cruzadas truncadas por ondas amalgamadas, fácies AFh. (E) e (F) Aspecto ondulado dos depósitos heterolíticos da fácies PAht, localizada na Figura 3 no intervalo de 469 m, destaque para a laminação interna *wavy-linsen*.

dessa fácies, que movimentou grandes volumes de sedimentos arenosos (Plint, 2010). As megaondulações simétricas que moldam o topo dessas fácies são formadas no final do evento de tempestade.

Fácies pelito e arenito heterolítico com laminações *lisen-wavy* e *flaser*

Esta fácies PAht é formada por pares heterolíticos de pelito marrom a cinza escuro e arenitos de coloração branco a cinza esbranquiçado, de granulometria muito fina a fina, formando laminação *flaser*, *wavy* e *lisen* (Figuras 6E e 6F). Intercalado a essas fácies podem ocorrer as fácies AFI, AFm e AFh. As laminações *flaser* e *wavy*, que resultaram da alternância de processos de tração e decantação, em regimes unidirecionais e/ou oscilatórios. Durante os períodos de maior energia, as areias foram depositadas sob ação de correntes e ondas, enquanto os sedimentos finos em suspensão depositaram-se por decantação em baixa energia. O ambiente mais favorável à formação dessas estruturas são as planícies de marés (Dalrymple, 2010). As estruturas de contração são formadas por exposição subáerea e desidratação subaquosa.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES

Na espessa sucessão de rochas descrita na SSD, com mais de 1.000 m de espessura, foram identificadas 11 fácies (Tabela 1), agrupadas em dois subsistemas de planície de maré e três subsistemas de plataforma mista, marinha rasa a profunda (Tabela 2).

Associação faciológica FA-I (intermaré)

A associação faciológica FA-I é constituída pelas fácies PAht e AFm que ocorrem ao topo das sucessões estudadas, formando pares heterolíticos de espessura variável

com feições diagnósticas de subsistema de intermaré (Figura 3). A fácies PAht representa a passagem *mixed flats* para *mud flats*, típica de ambiente de intermaré, apresentando interlaminações areia/pelito com acamamento (*flaser* e *wavy-linsen*) (Roberts, 2007; Varban e Plint, 2008). Localmente, ocorrem gretas de contração, que são comuns em sedimentos lamosos de ambiente de planície de maré, sendo observados na transição intermaré a supramaré.

Associação faciológica FA-II (inframaré)

A associação faciológica FA-II é composta das fácies AMc₁, AMc₂, AMs e AMe (Figura 3). Na fácies AMc₁ são observados os *sets* de estratificações cruzadas unidirecionais com níveis de argila depositados durante períodos de águas paradas, e os clastos argilosos indicam o retrabalhamento dessas argilas por corrente subordinada. Foram também observadas feições de depósitos de canais, barras e deltas de inframaré caracterizados pelas fácies AMc₂, AMe e AMs. A combinação de conjuntos de estratificações cruzadas bidirecionais e/ou multidirecionais é representativa dos períodos vazante e enchente formados em canais de inframaré. Nos depósitos de barra de inframaré foram observadas intercalações de fácies AFm com fácies PI, interpretadas como de ambiente de intermaré com influência de fluxo oscilatório (Molgat e Arnott, 2002).

Os depósitos de delta dominado por maré são caracterizados por uma geometria sigmoidal, intercalados por laminações relativamente delgadas de pelito. Essa fácies é indicativa da influência de maré, onde os níveis de lama decantaram no momento de água parada que divide o ciclo de maré (Roberts, 2007; Varban e Plint, 2008). Portanto, de acordo com todas as feições presentes nessa associação faciológica, foi interpretado o ambiente costeiro de planície de maré típico de subsistema de inframaré.

Tabela 2. Associações faciológicas, subsistemas e sistemas deposicionais.

Código	Associação faciológica	Subsistema	Sistema deposicional
FA - I	PAht, AFm	Intermaré	
FA - II	AMc ₁ , AMc ₂ , AMs, AMe	Inframaré inclui depósitos de deltas de maré, canais e barras de inframaré.	Ambiente de planície de maré
FA - III	AFm, AFI, AFh, PI	Zona de plataforma (<i>offshore</i> proximal) com combinação de atividade de onda e maré com componente variável de tempestade.	Ambiente de plataforma siliciclástica proximal e intermediária-distal
FA - IV	AFI, PI, AFh	Zona de plataforma (<i>offshore</i> intermediária-distal)	
FA - V	DI, De		Ambiente de plataforma carbonática rasa

Associação faciológica FA-III (*offshore proximal*)

A associação faciológica FA-III é constituída pelas fácies AFm, Pl, AF1 e AFh (Figura 3). Na fácies AFm é evidente a combinação da interação da ação de corrente e onda. A fácies AF1 apresenta geometria lenticular, localmente com estruturas *gutter cast* (Figura 6B), e a fácies AFh demonstra feições claras de onda, resultante de eventos de tempestades, comuns no Proterozoico e no Cambriano Inferior, de acordo com o modelo modificado de Johnson e Baldwin (1996). Estruturas *gutter cast* têm sido interpretadas em razão de fluxos de tempestades em ambientes *offshore* ou *shoreface* (Myrow, 1992; Amos et al., 2003). Portanto, de acordo com as feições presentes nessa associação faciológica, interpreta-se como subsistema de zona de plataforma (*offshore proximal*) com a combinação de atividade de onda e maré, acrescida da influência de tempestade em ambiente de plataforma marinha siliciclástica.

Associação faciológica FA-IV (*offshore intermediária distal*)

A associação faciológica FA-IV é constituída pelas fácies AF1, Pl e AFh (Figura 3). Em parte, essa associação é interpretada como produtos de eventos esporádicos de transporte e acumulação de material arenoso sob a ação combinada de fluxo oscilatório alternado por período de atenuação com deposição de pelitos. Essa associação foi interpretada como de um subsistema de zona de plataforma (*offshore intermediária-distal*) de ambiente plataformal dominado por tempestade de energia moderada.

Associação de fácies FA-V (plataforma rasa)

A associação faciológica FA-V é constituída pelas fácies DI e De, depositadas em ambiente de plataforma rasa, com zona fótica propícia para construções estromatolíticas. Essas fácies apresentam espessuras de até 15 m. Portanto, essa associação de fácies foi pouco desenvolvida comparada às fácies terrígenas e/ou siliciclástica.

MODELO DEPOSICIONAL

A sucessão estratigráfica da SSD foi depositada em sistema de plataforma mista caracterizada pelo sistema costeiro de planície de maré e de plataforma marinha *offshore proximal-intermediária-distal*, ambos com influência de tempestade. O modelo deposicional proposto para o Grupo Paranoá na SSD sugere uma distribuição de diferentes fácies representativas de cada ambiente deposicional, as quais podem ser indicadas no modelo esquemático de Johnson e Baldwin (1996) com as respectivas associações faciológicas (Figura 7).

SUCESSÃO ESTRATIGRÁFICA

Apesar do reconhecimento das associações de fácies, foi difícil identificar em afloramento as superfícies-chave que limitam tratos de sistemas deposicionais, parassequências e sequências deposicionais, restringindo a ampla aplicação da estratigrafia de sequências. Dessa forma, serão apresentados apenas os ciclos sedimentares de escala centimétrica a métrica observados ao longo das duas seções estudadas (Figura 8). Os ciclos e o conjunto de ciclos correspondem às parassequências e conjuntos de parassequências. Para melhor entendimento dos ciclos e das parassequências, eles foram descritos separadamente para cada um dos dois principais sistemas deposicionais: plataforma marinha carbonática rasa a siliciclástica *offshore* e plataforma proximal com influência de maré.

Plataforma marinha carbonática rasa a siliciclástica *offshore*

Este ambiente foi identificado nos primeiros 500 m das seções estudadas (Figura 8). Os ciclos de granocrescência ascendente são observados em diferentes escalas, desde a escala de afloramento (parassequências) até as escalas métricas com conjuntos de parassequências atingindo até 110 m de espessura (Figura 8).

As rochas dolomíticas na parte inferior das duas seções estão em contato basal por falha, onde são identificados ciclos complexos (C-1) de até 15 m de espessura (Figura 8). Esse ciclo inicia-se na base com dolomitos laminados sucedidos por colunas estromatolíticas culminando com a deposição de rochas siliciclásticas com feições de atividade de tempestade. Sobreposto ao intervalo dolomítico ocorrem ciclos mistos com camadas centimétricas de dolomitos recobertas por intercalações centimétricas das fácies siliciclásticas AF1 e Pl (C2). A sucessão inclui ciclos gradativamente mais arenosos para o topo, evidenciando uma granocrescência ascendente na escala de dezenas de metros (C-3 a C-4). Esse padrão em ciclos de *coarsening-upward* e *thickening upward* permanece (C-5 a C-9), evidenciando um preenchimento progradacional (Figuras 8 e 9A).

Os ciclos siliciclásticos granocrescentes ascendente (ciclos C-5 a C-9) são formados apenas por aumento ascendente de granulometria, incluindo um empilhamento que se inicia por pelitos laminados Pl, sobrepostos por fácies AF1 e AFm. O topo do ciclo termina com arenitos finos com estratificação cruzada *hummocky* AFh. Essas parassequências granocrescentes ascendentes são interpretadas como de uma zona de plataforma (*offshore proximal*) com atividade de tempestade (Van Wagoner et al., 1990; Della Favera, 2008). Existem também ciclos granocrescentes de até 20 m de espessura, iniciando-se

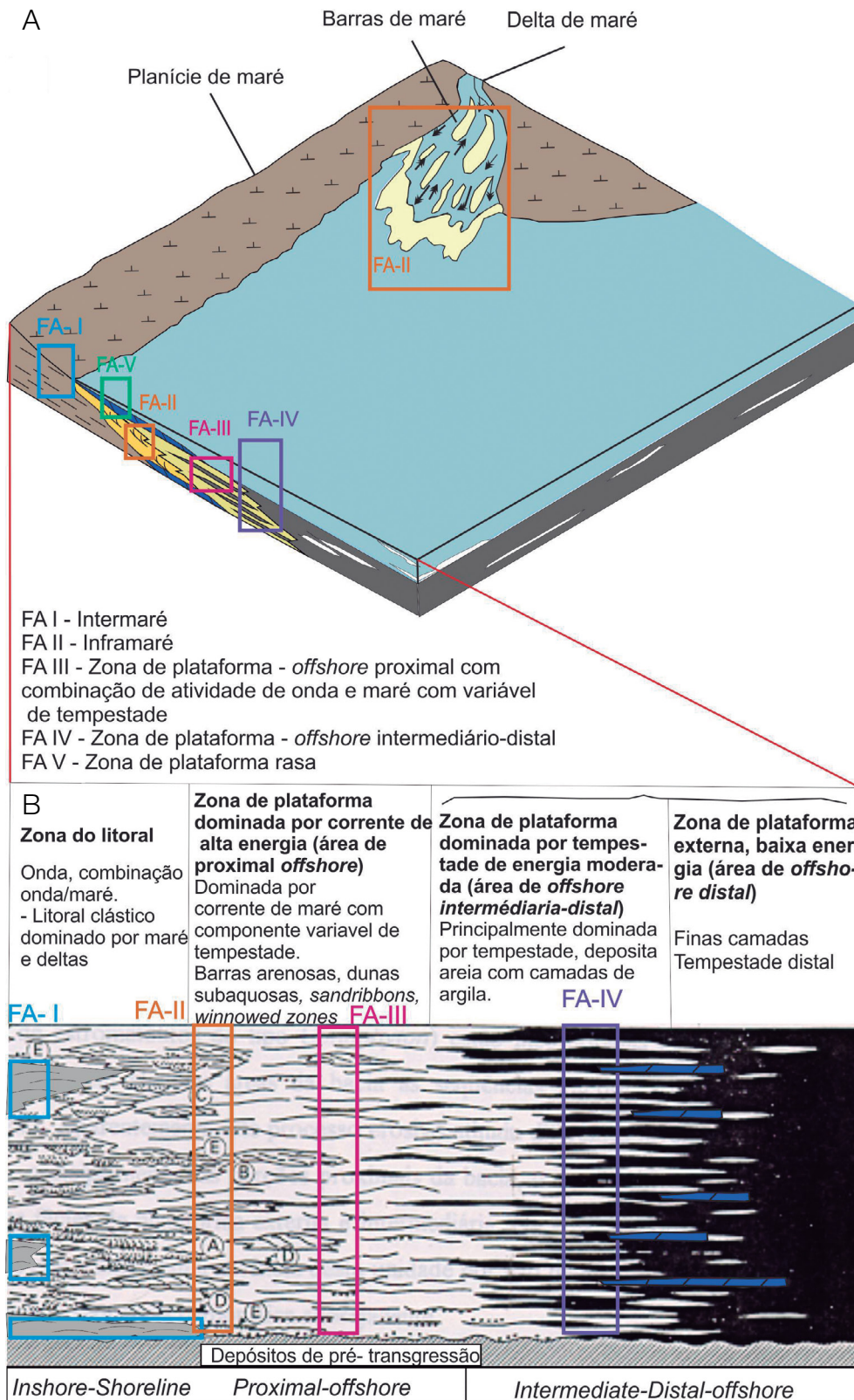


Figura 7. (A) e (B) Modelo de fácies esquemático para uma plataforma marinha dominada por tempestades proposto para a Formação Sandfjord, Neoproterozoico da Suécia (Johnson e Baldwin, 1996). As associações fácies FA-I, FA-II, FA-III e FA-IV encontradas na Serra de São Domingos enquadram-se por similaridade nesse modelo.

com intercalações das fácies AFl e Pl, passando para o topo em arenitos com estratificações cruzadas de baixo ângulo de geometria sigmoidal AMs e pelito e arenito heterolítico com gretas de contração PAht. Esse intervalo apresenta um avanço significativo do raseamento bacinal com estruturas de exposição subárea, sugerindo a transição para uma plataforma proximal.

Plataforma proximal com influência de maré

Este sistema foi reconhecido ao longo de uma espessa sucessão, de aproximadamente 400 m de espessura, entre os intervalos de 509 a 991 m, na seção CPQ (C-10 a C-17) (Figura 8). Nessa sucessão são observados ciclos de sedimentação que variam de 5 a 25 m de espessura, iniciando por camadas de arenito médio (inframaré) que, de forma gradual, diminuem de espessura para o topo, intercalando-se com camadas siltosas, que se tornam cada vez mais significativas. Nos intervalos siltosos são comuns as gretas de contração. Esses ciclos estão indicando condições de sedimentação de menor profundidade de lâmina d'água para o topo (ciclos de raseamento), comumente interpretados como parassequências granodrecentes ascendentes típicas de ambientes de planícies de maré (Figura 9B). Nos intervalos superiores da seção CPQ (905-950) e CRM (850-921), as camadas se tornam predominantemente arenosas, dificultando a individualização dos ciclos, que podem ser feitos pela gradual diminuição das espessuras das camadas, interpretadas como depósitos inframaré (Figura 8). Acima desse intervalo segue-se uma sucessão de rochas mais finas com estruturas de intermaré (gretas de contração) com raras intercalações de dolomitos estromatolíticos, indicando momentos de águas claras e rasas.

A porção superior do Grupo Paranoá na SSD encerra-se com aproximadamente 100 m de espessura de calcários com estrutura *molar tooth* e de dolomitos laminados e estromatolíticos, indicando o retorno de uma plataforma carbonática rasa (Alvarenga et al., 2014).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os ciclos sedimentares identificados nas seções estudadas não comportam informações suficientes para precisar a definição de suas ordens de duração. Para que se proceda à definição da duração dos ciclos, além dos dados referentes às suas espessuras, é necessário que se conheça o intervalo de tempo envolvido na deposição dos ciclos e dos conjuntos de ciclos. Entretanto, considerando que o mecanismo primário para o estabelecimento dos ciclos é a variação do nível eustático (Vaill et al., 1977), foram reconhecidas diferentes ordens de grandezas de ciclos na

seção do córrego Ponte Pequena (Figura 8). O empilhamento dos ciclos e a resposta dos dados de raio gama, ao longo de aproximadamente 1.000 m de espessura, sugerem uma mudança gradual de um sistema de plataforma *offshore* proximal, passando para um sistema deposicional costeiro de planície de maré com diminuição de lâmina d'água para o topo da seção, representando o ciclo de maior ordem, segunda ordem (Vail et al., 1977; Vail et al., 1991), identificado pela sigla R-01 (Figura 8). Além desse, foram identificados ciclos de menores ordens, associados às oscilações eustático-climáticas. Quanto à correlação dos ciclos, esta foi realizada pelo padrão de empilhamento das parassequências e pelas estruturas sedimentares presentes nas duas seções estudadas. A restrição de exposições, na seção CRM, quando comparada às contínuas exposições da seção CPQ, limitou a correlação entre os ciclos, possível somente para quatro intervalos (Figura 8).

Os resultados de curvas de raios gama evidenciam a presença de alguns dos ciclos, bem marcados pelo aumento dos valores de raio gama, sempre relacionados às fácies mais siltico-argilosas, enquanto os menores valores são relacionados às fácies arenosas. Uma menor escala de observação foi marcada pela tendência geral da curva de raio gama identificada pela sigla CG-01 (Figura 8, tracejado em verde). Nela está evidenciada a sucessão rítmica da plataforma siliciclástica *offshore* (FA-III e FA-IV), com os maiores valores de raio gama (170 a 270 cps), contrastando com os valores de raio gama (~50 até 205 cps) da plataforma proximal com influência de maré (FA-I e FA-II). As rochas dos intervalos rítmicos do topo da seção CPQ apresentam valores de raio gama semelhantes às do seu intervalo inferior (plataforma siliciclástica *offshore*), com domínio de valores acima de 200 cps (Figura 8) base da SE-1. As fácies arenosas da plataforma siliciclástica *offshore* apresentam valores de raio gama entre 130 e 195 cps; se comparadas com as fácies arenosas da plataforma proximal com influência de maré, registram valores menores de raio gama, entre 45 a 95 cps. A diferença de intensidade de valores de raio gama entre os arenitos da plataforma siliciclástica *offshore* e os da plataforma proximal com influência de maré foi explicada pelo fato de os arenitos da plataforma *offshore* serem mais arcossianos (Feitosa, 2012).

A sucessão estratigráfica da SSD com mais de 1.000 m de espessura sugere que os principais controles de deposição estão relacionados com a variação eustática, provavelmente relacionada com a subsidência tectônica e o clima. As sucessões cíclicas identificadas não evidenciam, de forma clara, uma correlação com a região da Chapada dos Veadeiros/Distrito Federal. Entretanto, em ambas as regiões são fortes as evidências de depósitos de plataforma rasa com forte influência periódica da lâmina d'água pela maré (Faria, 1985, 1995; Campos et al., 2013).

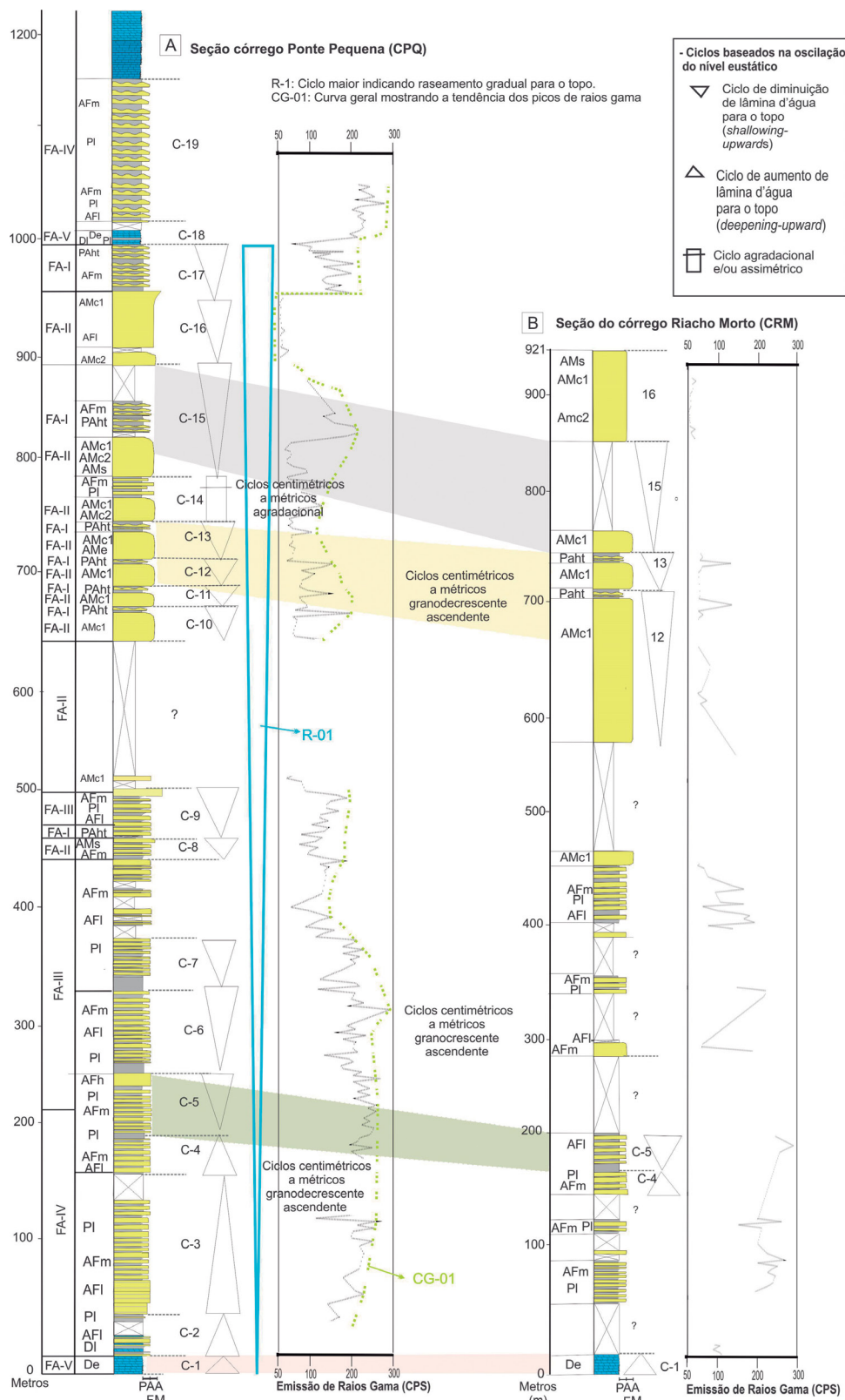


Figura 8. Seções estratigráficas medidas, incluindo as fácies, associações de fácies, ciclos e o perfil de raios gama. (A) Seção Córrego Ponte Pequena (CPQ). (B) Seção Córrego Riacho Morto (CRM). Ver nas Tabelas 1 e 2 o significado das abreviações de fácies e das associações de fácies. Ver na Figura 3 o significado dos símbolos litológicos e de granulometria.

CONCLUSÕES

Os estudos realizados nesta pesquisa incluem a análise de dados sedimentológicos e estratigráficos da sucessão sedimentar mesoproterozoica, do Grupo Paranoá, na SSD, com ênfase na individualização de fácies, no estabelecimento da ciclicidade e nos sistemas deposicionais. As seguintes conclusões podem ser listadas:

- As rochas do Grupo Paranoá na SSD, Minas Gerais, são caracterizadas por 11 litofácies sedimentares: De (dolomito com estromatólitos), DI (dolomito laminado), AFI (arenito fino laminado), AFm (arenito fino com marcas onduladas de onda e corrente), AFh (arenito fino com estratificação cruzada *hummocky*), AMc₁ (arenito médio com estratificações cruzadas unidirecionais), AMc₂ (arenito médio com estratificações cruzadas bidirecionais e/ou multidirecionais), AMe (arenito médio estratificado), AMs (arenito médio com geometria sigmoidal), PI (pelito laminado) e PAht (pelito e arenito com laminação heterolítica);
- As associações faciológicas, *offshore* intermediária distal (FA-IV), *offshore* proximal (FA-III) e plataforma rasa carbonática (FA-V) foram grupadas em um sistema de plataforma marinha carbonática rasa a siliciclástica *offshore*, enquanto as associações de fácies de inframaré (FA-II) e intermaré (FA-I) foram individualizadas no sistema de plataforma proximal com influência de maré;
- Foram identificadas diferentes ordens de grandeza de ciclos sedimentares. Parasequências com padrão granocrescente ascendente e agradacional são comuns, entretanto o padrão de granodecrescência ascendente foi observado em parasequências com influência de maré;
- A interpretação conjunta dos ciclos sedimentares, ao longo dos mais de 1.000 m da sucessão estratigráfica do Grupo Paranoá, na SSD, mostra que da base para o topo a sedimentação tem início em uma plataforma *offshore* proximal, passando para o topo para o domínio de uma plataforma proximal com influência de maré (inframaré-intermaré), evidenciando um contínuo raseamento para o topo.

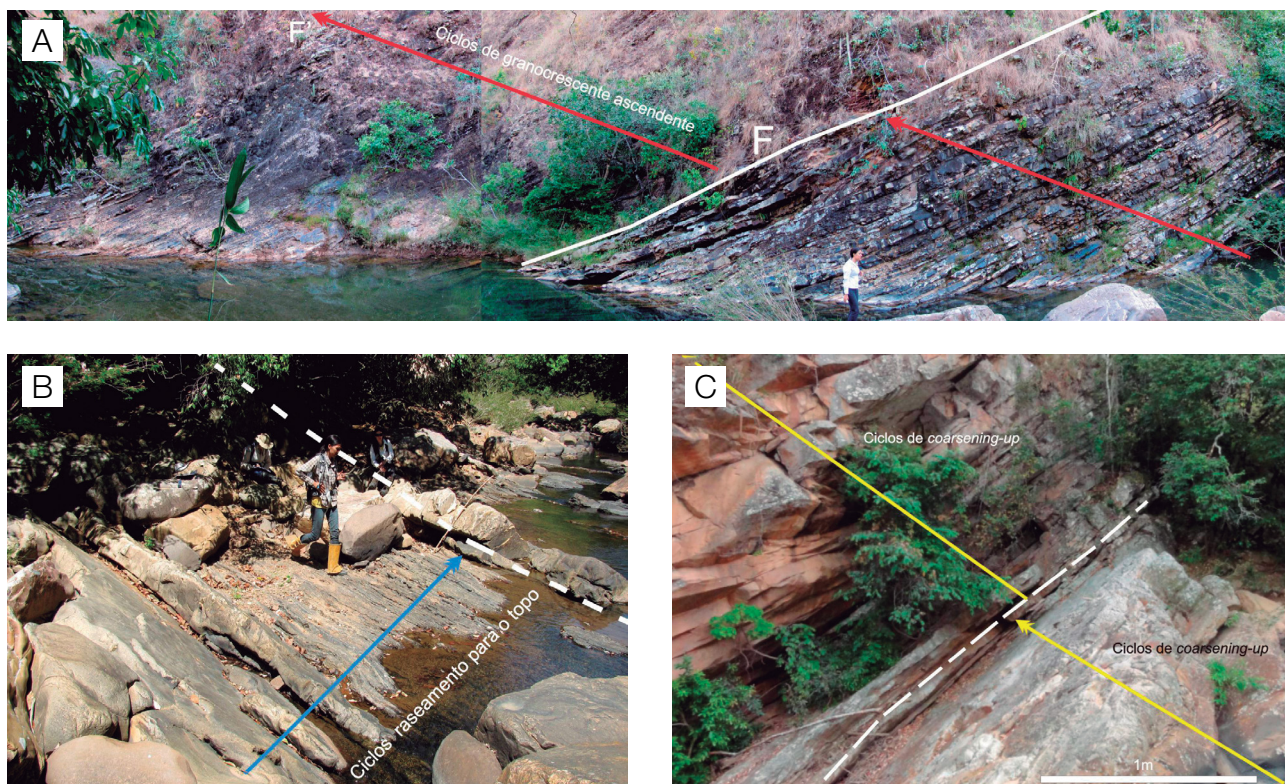


Figura 9. (A) Fotomosaico destacando o limite entre dois ciclos granocrescentes ascendentes da associação de fácies FA-IV (*offshore* intermediária distal), localizada na Figura 8B (CRM), no intervalo 167 e 197 m. (B) Ciclo granodecrescente ascendente mostrando que as camadas arenosas tornam-se gradualmente mais finas, passando a se intercalarem com pelitos (razão areia/pelito diminui para o topo), localizada na Figura 3 (CPQ), no intervalo 688 m. (C) Ciclo granocrescente para o topo (*coarsening-upward*), notar que a parte inferior do ciclo tem início com delgadas camadas arenosas intercaladas a lâminas siltosas. As camadas arenosas aumentam de espessura acompanhada pelo ligeiro aumento do tamanho dos grãos.

AGRADECIMENTOS

A pesquisa teve o apoio da Petrobras S.A., por meio de um Acordo de Cooperação Científica entre a Universidade de Brasília (UnB), Petrobras e Fundação de Apoio para Pesquisa, Ensino, Extensão e Desenvolvimento Institucional (Finatec) pela Rede Temática de Estratigrafia e Sedimentologia, que financiou o projeto Detalhamento Estratigráfico do Neoproterozoico da Bacia do São Francisco. A primeira autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado. Agradecemos ao revisor anônimo da revista *Geologia USP. Série Científica* e à revisora Profa. Dra. Ana Maria Goes a detalhada e criteriosa revisão que possibilitou substancial melhora deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Allen, P. A., Homewood, P. (1984). Evolution and mechanism of a Miocene tidal sandwave. *Sedimentology*, 31(1), 63-81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1984.tb00723.x>
- Alvarenga, C. J. S. (1978). *Geologia e Prospecção Geoquímica dos grupos Bambuí e Paranoá na Serra de São Domingos, MG*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Alvarenga, C. J. S., Dardenne, M. A. (1978). Geologia dos grupos Bambuí e Paranoá na Serra de São Domingos, Minas Gerais. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Anais*, 2, 546-556. Recife: SBG.
- Alvarenga, C. J. S., Dardenne, M. A., Vieira, L. C., Martinho, C. T., Guimarães, E. M., Santos, R. V., Santana, R. O. (2012). Estratigrafia da borda ocidental da Bacia do São Francisco. *Boletim de Geociências Petrobras*, 20, 145-164.
- Alvarenga, C. J. S., Santos, R. V. S., Vieira, L. C., Lima, B. A. F., Mancini, L. H. (2014). Meso-Neoproterozoic isotope stratigraphy on carbonates platforms in the Brasília Belt of Brazil. *Precambrian Research*, 251, 164-180. <https://www.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.06.011>
- Amos, C. L., Li, M. Z., Chiocci, F. L., La Monica, G. B., Cappucci, S., King, E. H., Corbani, F. (2003). Origin of shore-normal channels from the shoreface of Stable Island, Canada. *Journal of Geophysical Research*, 108(C3), 3094. <https://www.doi.org/10.1029/2001JC001259>
- Campos, J. E. G., Dardenne, M. A., Freitas-Silva, F. H., Martins-Ferreira, M. A. C. (2013). Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3), 461-476. <http://dx.doi.org/10.5327/Z2317-48892013000300004>
- Dalrymple, R. W. (2010). Tidal Depositional System. In: N. P. James, R. W. Dalrymple (Eds.), *Facie Models 4* (201-231). St. John's: Geological Society of Canada. (GEOtext 6).
- Dardenne, M. A. (2000). The Brasília fold belt. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (Eds.), *Tectonic Evolution of South America* (231-263). Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress.
- Dardenne, M. A., Faria, A., Andrade, G. F. (1976). Occurrence de Stromatolites Columnaires dans Le Group Bambuí, Goiás, Brésil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48, 555-566.
- Della Favera, J. C. (2008). Ambientes marinhos rasos. In: A. J. C. L. Pedreira da Silva, M. A. N. F. Aragão, A. J. C. Magalhães (Eds.), *Ambientes de sedimentação silicástica do Brasil* (227-243). São Paulo: Beca.
- Fairchild, T., Sanches, E. A. M. (2015). Microbilaitos no Brasil: panorâmica de ocorrências e guia de caracterização morfológica. In: T. R. Fairchild, R. Rohn, D. Dias-Brito (Eds.), *Microbilaitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente (um atlas)* (23-41). Rio Claro: UNESPetro/Obra 2.
- Fairchild, T. R., Schopf, J. W., Shen-Miller, J., Guimarães, E. M., Edwards, M. D., Lagstein, A., Li, X., Pabst, M., Melo-Filho, L. S. (1996). Recent discoveries of Proterozoic microfossils in south-central Brazil. *Precambrian Research*, 80(1-2), 125-152. [https://www.doi.org/10.1016/S0301-9268\(96\)00009-5](https://www.doi.org/10.1016/S0301-9268(96)00009-5)
- Faria, A. (1985). Geologia do domo de Cristalina, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(3), 231-240.
- Faria, A. (1995). *Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João d'Aliança-Alto Paraíso de Goiás*. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Faria, A., Dardenne, M. A. (1995). Estratigrafia do Grupo Paranoá na região de Alto Paraíso de Goiás-São João D'Aliança - GO. *V Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, 5, 75-77. Goiânia: SBG.
- Feitosa, I. L. (2012). *Litofácies, ambientes deposicionais e ciclicidade do Grupo Paranoá: Exemplo da região da Serra de São Domingos, nos municípios de Buritis e Formoso, MG*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

- Fuck, R. A., Pimentel, M. M., Alvarenga, C. J. S., Dantas, E. L. (2017). The Northern Brasília Belt. In: M. Heilbron, U. G. Cordani, F. F. Alkmim (Eds.), *São Francisco Craton, Eastern Brazil* (205-220). Regional Geology Reviews, Springer. https://www.doi.org/10.1007/978-3-319-01715-0_11
- Guimarães, E. M. (1997). *Estudos de proveniência e diagênese com ênfase na caracterização dos filossilicatos dos grupos Paranoá e Bambuí, na região de Bezerra-Cabeceiras (GO)*. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- Heineck, C. A., Vieira, V. S., Drumond, J. B. V., Leite, C. A. L., Lacerda Filho, J. V., Valente, C. R., Souza, J. D., Lopes, R. C., Malouf, R. F., Oliveira, I. W. B., Oliveira, C. C., Sachs, C. C., Paes, V. J. C., Junqueira, V. J. C. (2004). *Folha SE.23-Belo Horizonte*. Escala 1:1.000.000. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM. 1 CD-ROM.
- Johnson, H. D., Baldwin, C. T. (1996). Shallow clastic seas. In: H. G. Reading (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy* (3. ed., 232-280). Londres: Blackwell Science.
- Kuchenbecker, M., Costa, R. D., Pimenta, J. S. (2015). *Mapa Geológico da Folha Rio Piratinga*. Escala 1:100.000. Belo Horizonte: CODEMIG.
- Lacerda Filho, J. V., Valente, C. R., Bahia, R. B. C., Lopes, R. C., Romanini, S. J., Oliveira, I. W. B., Oliveira, C. C., Sachs, L. L. B., Silva, V. A., Batista, I. H. (2004). *Folha SD.22-Goiás*. Escala 1:1.000.000. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM. 1 CD-ROM.
- Martins-Ferreira, M. A. C., Campos, J. E. G., Huelsen, M. G. V. (2018). Tectonic evolution of the Paranoá basin: New evidence from gravimetric and stratigraphic data. *Tectonophysics*, 734-735, 44-58. <https://www.doi.org/10.1016/j.tecto.2018.04.004>
- Martins-Neto, M. A. (1998). O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rifte-sag do Paleo/Mesoproterozóico. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(2), 151-168. <https://www.doi.org/10.25249/0375-7536.1998151168>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(01\)00082-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(01)00082-3)
- Matteini, M., Dantas, E. L., Pimentel, M. M., Alvarenga, C. J. S., Dardenne, M. A. (2012). U-Pb and Hf isotope study on detrital zircons from the Paranoá Group, Brasília Belt, Brazil: Constraints on depositional age at Mesoproterozoic-Neoproterozoic transition and tectono-magmatic events in São Francisco Craton. *Precambrian Research*, 206-207, 168-181. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.03.007>
- Miall, A. D. (1977). A review of the braided river depositional environment. *Earth-Science Reviews*, 13(1), 1-62. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(77\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0012-8252(77)90055-1)
- Molgat, M., Arnott, R. W. C. (2002). Combined tide and wave influence on sedimentation pattern in upper Jurassic Swift Formation, south-eastern Alberta. *Sedimentology*, 48(6), 1353-1369. <https://www.doi.org/10.1046/j.1365-3091.2001.00424.x>
- Myrow, P. M. (1992). Pot and gutter casts from the Chapel Island Formation, Southeast Newfoundland. *Journal of Sedimentary Research*, 62(6), 992-1007. <https://doi.org/10.2110/jsr.62.992>
- Pimentel, M. M. (2016). Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: geochronological and isotopic approach. *Brazilian Journal of Geology*, 46(Supl. 1), 67-82. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201620150004>
- Pimentel, M. M., Fuck, R. A. (1992). Neoproterozoic crustal accretion in central Brazil. *Geology*, 20(4), 375-379. [https://www.doi.org/10.1130/0091-7613\(1992\)020<0375:NCAICB>2.3.CO;2](https://www.doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0375:NCAICB>2.3.CO;2)
- Pimentel, M. M., Rodrigues, J. B., DellaGiustina, M. E. S., Junges, S. L., Matteini, M., Armstrong, R. A. (2011). The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil, based on SHRIMP and LA_ICPMS U-Pb sedimentary provenance data: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, 31(4), 345-357. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.011>
- Plint, A. G. (2010). Wave- and storm-dominated shoreline and shallow-marine system. In: N. P. James, R. W. Dalrymple (Eds.), *Facies Models 4* (167-199). St. John's: Geological Society of Canada. (GEOtext 6).
- Roberts, E. M. (2007). Facies architecture and depositional environment of the upper Cretaceous Kaiparowits Formation, Southern Utah. *Sedimentary Geology*, 197(3-4), 207-233. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2006.10.001>

- Souza, J. D., Kosin, M., Heineck, C. A., Lacerda Filho, J. V., Teixeira, L. R., Valente, C. R., Guimarães, J. T., Bento, R. V., Borges, V. P., Santos, R. A., Leite, C. A., Neves, J. P., Oliveira, I. W. B., Carvalho, L. M., Pereira, L. H. M., Paes, V. J. C. (2004). *Folha SD.23-Brasília*. Escala 1:1.000.000. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG, Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM. 1 CD-ROM.
- Vail, P. R., Audemard, F., Bowman, S. A., Eisner, P. N., Perez-Cruz, G. (1991). The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology-an overview. In: G. Einsele, W. Ricken, A. Seilacher (Eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy* (617-659). Berlin: Springer-Verlag.
- Vail, P. R., Mitchum Jr., R. M., Thompson, S. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 4: global cycle of relative changes of sea level. In: C. E. Payton (Ed.), *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration* (26, 83-98). American Association of Petroleum Geologists. <https://doi.org/10.1306/M26490C6>
- Valente, C. R., Lacerda Filho, J. F., Rizzoto, G. J., Lopes, R. C., Romanini, S. J., Oliveira, I. W. B., Sachs, L. L. B., Silva, V. A., Batista, I. H. (2004). *Folha SE.22-Goiânia*. Escala 1:1.000.000. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, SIG, Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM. 1 CD-ROM.
- Valeriano, C. M., Pimentel, M. M., Heilbron, M., Almeida, J. C. H., Trouw, R. (2008). Tectonic evolution of the Brasília Belt, central Brazil, and early assembly of Gondwana. *Geological Society of London, Special Publication*, 294(1), 197-210. <https://www.doi.org/10.1144/SP294.11>
- Van Wagoner, J. C., Mitchum Jr., R. M., Campion, K. M., Rahmanian, V. D. (1990). *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologist. (Methods in Exploration, Series, n. 7).
- Varban, B. L., Plint, A. G. (2008). Palaeoenvironments, palaeogeography and physiography of a large, shallow, muddy ramp: late Cenomanian-Turonian Kaskapau Formation. Western Canada foreland basin. *Sedimentology*, 55(1), 201-233. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00902.x>
- Wood, R. (2015). Microbilaitos e a evolução de recifes através do tempo. In: T. R. Fairchild, R. Rohn, D. Dias-Brito (Eds.), *Microbilaitos do Brasil do Pré-Cambriano ao Recente (um atlas)* (43-59). Rio Claro: UNESPetro/Obra 2.