

FACIOLOGIA E ANÁLISE PALEOAMBIENTAL DA SEQÜÊNCIA DEPOSICIONAL FURNAS-LAJEADO (GR. AÇUNGUI), DE IDADE PROTEROZÓICA.

FERNANDO A. PIRES**

ABSTRACT DEPOSITIONAL SEQUENCE FURNAS-LAJEADO, AÇUNGUI GROUP (LOWER TO UPPER PROTEROZOIC, SOUTHERN SÃO PAULO, BRAZIL): FACIOLOGY AND PALEOENVIRONMENTAL ANALYSIS. The study of paleoenvironmental indicators and stratigraphic relationships of the Furnas-Lajeado metasedimentary depositional Sequence of the Açungui Group led to the recognition of the sedimentary process involved, facies analysis and sequence analysis. The Furnas-Lajeado sequence is nearly 1600 metres thick, represented by carbonate metasediments. The Furnas-Lajeado sequence is progradational in character and related to a regressive episode, represented by wave-influenced, shallow platform to slope (carbonate ramp) sediments.

Keywords: Faciology, paleoenvironments, carbonates, Açungui Group, Proterozoic

RESUMO A pesquisa desenvolvida estudou os indicadores paleoambientais da Seqüência deposicional Furnas-Lajeado, unidade informal do Grupo Açungui, de idade proterozoica indiferenciada. Apresenta uma concepção dos ambientes de sedimentação pela interpretação dos processos sedimentares, análise de fácies, análise seqüencial e reconhecimento do episódio deposicional. A Seqüência Furnas-Lajeado possui aproximadamente 1.600 m de espessura máxima, constituída, predominantemente, por metassedimentos carbonáticos. Foram interpretadas fácies relacionadas a turbiditos arenosos, tempestitos, plataforma, turbiditos distais, brechas intraformacionais e deposição pelágica/hemipelágica; pela associação das fácies foram definidos os sistemas plataformais, de transição e rampa carbonática. O modelo proposto à sedimentação da seqüência compreende uma plataforma rasa sob o domínio de ondas, que transiciona para o talude e áreas associadas (rampa carbonática). A Seqüência Furnas-Lajeado representa a sedimentação progradacional durante um episódio regressivo.

Palavras-chaves: Faciologia, paleoambientes, carbonates, Grupo Açungui, Proterozóico

INTRODUÇÃO No final dos anos 60, Petri & Suguio iniciaram estudos visando a interpretação ambiental e estratigráfica das seqüências metassedimentares do Grupo Açungui, no Vale do Ribeira. No clássico trabalho "Sobre os metassedimentos do Extremo Sul do Estado de São Paulo", Petri & Suguio (1969) estabeleceram as primeiras interpretações paleogeográficas e paleoambientais para essas seqüências. No entanto, ao longo desses vinte anos, muito pouco foi acrescentado, apesar dos diversos trabalhos desenvolvidos naquela região.

O contexto geotectônico, a gênese e a evolução da Bacia Açungui serão melhor esclarecidos, somente, pela ampla caracterização litológica, sedimentar e tectônica. Nesse sentido, este trabalho retoma a linha de pesquisa iniciada com Petri & Suguio (1969) e apresenta parte dos estudos elaborados na dissertação de mestrado de Pires (1990), desenvolvida junto ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo-IG/USP.

Neste trabalho, foram estudados os indicadores paleoambientais e as relações estratigráficas da seqüência deposicional Furnas-Lajeado (Pires 1988) do Grupo Açungui. Apresenta uma concepção dos ambientes de sedimentação pela interpretação dos processos sedimentares, análise de fácies, análise seqüencial e reconhecimento do episódio deposicional, possibilitando o estabelecimento da estratigrafia por meio de conceitos genéticos e temporais.

CONTEXTO GEOLÓGICO A seqüência deposicional Furnas-Lajeado encontra-se nos domínios da Faixa de Dobramentos Apiaí (Hasui *et al.* 1975), e constitui uma unidade informal do Grupo Açungui. Encontra-se no Subgrupo Lajeado, designação criada por Campanha *et al.* (1986) para o expressivo pacote de rochas carbonáticas e psamíticas terrígenas com baixo grau metamórfico, limitado por falhamentos regionais, na região de Apiaí e Iporanga, sul do Estado de São Paulo.

Constitui um episódio regressivo, representado por uma seqüência progradacional (Pires 1988, 1990). Inclui, predominantemente, rochas carbonáticas representadas por metacalcários calcíticos impuros, bandados e com cores acinzentadas. Subordinadamente, contém intercalações de cálcio-filitos, metarenitos, metassiltitos e filitos sericíticos.

Os calcários são predominantemente elásticos e exibem estruturas sedimentares relativamente bem preservadas, tais como: marcas onduladas, migração de marcas de ondas, laminações horizontais, granodecrescências, etc. Apresentam-se, em geral, recristalizados, reflexo do metamorfismo que afetou a área.

As intercalações terrígenas são constituídas por metassiltitos e sericita filitos, por vezes com cloritóide e, subordinadamente, metarenitos finos. Os contatos com as rochas carbonáticas são transicionais.

A Seqüência Depositional Furnas-Lajeado corresponde às Formações Bairro da Serra, Água Suja e Mina de Furnas definidas em Hasui *et al.* (1984) e Campanha *et al.* (1986). Possui espessuras em torno de 1.200-1.600 m e encontra-se sobreposta à Seqüência Depositional Betari (Pires 1988). O contato com a Seqüência Serra da Boa Vista, a noroeste, é por falha de empurrão, assim como o contato a sudeste com a Seqüência Iporanga e Complexo Turbidítico Rio das Pedras (Pires 1988), representados, respectivamente, pelas falhas das Arapongas (Pires 1990) e Figueira.

ESTRUTURAS E METAMORFISMO A Seqüência Furnas-Lajeado foi afetada por eventos metamórficos e deformacionais, de forma que qualquer estudo paleoambiental e estratigráfico necessita de análise estrutural.

A análise estrutural desenvolvida (Pires 1990) teve, portanto, como principal objetivo, complementar os argumentos de natureza estratigráfica e recuperar a posição original dos estratos sedimentares.

* Trabalho financiado, em parte, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

** Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Avenida Miguel Stéfano, 3900, CEP 04301, São Paulo, SP, Brasil

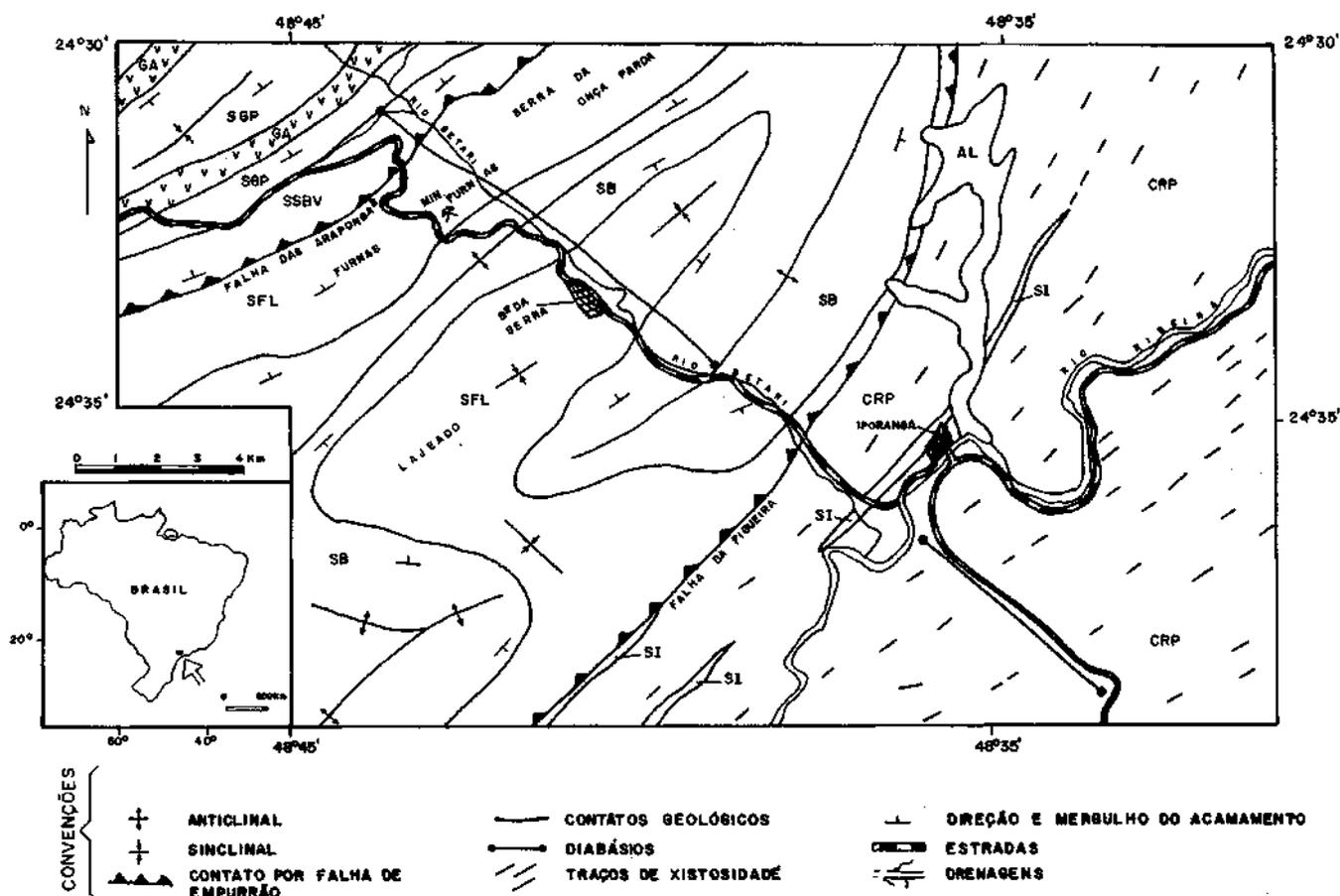


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da área de estudo (Grupo Acungui). GA. Gabro de Apiai; SGP. Seqüência Gorutuba-Passa Vinte; SSBV. Seqüência Serra da Boa Vista; SFL. Seqüência Furnas-Lajeado; SB. Seqüência Betari; SI. Seqüência Iporanga; CRP. Complexo Turbidítico Rio das Pedras; AL. Aluviões

Figure 1 - Simplified geological maps of the studied area (Acungui Group). GA. Apiai Gabbro; SGP. Gorutuba-Passa Vinte Sequence; SSBV. Serra da Boa Vista Sequence; SFL. Furnas-Lajeado Sequence; SB. Betari Sequence; SI. Iporanga Sequence; CRP. Rio das Pedras Turbiditic Complex; AL. Alluvials Deposits

Foram caracterizadas seis fases de dobramentos superimpostos na área estudada. A primeira deformação (D1) é caracterizada por uma foliação paralela a subparalela ao acamamento reliquiar e contém localmente forte estiramento mineral. Dobras D1 não são comuns e zonas de cisalhamento de baixo ângulo encontram-se intimamente ligadas a esta deformação, caracterizando um sistema de cavalgamentos, cujo transporte deu-se para o quadrante SE.

A segunda fase deformacional desenvolveu dobras abertas a fechadas, representadas em todas as escalas, e constitui a principal fase que afetou a área.

A terceira fase desenvolveu uma foliação conspícua nos metapelitos, caracterizada como superfície axial de dobras abertas em escala de afloramento, e ondulações suaves em escala regional.

A quarta fase de dobramentos consiste em dobras abertas em escala de afloramentos e ondulações suaves em escala regional.

As fases de dobramento D1, D2, D3 e D4 são coaxiais, com eixos NE/SW e caimentos subhorizontais.

As fases descritas anteriormente encontram-se afetadas por duas fases tardias: uma coaxial NE e outra discordante NW (Pires 1990).

As gerações de dobras e respectivas foliações plano axiais citadas (fases D1, D2, D3...) não possuem significado relativo às fases e ciclos orogênicos, mas ao sequenciamento estabelecido por critérios de superposição e inferência das estruturas, conforme estabelecido em Sá & Hackspacker (1982,1983).

Os litotipos da Seqüência Furnas-Lajeado foram afetadas por metamorfismo regional e situa-se num campo de pressão e

temperatura correspondente ao metamorfismo de baixo grau, porém em limites inferiores aos da isógrada da biotita.

LITOFÁCIES Devido à pequena variação dos litotipos presentes nesta seqüência, a classificação dos fácies baseia-se, principalmente, nas estruturas sedimentares presentes e na ausência de uma nomenclatura adequada às fácies - estas foram relacionadas por letra (A, B, C etc).

Metacalcários Os metacalcários são os principais litotipos da Seqüência Furnas-Lajeado, ocorrendo em larga escala, desde a base até o topo. Possuem granulação fina a média, raramente grossa. São compostos principalmente de calcita, quartzo e sericita. Geralmente são ricos em sulfetos que ocorrem de forma disseminada ou em cristais bem formados de pirita; localmente, galena, calcopirita e esfalerita. São portadores de mineralizações de chumbo, zinco e prata.

Com base, principalmente, nos processos de sedimentação envolvidos na sua deposição, estes foram classificados nas seguintes fácies:

Fácies A (turbiditos arenosos) Esta fácies consiste em camadas de metacalcarenitos com espessura variando desde 0,15-0,20 a 0,80-1,20 m; com granulação fina a média, localmente grossa. As camadas possuem contatos planos ou, ocasionalmente, erosivos. Os contatos superiores são planos ou gradacionais. Não raro, alternam-se com os metacalcarenitos camadas centimétricas (5-15 cm) de metacalcilitos, cálcio-filitos, me-

tamargas ou sericita filitos. Os estratos possuem grande extensão lateral.

As camadas de metacalcarenitos são geralmente maciças ou exibem granodecrescência ascendente. Localmente, possuem laminações horizontais, laminações convolutas e laminações cruzadas tipo *climbings*. Quando as estruturas sedimentares encontram-se bem desenvolvidas, elas ocorrem tipicamente ordenadas, comparáveis à seqüência de Bouma (Ta, Tab, Tabc; Bouma 1962). Quando os metacalcarenitos gradam para metacalcilutitos/cálcio-filitos, pode haver o desenvolvimento completo da seqüência de Bouma (Tabcde).

Estruturas de sobrecarga, como flume e marcas de sola, são comuns na interfácies areia/lama.

Interpretação A presença das estruturas sedimentares descritas acima denotam transporte direcional, o que implica que os metacalcarenitos são clástico-detríticos (aloquímicos).

Os tipos de estruturas presentes aliadas às formas de contato entre os estratos, às suas dimensão e extensão lateral sugerem que estes sedimentos foram transportados por correntes de turbidez e consistem, portanto, de turbiditos carbonáticos (Hamblin & Walker 1979, Cook & Mullins 1983).

As intercalações de metacalcilutitos, metamargas e sericita filitos, sugerem ser, em parte, provenientes da deposição hemipelágica, ou seja, da decantação do material em suspensão nos intervalos interfluxos.

Fácies B (tempestitos) Estas fácies compreendem estratos de metacalcarenitos finos a médios, com espessura variando desde centimétricas (15-20 cm) até métricas (0,60 - 1,20 m). Os contatos são planos ou ondulados. Intercalam-se aos metacalcarenitos camadas centimétricas (10-30 cm) de metassedimentos de granulação fina, classificados como metacalcilutitos cinza-escuros ou metamargas.

Os estratos de metacalcarenitos invariavelmente contêm estratificações cruzadas *hummocky* (HCS-*Hummocky Cross Stratification*), resultantes da ação de ondas de grande porte. Estas estruturas apresentam características peculiares: consistem de laminações curvas, microgradadas com porções côncavas (*swales*) e convexas (*Hummocks*), e mergulhos máximos de ordem de 12 a 15°. As laminações se intersectam em ângulos baixos, erodindo as laminações subjacentes, o que resulta nos truncamentos das laminações.

Nos metacalcários desta fácies, as estratificações cruzadas *hummocky* (HCS) não mantêm as mesmas relações angulares descritas, pois encontram-se alteradas pelas deformações superimpostas.

O comprimento de onda destas estruturas é variável e foram consideradas como pertencentes a esta fácies apenas os estratos de metacalcarenitos com estruturas de ondas truncadas, com comprimentos de onda superiores a um metro.

Como se pode observar na coluna estratigráfica esquemática da Seqüência Furnas-Lajeado (Fig. 2), as estruturas de ondas truncadas, em linhas gerais, diminuem seu comprimento de onda para o topo da seqüência e aquelas com comprimentos de ondas inferiores a um metro foram consideradas em outra fácies. Procedeu-se, dessa forma, devido à convenção estabelecida na definição de estratificação cruzada *hummocky* (HCS) e suas conotações genéticas (Harms *et al* 1975).

Interpretação A presença constante de estratificações cruzadas *hummocks* (HCS), nos estratos de metacalcarenitos, sugere que estas estruturas foram geradas pela ação de grandes ondas de tempestade e, dessa forma, estas fácies seriam classificadas como tempestitos.

As camadas de granulação fina, intercaladas a esses metacalcarenitos, seriam resultantes da deposição do material em suspensão, em épocas de calmaria, entre os eventos.

O contexto ambiental dessas fácies será melhor enfocado quando da abordagem das associações de fácies.

Fácies C (plataforma) Consiste em estratos de metacalcarenitos, de granulação média a fina, raramente grossos e subordinadamente metacalcilutitos. São impuros de cor cinza média a escura, com espessuras variando desde centimétrica a métrica, com contatos geralmente planos ou ondulados.

As camadas são, geralmente, maciças ou contêm estruturas sedimentares, tais como: abundantes estratificações cruzadas, resultantes de truncamentos de ondas com comprimento de onda entre 0,10 e 1,0 m, laminações cruzadas de pequeno porte (*cross lamination*), estruturas de migrações de marcas onduladas (*climbings*), marcas onduladas assimétricas e estratificações plano-paralelas.

Intercalações lenticulares de metassedimentos terrígenos, representadas por metarenitos finos a médios, alternados com metassilitos, com cores de tonalidade marrom-chocolate e contendo comumente estruturas de ondas, são relativamente comuns nesta fácies. Destaca-se, dentre elas, a lente que aflora no leito da estrada entre o Bairro Arapongas e a Mineração Furnas.

Este grupo de estratos representa, na verdade, uma associação de fácies. No entanto, a inexistência de boas exposições dificultaram estudos mais detalhados que pudessem separá-las adequadamente: partindo-se do pressuposto que as características gerais indicam ambientes semelhantes, foram agrupadas em uma única fácies.

Interpretação A maioria das estruturas sedimentares descritas acima implicam correntes associadas à deposição, reafirmando o caráter clástico-detrítico desses litotipos.

A abundância de marcas onduladas truncadas, com comprimento de onda desde centimétrico até métrico, leva a concluir que a deposição desta fácies ocorreu em regime de águas rasas, sob influência de ondas normais. A associação com estruturas sedimentares, tais como *climbings*, laminações cruzadas de pequeno porte e marcas onduladas assimétricas, sugere que o sítio deposicional seria uma plataforma carbonática, em mar aberto, relativamente raso e dominado por ondas.

As intercalações terrígenas são interpretadas como consequência das mudanças esporádicas do material disponível na área fonte.

Fácies D (turbiditos distais) Consiste em camadas de metacalcilutitos cinzas a cinza-escuros, com espessuras variando entre 10 e 80 cm. As camadas possuem contatos planos e normalmente apresentam-se maciças ou com laminações plano-paralelas pouco desenvolvidas e raramente gradadas. Por vezes os estratos de metacalcilutitos são impuros, podendo ser classificados como metamargas e cálcio-filitos.

Ocorrem intercalações esparsas de metacalcarenitos, dispostos em camadas centimétricas a métricas, com granulação fina a média, normalmente com granodecrescência ascendente.

Nos estratos, onde as estruturas sedimentares encontram-se bem preservadas, elas ocorrem tipicamente ordenadas, comparáveis às seqüências de Bouma incompletas, Tde, Tce, Tae e Tade (Bouma 1962). Nesta fácies, o Te, unidade que representa a deposição por decantação (turbidítica ou pelágica/hemipelágica), apresenta-se bastante espesso e, localmente, pode ser a única unidade representada na camada.

Nessa fácies, a razão areia/lama é baixa, predominando os estratos pelíticos.

Os litotipos dessa fácies ocorrem, predominantemente, na base da seqüência.

Interpretação A presença das estruturas sedimentares, ordenadas como seqüências de Bouma incompletas, sugere que a deposição ocorreu através de fluxos gravitacionais de baixa densidade, ou seja, correntes de turbidez.

A predominância de finos nesta fácies, caracterizados litologicamente como lama carbonática, com maior ou menor grau de impurezas, sugere que a deposição processou-se em áreas onde a deposição pelágica/hemipelágica era predominante (Te

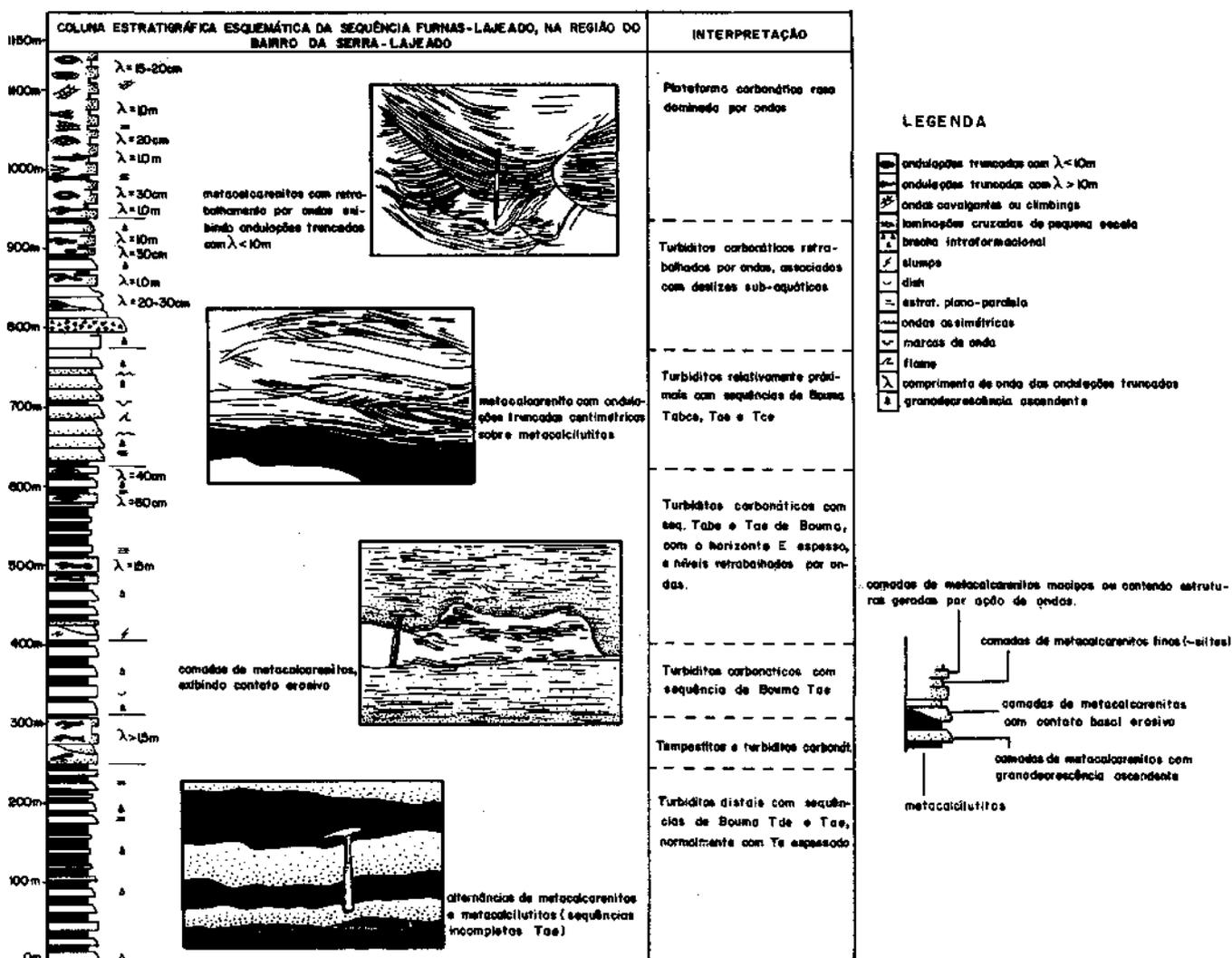


Figura 2 - Coluna estratigráfica esquemática da Sequência Furnas-Lajeado, na região do bairro da Serra-Lajeado
 Figure 2 - Schematic stratigraphical column of the Furnas-Lajeado Sequence in the Bairro da Serra-Lajeado region

espessado) e seria, provavelmente, responsável pela presença dos sedimentos terrígenos. Por sua vez, os metacalcilutitos com seqüências de Bouma incompletas indicam porções relativamente distais da bacia para sua deposição.

A associação desses fatores indica, para a deposição destas fácies, ambiente de águas relativamente profundas e calmas.

Fácies E (brechas intraformacionais/metaconglomerados) Esta fácies é restrita, ocorrendo na área estudada em apenas três afloramentos, sendo dois deles próximos e com características semelhantes, e um terceiro que será abordado em separado devido a sua peculiaridade. Consistem em brechas e metaconglomerados carbonáticos.

As duas ocorrências próximas situam-se na região do Bairro da Serra-Lajeado, na estrada dos Sítios Novos. A primeira consiste em camadas métricas a submétricas de cálcio-filitos/metamargas de cor castanho-acinzentadas, com contatos irregulares, contendo blocos angulosos de metacalcarenitos, com dimensões entre 0,10 a 0,50 m (Foto 1). Os blocos são, geralmente, fragmentos de camadas de metacalcarenitos e alguns mantêm as características do acamamento preservadas e, por vezes, com dobras recumbentes associadas. Camadas adjacentes de metacalcarenitos com Tace encontram-se deformadas; aparentemente *in situ*, e não rompidas.

Este depósito possui entre 10 a 15 m de espessura, considerando as camadas adjacentes deformadas e os níveis de brecha que se intercalam.

Nas proximidades desta brecha intraformacional, ocorrem pequenos escorregamentos (*slumps*) de porte centimétrico e pouco expressivos.

A segunda ocorrência dista cerca de 200 m da primeira e consiste em uma única camada com, aproximadamente, 1,5 m de espessura, contendo blocos angulosos de metacalcarenitos/metacalcilutitos, e com diâmetro médio de 15 cm, dispersos em matriz fina carbonática impura. O afloramento é pequeno e encontra-se bastante alterado, de forma que limita informações mais detalhadas.

A terceira ocorrência consiste em camadas de metacalcarenitos médios a finos de cor cinza média, com espessuras em torno de 60 cm, contendo seixos de metacalcarenitos brancos, com diâmetros entre 1 e 5 cm, e dispersos caoticamente na matriz calcarenítica. Eventualmente, concentram-se formando níveis de metaconglomerados com espessuras entre 10 e 15 cm.

Esta ocorrência está fortemente deformada e os litotipos encontram-se dobrados e estradados, eventualmente transpostos, dificultando melhores observações.

Interpretação As características descritas acima indicam ocorrências de fluxos gravitacionais de massa em ambiente subaquoso.

Nas ocorrências da região do Bairro da Serra-Lajeado, processos de deslizamentos (*slumps*) com fluxos de detritos (*debris flow*) associados são os responsáveis pela deposição desses sedimentos. A matriz lamítica, os blocos dispersos na matriz, dobras recumbentes e camadas adjacentes deformadas sustentam a interpretação.



Foto 1 - Brecha intraformacional carbonática na região dos Sítios Novos

Photo 1 - Intraformational carbonatic breccia of the Sítios Novos region

Os metacalcarenitos com seixos/metaconglomerados da região de Furnas podem corresponder a processos de fluxo de detritos (*debris flow*) associados com correntes de turbidez. No entanto, os dados são precários para se estabelecer uma interpretação mais convincente.

Fácies F (metassedimentos terrígenos) Trata-se de metassedimentos muito finos, quase essencialmente metapelitos, apresentados de forma predominante por sericita filitos cinza-escuros, bandados milimétrica a centimetricamente, localmente com cloritóide, com intercalações centimétricas/milimétricas (< 10 cm) de metassiltitos e raras intercalações de metarenitos finos e gradados que podem alcançar espessuras de 10 a 20 cm. Localmente, ocorrem filitos carbonatados cinzentos, principalmente nos contatos com os metacalcários.

Os metassedimentos encontram-se fortemente crenulados e possuem um bandamento diferenciado, em ângulo com o acamamento, que normalmente destrói as características sedimentológicas. São pobres em estruturas sedimentares e apresentam-se finamente laminados.

Ocorrem, principalmente, sob a forma de uma grande lente que sustenta a Serra da Onça Parda. A lente possui maiores espessuras na região norte da área, desaparecendo na região a SW da Mineração Furnas.

Em trabalhos anteriores, esta lente foi denominada Formação Água Suja (Hasui *et al.* 1984, Campanha *et al.* 1985, 1986).

Os contatos com os metacalcários, tanto no topo como na base, são transicionais, gradacionais, através dos cálcio-filitos.

Outras pequenas lentes de metassedimentos terrígenos ocorrem na Seqüência Furnas-Lajeado, porém com pequenas expressões e comparáveis litologicamente àquela denominada Formação Água Suja.

As lentes de metassedimentos terrígenos restringem-se à faixa aflorante da região de Furnas.

Interpretação A predominância de metapelitos finamente laminados (sericita filitos) sugere ambientes de águas calmas, onde predominam a deposição do material em suspensão.

As intercalações de metassiltitos e metarenitos gradados sugerem fluxos turbidíticos de baixa densidade.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES/INTERPRETAÇÃO AMBIENTAL Rampa Carbonática O termo rampa carbonática é utilizado aqui para designar uma província ou subprovíncia paleogeomorfológica, que compreende o talude e áreas associadas. Entende-se por áreas associadas às porções da bacia onde a sedimentação sofre interferências dos processos desenvolvidos no talude. Correspondem, aproximadamente, a porção designada de rampa profunda (*deep ramp*) de Tucker & Wright (1990).

Os processos envolvidos na deposição dos metassedimentos nesta província paleogeomorfológica são principalmente processos gravitacionais, tais como correntes de turbidez, fluxos de detritos (*debris flow*), escorregamentos (*slumps*) e processos relacionados à ação de ondas de tempestades (tempestitos).

Na região do Bairro da Serra-Lajeado, metassedimentos representativos desta província possuem aproximadamente 900 m de espessura (Fig. 2) e correspondem aos litotipos inferiores da Seqüência Furnas-Lajeado, essencialmente carbonáticos.

São representados pelas fácies A e D principalmente, e subordinadamente pelas fácies B e E.

Na porção mais basal (primeiros 250 m de metassedimentos) ocorrem, predominantemente, metassedimentos finos, representados pela fácies D, e depositados por correntes de turbidez de baixa densidade associadas à deposição pelágica/hemipelágica, em ambientes de águas relativamente profundas e calmas.

Esses litotipos representam depósitos de turbiditos distais, com grande contribuição de sedimentação pelágica/hemipelágica, depositados em áreas relativamente distais da bacia. Esparsas intercalações de camadas de metacalcarenitos, centimétricas a métricas, corr. granodecrescência ascendente, poderiam representar estratos de fácies A intercalados.

A granulação aumenta na direção do topo da seqüência e estratos representativos da fácies A passam a ser predominantes. Estes correspondem aos metacalcarenitos gradados, com seqüências de Bouma completas ou incompletas, com contatos planos ou erosivos e depositados por correntes de turbidez, ou seja, constituem turbiditos carbonáticos, relativamente proximais.

Subordinadamente, em associação com os estratos da fácies A, ocorrem depósitos de brechas intraformacionais (Fácies E), que representam depósitos de fluxos de detritos (*debris flow*), escorregamentos (*slumps*) e correntes de turbidez associada. Esta associação de fácies denota a presença de paleodeclive na bacia deposicional.

A presença de fluxos de detritos (*debris flow*) implica certo declive para sua instalação. Entretanto, estes depósitos (Fácies E) são bastante restritos e limitados, sugerindo processos muito ocasionais. É provável que o paleodeclive fosse suave o suficiente para evitar a geração de grandes depósitos de fluxos de detritos/escorregamentos, ocorrendo principalmente a geração de fluxos turbidíticos.

Depósitos de tempestitos, representados pelos estratos da fácies B, ocorrem generalizadamente, associados a todas as fácies desta província paleogeomorfológica, exceto na porção mais basal - representada principalmente pela fácies D (águas relativamente mais profundas).

A presença destes depósitos sugere a ocorrência de grandes tempestades durante a deposição, retrabalhando os depósitos turbidíticos.

Por se tratar de eventos episódicos, e com sua atuação limitada a certas profundidades de lâmina de água, os estratos representativos da fácies B são limitados e esporádicos. Sua presença diminui gradativamente para a base da seqüência, onde provavelmente a deposição ocorreu em águas relativamente profundas, não afetadas por ondas de tempestades. É notável a diminuição do comprimento de onda das estratificações cruzadas *hummocks* (HCS), em direção ao topo da seqüência.

Do exposto, pode-se concluir que a deposição na rampa carbonática era predominantemente dominada por fluxos turbi-

díticos, com geração esporádica de fluxos de massas (*debris flow/slumps*), envolvendo tanto ambientes relativamente profundos (base) como águas relativamente rasas sujeitas à ação de ondas de tempestades.

Plataforma carbonática O termo plataforma carbonática foi empregado aqui para designar espesso pacote de sedimentos, principalmente carbonáticos depositados sob regime de águas rasas. Corresponde, em parte, a plataforma epicontinental (*epeiric platform*) ou mesmo a porção superior (*shallow ramp*) da rampa carbonática de Tucker & Wright (1990).

Consiste predominantemente em metacalcarenitos médios a finos, raramente grossos, de cor cinza-escuro a clara, com intercalações de metacalcilutitos e raras camadas de metassedimentos pelíticos/psamíticos.

Situa-se na porção superior da Seqüência Furnas-Lajeado, alcançando 200 m de espessura na região do Lajeado e aproximadamente 300 m na região de Furnas.

Os litotipos dessa província estão representados, principalmente, pelos estratos de Fácies C, que consistem de camadas geralmente maciças ou contendo abundantes estratificações cruzadas, originadas por truncamento de ondas e com comprimentos de ondas variáveis desde centimétricos a métricos (comprimento de onda entre 0,10-1,0 m), laminações cruzadas de pequeno porte (*cross lamination*), estruturas de migração de ondas (*climbings*), marcas onduladas assimétricas e estratificações plano-pandelas.

Subordinadamente, ocorrem estratos de metacalcarenitos médios, com estratificações cruzadas *hummocks* (HCS), com comprimentos de ondas entre 1,0 e 1,5 m; são considerados como fâcies B.

São intercalações métricas de metassedimentos terrígenos, lenticulares e constituídas de camadas centimétricas de metarenitos finos a médios, alternados com metapelitos (metassiltitos), com tons variados de marrom chocolate, e estruturas primárias resultantes da atuação de ondas, tais como: migração de marcas onduladas (*climbings*) e estruturas de ondas truncadas centimétricas, e estruturas de sobrecarga como estruturas em chamas ou *flames*. Estas intercalações são comuns na região de Furnas, merecendo destaque a lente cortada pela estrada que liga a Mineração JFurnas ao Bairro de Arapongas, com espessura entre 30 e 50 m, mapeável por grande extensão lateral. Estes metassedimentos terrígenos foram considerados como pertencentes à fâcies C, principalmente devido à presença dos mesmos processos que atuaram na deposição desses sedimentos e ao contexto ambiental semelhante. A diferença litológica foi creditada à variação do material disponível na fonte.

Os litotipos dessa província paleogeomorfológica, como é possível observar pela grande quantidade de estruturas de correntes, possuem caráter clástico-detrítico. A associação de fâcies indica que a deposição processou-se em ambientes de águas rasas, sob o domínio de correntes e principalmente sob influência de ondas normais.

Conclui-se, portanto, como sítio deposicional destas fâcies, uma plataforma carbonática rasa, provavelmente em mar aberto, dominada por ondas.

Transição plataforma-rampa Esta região corresponde à transição entre duas províncias paleogeomorfológicas distintas, a plataforma e a rampa carbonática, com características próprias e que refletem processos transicionais entre a plataforma e o talude propriamente dito.

Esta região transicional ocorre de forma distinta nas duas áreas de afloramentos da Seqüência Furnas-Lajeado, sendo mais pronunciada na área de Furnas.

No sinclinal do Bairro da Serra-Lajeado, a passagem entre os metassedimentos carbonáticos da plataforma para a rampa ("talude") é gradativa, onde as características de plataforma, isto é, o predomínio de fâcies C dão lugar às fâcies do tipo A

(turbiditos), ambas em associação com fâcies do tipo B (tempestitos). O limite entre uma província e outra não é rígido e as províncias paleogeomorfológicas são caracterizadas por associações faciológicas que representam, nitidamente, ambientes diferentes, isto é, francamente plataformais ou francamente rampa (talude).

Por outro lado, na região da Mina de Furnas, a passagem entre as fâcies de plataforma e as fâcies de rampa carbonática é caracterizada pela intercalação de metassedimentos terrígenos, descritos como fâcies F. Estas fâcies são predominantemente metapelitos, finamente laminados e representados principalmente por sericita filitos, que sugerem que sua deposição ocorreu em ambientes de águas calmas, com predomínio de sedimentação do material em suspensão.

A geometria lenticular desses depósitos terrígenos sugere áreas de não-deposição de material carbonático, ficando estes restritos à ação dos processos de retrabalhamento na plataforma e/ou fonte de fluxos gravitacionais presentes na rampa carbonática. Desta forma, as lentes terrígenas seriam áreas de deposição restrita e não carbonática.

Em termos regionais, os metassedimentos terrígenos, descritos aqui, tendem a ser expressivos tanto a NE como a SW da área estudada, sugerindo menor influência de fonte carbonática na deposição. Podem representar, localmente, áreas de *bypass* de sedimentos carbonáticos entre a plataforma e áreas mais distais da bacia, restringindo sua deposição à sedimentação pelágica/hemipelágica.

Por outro lado, os metacalcários presentes entre as lentes de metassedimentos terrígenos são representados principalmente por fâcies B (tempestitos) em associação com fâcies A (turbiditos) e fâcies C (plataformais), com características transicionais semelhantes àquelas descritas para a área do sinclinal do Bairro da Serra-Lajeado.

MODELO DEPOSICIONAL A Seqüência deposicional Furnas-Lajeado consiste em uma seqüência carbonática, com aproximadamente 1.600 m de espessura máxima.

O sítio deposicional numa província paleogeomorfológica se traduz pela associação de fâcies representadas no sistema deposicional. Dessa forma, a Seqüência Furnas-Lajeado possui um sistema deposicional de plataforma e um sistema deposicional de talude e áreas associadas (rampa carbonática). Alguns autores preferem considerar como uma única província geomorfológica o sistema plataforma-talude; no entanto, considerou-se aqui como províncias independentes ou subprovíncias, cada qual com um sistema deposicional específico.

Se um momento *t* (linha de tempo) for congelado na deposição da seqüência. Será possível visualizar o trato deposicional e as intercalações entre os sistemas deposicionais. Com base nas associações de fâcies da seqüência e na seção composta da figura 2, foi possível sugerir o modelo deposicional para a Seqüência Furnas-Lajeado sintetizado na figura 3.

O modelo consiste em uma plataforma carbonática rasa sob o domínio de ondas (*epeiric platform*), que transiciona para sedimentos terrígenos associados à borda de talude, seguido de rampa carbonática (talude propriamente dito e áreas associadas). Assemelha-se ao modelo de rampa com talude, relativamente distante (*Ramp-distally steepened*) de Read (1982, *apud* Tucker & Wright 1990).

O modelo foi baseado principalmente na região de Furnas, onde ocorrem importantes intercalações de sedimentos terrígenos. A aplicação do modelo para a faixa aflorante da seqüência na região do Bairro da Serra-Lajeado merece algumas adaptações. Nesta área, as fâcies transicionais entre a plataforma e o talude são essencialmente carbonáticas, não ocorrendo as intercalações terrígenas contidas no modelo da figura 3, sugerindo que os sedimentos carbonáticos plataformais se estenderiam até o talude (Fig. 2).

A Seqüência Furnas-Lajeado consiste em uma seqüência prográdacional, associada a episódio regressivo. A seqüência

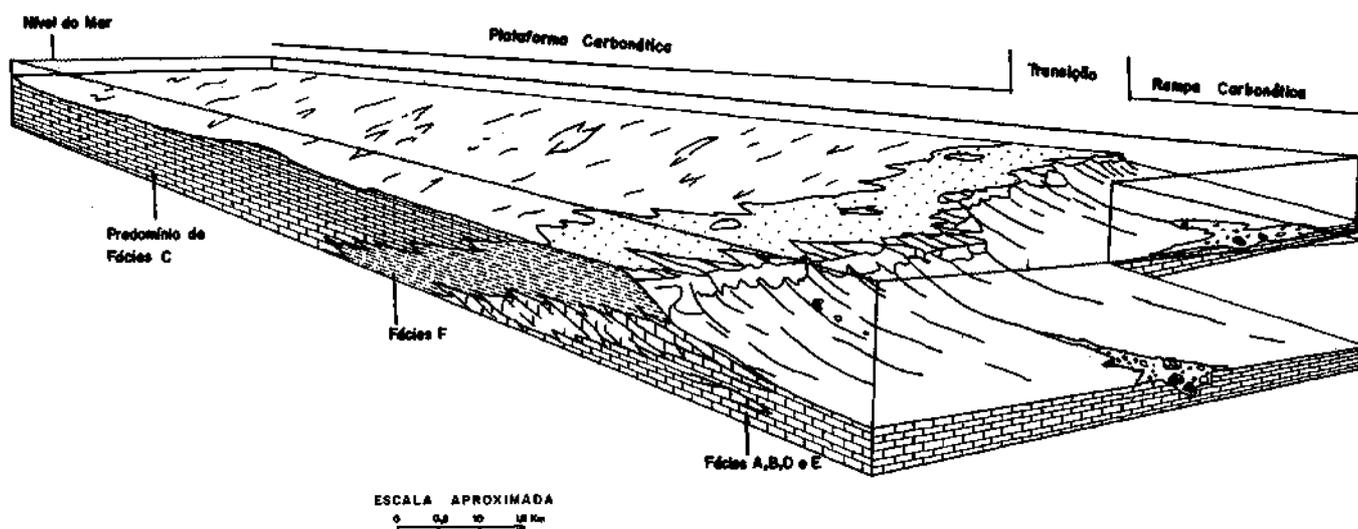


Figura 3 - Modelo deposicional da Seqüência Furnas-Lajeado
Figure 3 - Model of deposition of the Furnas-Lajeado Sequence

vertical das fácies está representada na coluna estratigráfica da figura 2, onde a porção basal consiste em turbiditos clássicos (distais), depositados em águas relativamente profundas. Há uma zona de transição onde turbiditos predominantemente calcarenosos e camadas com *hummocks* (HCS) (tempestitos) estão intercamados, e passam para fácies típicas de plataforma rasa que as sobrepõem. Isto caracteriza uma seqüência progradacional, com turbiditos na base e depósitos plataformais no topo.

Esta associação de *hummocks* (HCS) e turbiditos tem motivado calorosas discussões científicas e, dentre os modelos propostos na literatura, preferiu-se o modelo de Walker (1978, 1984) como referencial, por ser similar ao esquema da Seqüência Furnas-Lajeado.

Walker (1984) propõe que, dentre os agentes transportadores de areia abaixo do nível de base de ondas normais, as correntes de turbidez são o mecanismo mais eficiente e melhor comprovado nos registros geológicos. Esse autor apresenta dois ou três exemplos geológicos os quais sugerem fortemente que arenitos com estratificação cruzada *hummocky* (HCS) foram inicialmente transportados por correntes de turbidez.

Walker (1984) propôs, ainda, que as correntes de turbidez se originaram por tempestades que geram ondas cíclicas, as quais carregam grandes quantidades de sedimentos finos, cuja deposição rápida pode originar liqüefações. Como esses sedimentos liqüefeitos fluem declive abaixo, a combinação de aceleração de fluxo e expulsão dos fluidos dos poros pode ser suficientes para gerar uma corrente de turbidez.

Há na literatura inúmeros exemplos do efeito de ondas de tempestades no substrato, liqüefação e escorregamentos (*slumping*). O modelo proposto por Walker (1978, 1984) é utilizado neste trabalho apenas como referencial para os processos presentes na Seqüência Furnas-Lajeado. A escala do modelo de Walker, contudo, é incompatível com a sedimentação da seqüência Furnas-Lajeado.

O processo catalizador da formação de correntes de turbidez

na área enfocada pode ter sido tanto as tempestades registradas nas estratificações cruzadas *hummocks* (HCS), como um outro, o fato é que esta é a relação mais clara encontrada e subsidiada pela literatura.

O esquema de Walker (1978, 1984) para a geração das correntes de turbidez é apenas um exemplo de processo que pode ocorrer, mas não é exclusivo: podem interagir outros processos.

Os turbiditos carbonáticos da Seqüência Furnas-Lajeado foram depositados, principalmente, através de forte erosão da plataforma carbonática, reflexo do episódio regressivo por que passou a bacia deposicional.

A presença de *hummocky* (HCS) deve-se à rápida regressão com concomitante diminuição de lâmina de água e retrabalhamento de alguns níveis por tempestades. Estas são episódicas, daí alguns níveis apresentarem retrabalhamento. Conforme se caminha para o topo da seqüência, aumenta a quantidade de estratificações cruzadas *hummocks* (HCS) e ocorrem retrabalhamentos dos sedimentos por ondas consideradas normais, reafirmando o caráter progradacional da seqüência.

CONCLUSÃO A Seqüência Furnas-Lajeado constitui uma seqüência progradacional, com sua deposição condicionada por um episódio regressivo. Compreende um episódio deposicional representado pelos sistemas plataforma e talude carbonáticos e áreas associadas. O modelo deposicional compreende uma plataforma rasa, sob o domínio de ondas, que transiciona para sedimentos terrígenos de borda de talude, seguido por rampa carbonática (talude e áreas associadas). O modelo assemelha-se à rampa com talude distante (*ramp-distally steepened*) de Read (1982).

Agradecimentos O autor expressa sua gratidão aos professores Gilberto Amaral e Setembrino Petri e ao geólogo Marcelo Alarsa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUMA, A. H. 1962. *Turbidites-Sedimentology of some Flysch Deposits*. Amsterdam, Elsevier. 168 p.
- CAMPANHA, G. A. C.; GIMENEZ, A. F.; CAETANO, S. L. V.; PIRES, F. A.; DANTAS, A. S. L.; TEIXEIRA, A. L.; DEHIRA, L. F. 1985. *Geologia das Folhas de Iporanga (SG-22-X-B-V-2) e Gruta do Diabo (SG-22-X-B-VI-1)*. São Paulo, IPT/Próminério. (Relatório IPT 22352).
- CAMPANHA, G. A. C.; GIMENEZ, A. P.; CAETANO, S. L. V.; PIRES, F. A.; DANTAS, A. S. L.; TEIXEIRA, A. L.; DEHIRA, L. F. 1986. Geologia e estratigrafia da região das Folhas Iporanga e Gruta do Diabo, Vale do Ribeira - São Paulo. In: CONOR. BRAS. GEOL., 34. Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, SBG, v.2, p. 1058-1073.
- COOK, H. E. & MULLINS, H. T. 1983. Basin margin Environments.

- In: SCHOLLE, P.A., BEBOUT, D.G.; MOORE, C.H. eds. *Carbonate Depositional Environments*. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol. Soc. **25**:239-247.
- HARMS, J. C.; SOUTHWARD, B.; SPENING, D. R.; WALKER, R. G. 1975. *Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. 161 p. (Short course 2).
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. 1975. The Ribeira folded belt. *Rev. Bras. Geoc.*, **15**(4):257-262.
- HASUI, Y.; CREMONINI, O. A.; BORN, H. 1984. O "Granito Três Córregos" revisado e o maciço Catas Altas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v.7, p. 3023-3031.
- PETRI, S. & SUGUIO, K. 1969. *Sobre os metassedimentos do extremo Sul do Estado de São Paulo*. São Paulo, Convênio USP/DAEE. 98 p. (Publicação especial).
- PIRES, F. A. 1988. Uma nova concepção para os ambientes do Grupo Açungui, na região de Iporanga e Apiaí, Sul de São Paulo. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35. Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v.2, p. 606-616.
- PIRES, F. A. 1990. *Análise Paleoambiental e Estratigráfica de Sequências Metassedimentares (Grupo Açungui), na Região de Iporanga e Apiaí - São Paulo*. São Paulo. 151 p. (Dissertação de mestrado IG/USP).
- READ, J. F. 1982. Carbonate platforms of passive (extensional) continental margins: types, characteristics and evolution. *Tectonophys.*, **81**:195-212.
- SÁ, E.F.J. & HACKSPACKER, P. C. 1982. Revisão sobre análise estrutural. Parte I: Conceituação básica e métodos. *Ciências da Terra*, **5**:24-36.
- SÁ, E.F.J. & HACKSPACKER, P. C. 1983. Revisão sobre análise estrutural. Parte II: algumas aplicações e tópicos adicionais. *Ciências da Terra*, **8**:7-18.
- TUCKER, M. E. & WRIGHT, P. V. 1990. *Carbonate Sedimentology*. London, Blackwell Scientific Publications. 482 p.
- WALKER, R. G. 1978. Deep water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps. *Am.Ass.Petr.Geol. Bull.*, **62**(6):932-966.
- WALKER, R. G. 1984. Turbidites and associated coarse clastic deposits. In: WALKER, R. G. ed. *Facies Models*. Ontario, Geol. Assoc. of Canada, Geoscience Canada. 188 p. (Reprint Series 1).

MANUSCRITO A693

Recebido em 20 de fevereiro de 1991

Revisão do autor em 9 de outubro de 1991

Revisão aceita em 17 de outubro de 1991