

Estruturas atectônicas da Bacia do Paraná em Campinas (SP): deformação sin-sedimentar no Subgrupo Itararé

Celso Dal Ré Carneiro

Departamento de Geociências Aplicadas ao Ensino
Instituto de Geociências – Unicamp
cedrec@ige.unicamp.br

Felipe Garcia Domingues da Costa

Graduando em Geologia
Instituto de Geociências – Unicamp
felipe.domingues@ige.unicamp.br

RESUMO *Entre 2000-2001, obras na Rodovia D. Pedro I expuseram dobras atectônicas no Subgrupo Itararé, Bacia do Paraná, no trevo da estrada que une Campinas a Moji-Mirim e Moji-Guaçu. Ocorrem dobras convolutas decimétricas, fechadas a isoclinais, controladas por siltitos laminados. As obras também expuseram, e depois destruíram, ondulações com comprimento de onda da ordem de 20 m. Sintetizam-se critérios distintivos desse tipo de estrutura e descrevem-se feições similares, entre SP e SC. A origem das deformações pode ser associada diretamente à ação do gelo ou ao deslizamento subaquioso de camadas inconsolidadas. As ocorrências de Campinas parecem resultar de ambos os processos. Localmente, camadas não-confinadas em ambiente subaquioso sofreram deformações penecontemporâneas à sedimentação, ao passo que as ondulações mais amplas e abertas devem-se à ação direta do gelo.*

PALAVRAS-CHAVE *Estruturas atectônicas, deformação penecontemporânea, dobras convolutas, Subgrupo Itararé, Bacia do Paraná*

ABSTRACT *Between 2000-2001, new outcrops of convolute folds have been discovered at the Highway D. Pedro I, in the interconnection with the Campinas to Moji-Mirim and Moji-Guaçu Highway. The features are typical atectonic folds. A level of weathered laminated siltites exhibits tight to isoclinal folds in rocks of the Itararé Subgroup (Tubarão Group). Open folds in sandstones and siltites have also been displayed, but soon later they were destroyed. This paper synthesizes distinctive criteria for atectonic structures and describes similar features elsewhere. Two main alternatives for the origin of the deformations are considered: direct action of ice movements or gravitational dislocations of unconfined inconsolidated layers. Data integration indicates that the two types of occurrences at Campinas result of both processes, but the later mechanism explains better the described convolute folds.*

KEYWORDS *Non-tectonic structures, penecontemporaneous deformation, convolute folds, Itararé Subgroup, Paraná Basin*

* Este documento deve ser referido como segue:

Carneiro C.D.R., Costa F.G.D.da. 2006. Estruturas atectônicas da Bacia do Paraná em Campinas (SP): deformação sin-sedimentar no Subgrupo Itararé. *Terræ Didática*, 2(1):34-53. <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>>

Introdução

Obras de modernização da SP-65, Rodovia D. Pedro I, no trecho em que esta estrada estadual contorna a cidade de Campinas, no Estado de São Paulo, expuseram, entre 2000-2001, rochas sedimentares dobradas pertencentes ao Subgrupo Itararé (Grupo Tubarão), da borda da Bacia Sedimentar do Paraná. As estruturas variam desde ondulações abertas até dobras bastante contorcidas. Caracterizadas como típicas estruturas atectônicas, apresentam-se bem expostas no trevo da SP-340, Rod. Gov. Dr. Adhemar P. de Barros, que une Campinas às cidades de Moji-Mirim e Moji-Guaçu. Em parte, as exposições foram destruídas durante as obras de modificação do trevo, mas outras ainda são visíveis (Fig. 1).

As camadas dobradas da Figura 1, com espessuras centimétricas a decimétricas, fazem parte de uma sucessão, na qual estas se intercalam com camadas indeformadas. Carneiro e Costa (2006) admitem duas hipóteses para a sua origem: deformações causadas por movimentação dos gelos e deslizamento subaçuoso; assinalam que ambas se aplicam a dados recolhidos no local aqui descrito, mas em dois

pontos distintos. Para estudar em campo exposições de estruturas similares na borda da Bacia do Paraná entre SP e SC, diversos afloramentos foram visitados (Costa e Carneiro 2006), para comparação com as feições típicas identificadas em Campinas.

As observações contidas em Carneiro e Costa (2006) *precedem* a revegetação artificial que hoje dificulta a observação, pois datam da época da abertura dos cortes. Os dados disponíveis referem-se a uma parte das ocorrências, porque outras feições notáveis foram expostas e em seguida destruídas pelas obras de duplicação da Rod. D. Pedro I. Durante as obras no trevo de Moji-Mirim / Moji-Guaçu, um dos autores (CDRC) visitou os cortes em vários momentos; foram observados anticlinais e sinclinais abertos de comprimentos de onda métricos, arqueamentos suaves e interdigitações entre camadas de arenitos, siltitos e argilitos. À margem da antiga pista simples da rodovia havia exposições de diamictitos que foram eliminadas. O nível de camadas dobradas centimétricas, intercaladas em camadas indeformadas, do Subgrupo Itararé (Grupo Tubarão) ficou preservado em pequena elevação de formato aproximadamente triangular, entre as alças de acesso da Rod. D. Pedro I (SP-65,

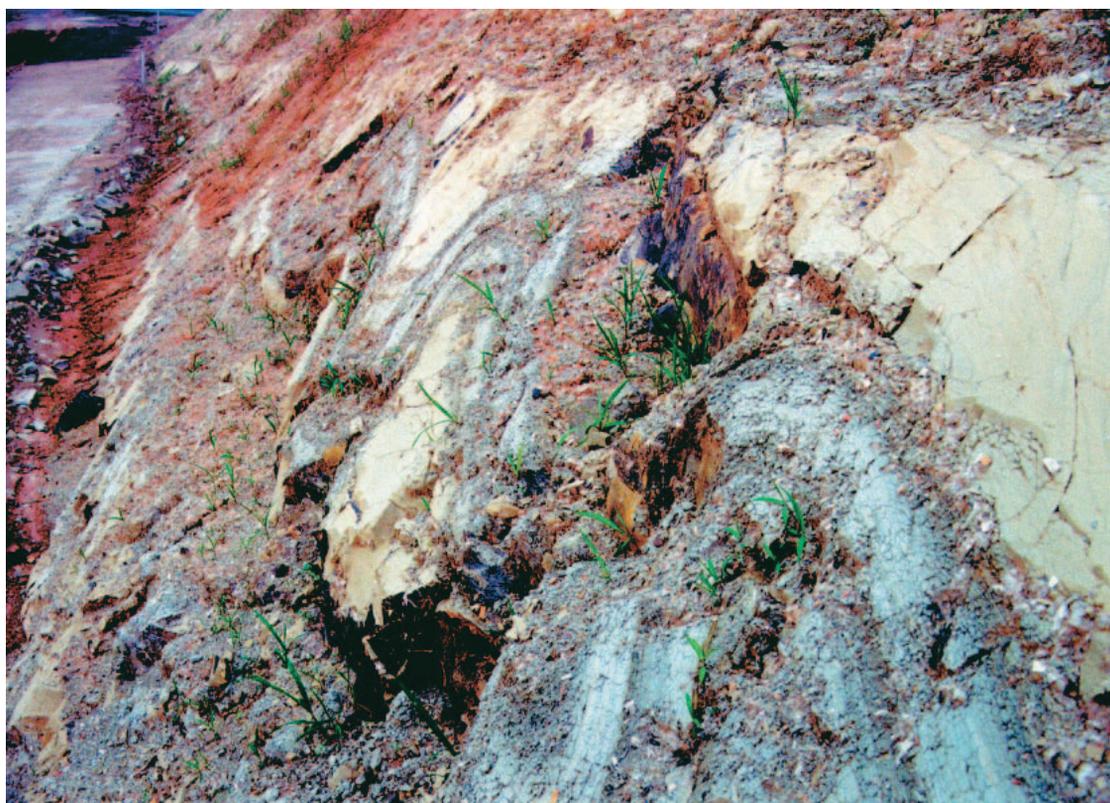


Figura 1 – Sucessão de estruturas dobradas no trevo da Rodovia Dom Pedro I

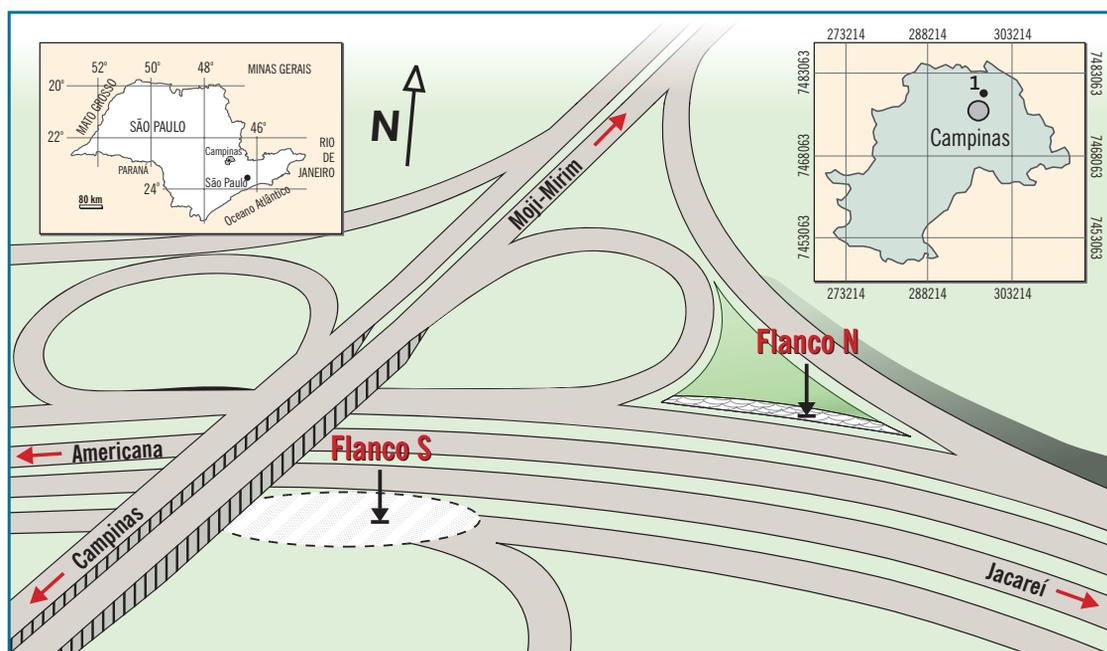


Figura 2 – Localização do afloramento descrito de estruturas atectônicas, flancos norte (N) e sul (S) dos cortes de estrada em Campinas, Estado de São Paulo. Imagem local obtida por meio do programa Google Earth

pista Jacareí-Campinas), para a Rod. SP-340 (pista Campinas-Mojí-Mirim) (Fig. 2).

A presente nota visa a descrever e caracterizar *estruturas atectônicas* do tipo dobras convolutas e outras, tendo como referência as feições presentes no trevo da Rod. D. Pedro I em Campinas. Um banco de dados construído a partir de levantamento bibliográfico possibilitou a visita e posterior descrição de algumas feições similares, encontradas em outros locais da bacia. A partir da apreciação desse conjunto de informações, pretende-se contribuir para o entendimento da origem das estruturas atectônicas do Subgrupo Itararé. A nota destina-se ainda a sintetizar conceitos sobre tal categoria de estruturas, além de apresentar e discutir resultados de análise estrutural em campo.

Estruturas atectônicas: conceitos básicos

Estruturas atectônicas são arranjos que se desenvolvem nas rochas, especialmente as sedimentares, devido a movimentos causados fundamentalmente pela ação da força da gravidade sobre massas rochosas destituídas de suporte ou apoio; sua ocorrência é localizada, sendo restritas as condições de identificação e observação; normalmente essas feições ocorrem em áreas pequenas. Afetam, principalmente, sedimentos na superfície do terreno ou em níveis próximos a ela, e manifestam-se, em

geral, por meio de dobras e pequenas falhas, ditas atectônicas. A origem dessas estruturas independe de deformações dos níveis profundos da crosta; portanto, não requer propagação de forças internas através do substrato rochoso no qual se apóiam. A designação decorre do fato de serem formadas sem participação de esforços de origem tectônica ou relacionados a diastrofismo (Loczy e Ladeira 1976).

Estruturas atectônicas formam-se durante a própria deposição de sedimentos, antes de serem cobertos por camadas mais jovens, ou ainda, desenvolvem-se nos sedimentos após sua formação, mas sem intervenção de tectonismo. Podem resultar, assim, de processos superficiais comumente relacionados a fenômenos de erosão e deposição.

Compactação e diagênese dos sedimentos por gravidade e compactação diferencial são algumas das formas pelas quais as diferentes estruturas de rochas podem ser formadas. Estruturas atectônicas dobradas podem se formar por compactação diferencial ou deslizamentos subaquiosos. A densidade dos sedimentos é determinada não apenas pela composição das partículas sólidas, mas também pelo seu conteúdo em água e gases (derivados da decomposição de matéria orgânica, Hobbs *et al.* 1976). Quando a compactação por gravidade atua sobre sedimentos homogêneos de considerável extensão lateral, depositados sobre uma superfície plana e quase horizontal, podem ser notados efeitos como

redução em espessura e porosidade e aumento da densidade dos materiais. O comportamento geral das camadas não mudará, não se formando uma estrutura nova. Entretanto, se os sedimentos se acumularem em uma superfície que apresente alguma inclinação, ou até mesmo um relevo acentuado, ou se houver mudança lateral no caráter dos sedimentos, além de uma superfície de deposição irregular e de material menos poroso, poderá ocorrer compactação diferencial, originando estruturas atectônicas como dobras (Loczy e Ladeira 1976).

Dobras convolutas são aquelas cuja superfície axial não é planar (Twiss e Moores 1992). Também denominadas laminações convolutas, são comuns em ritmitos formados por intercalações argilosas e siltosas (Hobbs *et al.* 1976, p. 156-157). Embora dobras de origem tectônica também possam exibir superfície axial não-planar, é comum que a origem de muitas dobras convolutas seja independente de esforços tectônicos; o movimento de correntes sobre sedimentos depositados em superfícies suavemente inclinadas pode produzir uma sucessão de

pequenas ondulações ou micro-dobras mais ou menos irregulares entre dois níveis mais plásticos da seqüência. A origem destas diferencia-se das dobras de escorregamento (“*slump-folds*”) pois as microdobras da laminação convoluta acham-se compreendidas entre camadas paralelas entre si (Popp 1987) (ver Tab. 1).

Deslizamentos subaquiosos também podem formar estruturas. Sedimentos depositados em uma superfície de inclinação maior que seu ângulo de repouso tendem, nesta posição instável, a deslizar sobre a superfície. A deformação associada a falhas complexas dos planos de acamamento, provocadas por deslizamentos, denomina-se *slip bedding* (literalmente: deslizamento de camadas).

Hobbs *et al.* (1976, p. 157-159) enumeram uma série de critérios para distinguir as laminações convolutas de outras estruturas de origem tectônica (Tab. 1). Esses autores ponderam, contudo, que a separação dos dois grupos possa ser artificial, já que é razoável assumir que dobras possam se formar em rochas representativas “de todos os estágios de

Tabela 1 – Critérios conclusivos, indicativos, ou pouco conclusivos, para distinção entre laminações convolutas e estruturas de origem tectônica (Hobbs *et al.* 1976, p. 157-159)

Nº	Critério	Origem Atectônica	Origem Tectônica
1	Existência, no material deformado, de tocas e cavidades indeformadas, abertas por animais em sedimento inconsolidado	Conclusivo	—
2	Existência de flexão, ao redor das zonas de charneira, de foliações metamórficas, cristais metamórficos ou grãos minerais	—	Conclusivo
3	Presença de fósseis deformados. Fósseis podem se deformar após o dobramento, mas se houver relações sistemáticas entre eles e as dobras, é um bom critério	—	Conclusivo
4	Presença de estruturas normais e reversas em pequenas distâncias	Indicativo	Indicativo
5	Camadas dobradas truncadas por camada indeformada sobrejacente, atribuída à erosão do sedimento deformado, antes da nova deposição	Indicativo	Raramente indicativo
6	Aspecto e orientação não relacionados com outras estruturas de origem tectônica da área	Difícil aplicação	Difícil aplicação
7	Ausência de juntas que possam ser relacionadas com as dobras	Indicativo	—
8	Ausência de veios que possam ser relacionados com as dobras	Raramente conclusivo	—
9	Presença de foliação plano-axial (raramente podem ser encontradas foliações plano-axiais em dobras penecontemporâneas)	Indicativo	Indicativo
10	Dobras confinadas a uma camada ou a um grupo de camadas adjacentes	Indicativo	Indicativo
11	Dobras caóticas	Indicativo de sedimento não-consolidado	Indicativo

litificação”. Assinala-se que os critérios devem ser utilizados de modo combinado. Isoladamente, poucos deles são conclusivos. Neste trabalho, alguns exemplos são detalhadamente apresentados e analisados, a partir de afloramentos identificados na região de Campinas (SP). A Figura 3 ilustra estruturas do flanco S (Fig. 2).

Materiais e métodos

Um levantamento bibliográfico inicial buscou localizar descrições de feições similares que possibilitassem interpretar os processos formadores das estruturas atectônicas estudadas. Os dados de feições associadas ao terceiro episódio de ingressões marinhas na Bacia do Paraná (Almeida e Carneiro 2004) foram organizados em banco de dados, tendo sido estabelecidas divisões hierárquicas segundo o tema do artigo e sua relação com o enfoque do presente trabalho.

Banco de dados sobre estruturas atectônicas da Bacia do Paraná

Com a finalidade de identificar na bibliografia estudos detalhados sobre estruturas da borda da Bacia Sedimentar do Paraná, realizou-se varredura de trabalhos publicados em periódicos brasileiros: no total, mais de 900 publicações foram analisadas. Dentre 1.297 volumes de periódicos, encontrou-se número razoável de trabalhos sobre “estruturas atectônicas da Bacia do Paraná”. A seleção dos trabalhos que possuíam conteúdo relevante sobre estruturas atectônicas possibilitou construir uma classificação com seis níveis de interesse conforme o conteúdo, resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação hierárquica da bibliografia recuperada de estruturas atectônicas

Nível	Trabalho contém
A	Referências a Estruturas Atectônicas (fotos e descrições) no Subgrupo Itararé
B	Referências a Estruturas Atectônicas (fotos e descrições) na Bacia do Paraná
C	Alguma referência a Estruturas Atectônicas
D	Relacionamento com o Subgrupo Itararé
E	Relacionamento com a Bacia do Paraná
F	Alguma referência à Bacia do Paraná

As referências bibliográficas foram dispostas em planilha contendo dados úteis para facilitar sua recuperação. O Banco de Dados reúne 121 artigos relevantes para o tema da pesquisa classificados segundo o conteúdo e importância; esses dados orientaram a seleção de pontos para visitas de campo.

Descrições de Campo

A viagem abrangeu localidades dos Estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, na borda oriental da Bacia Sedimentar do Paraná. Dentre os pontos previamente catalogados no levantamento de artigos, alguns puderam ser localizados com mais precisão, graças ao apoio de profissionais a quem os Autores manifestam sua gratidão, no item Agradecimentos. Além desses, outros locais foram também incluídos nas visitas.

Realizou-se descrição pormenorizada das dobras do corte da Rod. D. Pedro I, tendo sido confeccionados diagramas estruturais e efetuada classificação segundo o método das isógonas de mergulho (Ramsay 1967, 1987), técnica de uso corrente em Geologia Estrutural. Utilizando *softwares* adequados, as fotografias obtidas do afloramento estudado foram digitalizadas por meio de *scanner* e sofreram ajustes e correções; posteriormente, as estruturas foram desenhadas de forma detalhada.

Estudos anteriores

A vasta bibliografia sobre evolução e caracterização da Bacia do Paraná inclui estudos que fazem referência específica a estruturas atectônicas no pacote permo-carbonífero. São bem menos numerosas as referências a estruturas penecontemporâneas, como deslizamento subaquoso, laminação convoluta e deformação por carga; diversos artigos indicam precisamente a localização de pontos representativos.

A origem glacial das camadas Itararé foi proposta por Derby (1878 *apud* Gama Jr. *et al.* 1992a); Pacheco utilizara a designação “Glacial” (1927 *apud* Mezzalira *et al.* 1981) para rochas permo-carboníferas, reunidas por Washburne (1930) como Série Itararé. Mapeamentos e descrições revelam a existência de rochas pertencentes à unidade em São Paulo (Barbosa e Almeida 1949, Almeida e Barbosa 1953), Mato Grosso (Almeida 1945), além de folhelhos várvidos no sul do país (Oliveira 1929). Mendes (1962 *apud* Mezzalira *et al.* 1981) considerou a Série Itararé, juntamente com a unidade Guatá,

subgrupos do Grupo Tubarão que identificou. Desde os primeiros estudos, feições de deformação associada ao movimento do gelo vieram sendo registradas em trabalhos que analisam a evolução e dinâmica do Subgrupo Itararé, como p.ex.

Washburne (1930), Almeida (1953), Mezzalira (1969), Rocha-Campos *et al.* (1969), Medeiros (1971), Fulfaro *et al.* (1971) e Trosdorf *et al.* (2005).

Gama Jr. *et al.* (1992a), dentre outros, propõem hipóteses para a formação de estruturas atectônicas, apresentam descrições de estruturas relacionadas à ação do gelo e destacam a abundância das fácies de ressedimentação como componente dos ambientes peri-glaciais, onde a sedimentação é gerada por fluxos gravitacionais subaquosos a partir de retrabalhamento de tilitos. As geleiras atuariam no suprimento de terrígenos, enquanto os verdadeiros agentes deposicionais seriam os fluxos gravitacionais.

Schneider *et al.* (1974) e Soares *et al.* (1977), dentre outros, revisam propostas de subdivisão estratigráfica do Subgrupo Itararé; Soares *et al.* (1977) reconhecem a dificuldade de se estabelecer limites claros entre formações pela falta de continuidade lateral dos pacotes rochosos e ausência de camadas-guia, e identificam quatro associações litológicas nas quais são comuns as estruturas de laminação convoluta, camadas contorcidas e marcas de sobrecarga simétricas, em uma área geograficamente limitada. Vesely e Assine (2004) apresentam resultados de análise estratigráfica do Subgrupo Itararé na região norte do Paraná, tendo identificado cinco seqüências deposicionais, que denominaram 1, 2, 3, 4 e 5. Dobras de escorregamento e planos de escorregamento são comuns em duas das associações litológicas descritas por Soares *et al.* (1977).

Baseados na análise da geometria, natureza dos depósitos associados, regime de deformação e estruturas presentes em várias exposições do Subgrupo Itararé, Vesely *et al.* (2005) definem quatro estilos deformacionais predominantes, dois de natureza distensiva e dois de caráter compressivo. Seriam estruturas formadas sob regimes distensivos: (a) falhas normais e basculamento de camadas; (b) superfícies de deslizamento intraestratais e dobras.

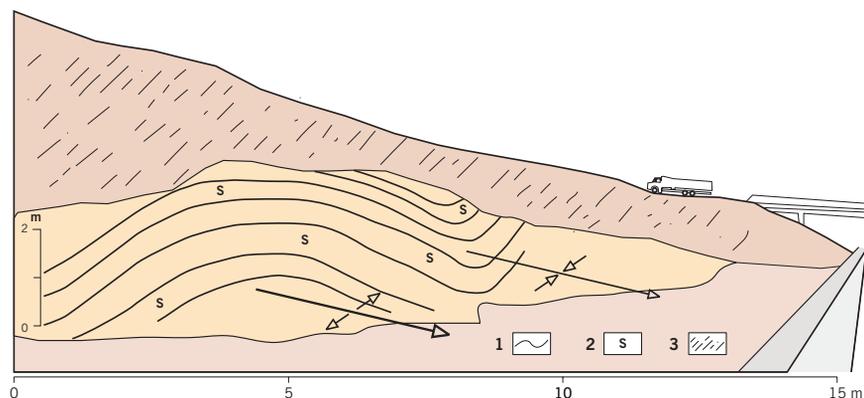


Figura 3 – Duas visões em perspectiva do afloramento, lado sul: (a) esboço geral do corte no traçado SE-NW, com destaque para sucessão de anticlinal e sinclinal. Símbolos: 1 – planos de estratificação dobrada, 2 – siltitos, 3 – solos; (b) aspecto do ângulo suave de abertura de sinclinal, no mesmo corte, rumo ESE, na sucessão das dobras observadas em (a)

Reconheceram, como estruturas formadas sob regimes compressivos: (c) sobrecarga, diapirismo e dobras; (d) dobras e falhas de empurrão. Assinalam que a interpretação de “uma origem gláctectônica para as feições compressivas” fica prejudicada, nesses locais, pela inexistência de tilitos autênticos (depósitos glaciogênicos) e superfícies de abrasão glacial associadas às estruturas. Ademais, faltam exposições contínuas que, segundo esses autores, facilitariam o estabelecimento de relações espaciais entre os vários tipos.

Os cortes da rodovia D. Pedro I

No trevo de Moji Mirim, antes da duplicação da rodovia, os cortes marginais à pista Campinas-Jacaréi da Rod. Dom Pedro I expunham três níveis irregulares de rochas relacionadas ao Subgrupo Itararé, entre os viadutos até então existentes.

Um deles, no flanco sul da estrada, exibia diamictitos de identificação praticamente imediata; a limitada área exposta dificultava, porém, a distinção de horizontes e/ou determinação de atitudes. As obras de modernização expuseram níveis sub-horizontais de arenitos recobertos por camadas bem estratificadas de siltitos argilosos, onde foram identificadas ondulações amplas, suaves, com amplitudes da ordem de 5-10 m e comprimentos de onda que podem atingir 20 m. Nenhuma dessas feições pode ser reconhecida hoje, porque a continuidade dos trabalhos destruiu os registros (Fig. 3).

Na margem oposta (norte) da Rod. Dom Pedro I (marco quilométrico 134,5 km), contudo, ao longo de extensão horizontal da ordem de 10 m, um maciço rochoso aproximadamente triangular, situado entre alças de interligação rodoviária (Figs. 2, 4 e 5), exhibe dobras desarmônicas em siltitos em nível estreito, espesso de no máximo 2 m. A localização em coordenadas UTM desse ponto é 291044/7472333; em coordenadas geográficas, 22° 50' 37,6" S e 47° 02' 10,8" W. A descrição que se segue das exposições em Campinas foi extraída de Carneiro e Costa (2006):

“No horizonte dobrado, as camadas de siltito mais espessas apresentam coloração cinza-claro, são tipicamente empastilhadas e ocasionalmente contêm seixos arredondados, de tamanho pequeno, compostos de quartzo ou quartzito. A esfericidade dos seixos é baixa, sendo possível encontrar formas facetadas em formato de ‘ferro de engomar’. As camadas laminadas de siltito variam de cinza-escuro a cinza-amarelado e possuem espessuras milimétricas a submilimétricas. Em alguns pontos a rocha assemelha-se a um ritmo várvido cinza-amarelo muito fino”.

À altura do km 132 da Rod. Dom Pedro I, ocorrem conglomerados suportados por seixos, nos quais há muitos seixos facetados e estriados, irregulares e arredondados, em corte defronte ao *Shopping Galleria*. Há pelo menos três níveis de conglomerados no corte, intercalados com siltitos argilosos e arenitos róseos. Seixos arredondados de argilitos são igualmente numerosos, muitas vezes de forma aproximadamente discóide. Desintegram-se com facilidade, ao serem pressionados nas mãos, em virtude do grau de decomposição. Revelam o predomínio, na época de deposição, de condições frias e secas, compatíveis com o ambiente periglacial (Carneiro e Costa 2006).

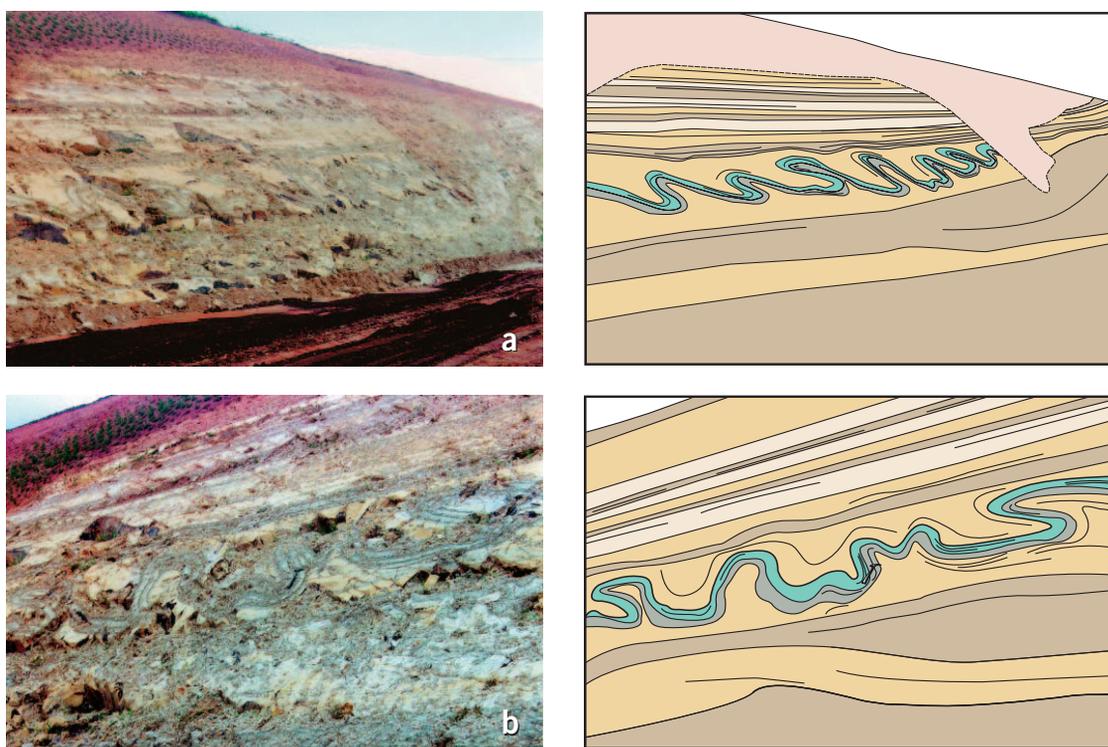


Figura 4 – Visão geral em perspectiva do afloramento: (a) visão do corte no rumo NNE, com o respectivo traçado de contatos à direita; (b) visão do corte no rumo NNW, com destaque, à direita, para as formas sinuosas que pertencem a um horizonte muito bem definido

Documentação fotográfica

As figuras 4 e 5 contêm as fotografias obtidas do afloramento e correspondentes imagens editadas. Nas fotos gerais (Fig. 4) observam-se efeitos iniciais das obras de revegetação do talude, que acabaram por obliterar as estruturas, dificultando a visualização de detalhes. As linhas vermelhas, mais fortes nas imagens geradas, indicam cada camada que compõe o pacote sedimentar; linhas mais claras, alaranjadas, representam o acamamento, que coincide com a atitude da camada; as linhas verdes indicam área coberta por revegetação. Escalas foram determinadas com base no martelo geológico das fotografias, redesenhado nas imagens. Convém assinalar, obviamente, que a escala é variável, nos casos em que a “visão” proporcionada pela foto está em perspectiva.

Análise estrutural

Foram tomadas, aproximadamente, 60 medidas sistemáticas de dados de orientação, correspondentes a pequeno número de dobras (Fig. 6a). Um conjunto de dobras representado por três sinclinais e três anticlinais foi objeto de medição sistemática.

Os pólos foram plotados em rede polar, em busca da identificação de círculos máximos nos quais os pólos se encaixassem. Verifica-se que a orientação das dobras é aproximadamente coincidente. Foram igualmente plotados os pólos de eixos de dobra (Fig. 6b) como elemento geométrico importante. A análise estrutural dos dados de orientação obtidos no campo revela congruência das atitudes de eixos, que estão orientados segundo N20E, com pequenas variações de mergulho. Predominam atitudes sub-horizontais (Fig. 6b).

Para estruturas de origem tectônica, o método de classificação segundo isógonas de mergulho (Ramsay 1967) divide as dobras em categorias bem definidas: 1 – isógonas convergentes, 2 – isógonas paralelas (dobras similares) e 3 – isógonas divergentes. As dobras tipo 1 são divididas em três subclasses: A: ápice espessado e flanco adelgado; B: espessura constante tanto no ápice como nos flancos (dobras concêntricas); C: ápice adelgado e flanco espessado.

Aplicando-se a técnica geométrica (Ramsay e Huber 1987) a uma imagem frontal das dobras, não se obteve um padrão uniforme de tipos. Reconheceram-se duas dobras tipo 1C, duas tipo 3, e duas

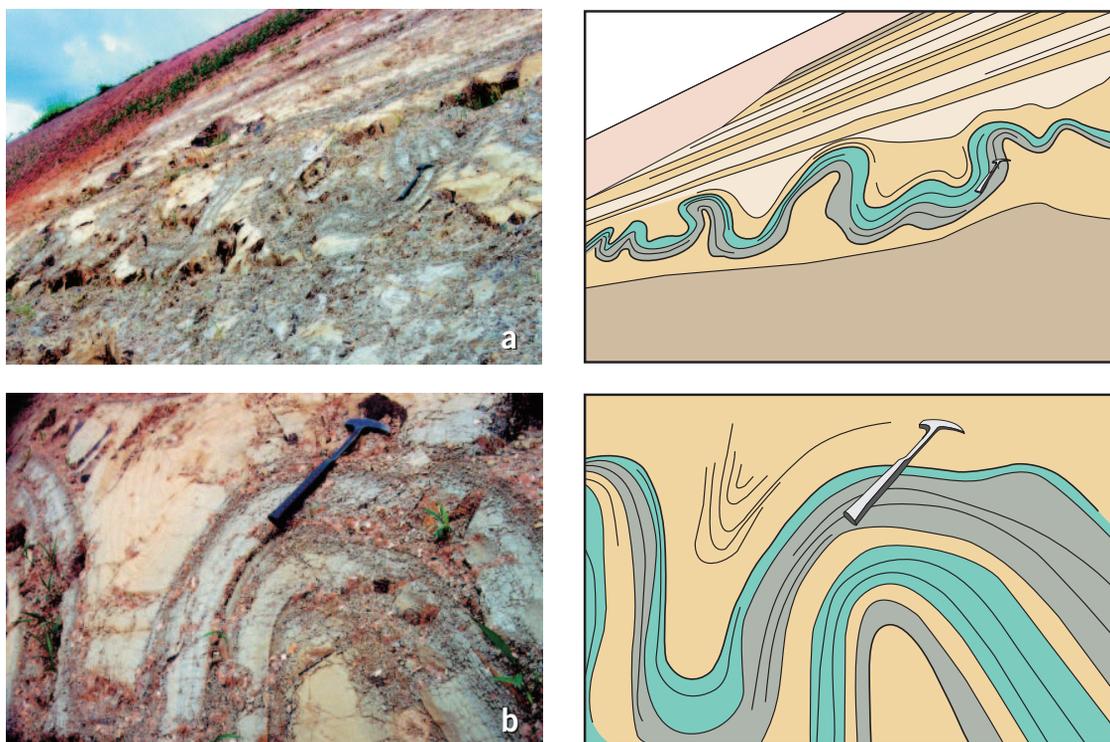


Figura 5 – Visão frontal do afloramento (a), com escala (martelo) e a representação das dobras desarmônicas à direita; visão de um sinclinal e um anticlinal isoclinal (b), com destaque, à direita, para a espessura das camadas, que se mantêm quase constante, mas com leve espessamento de flancos

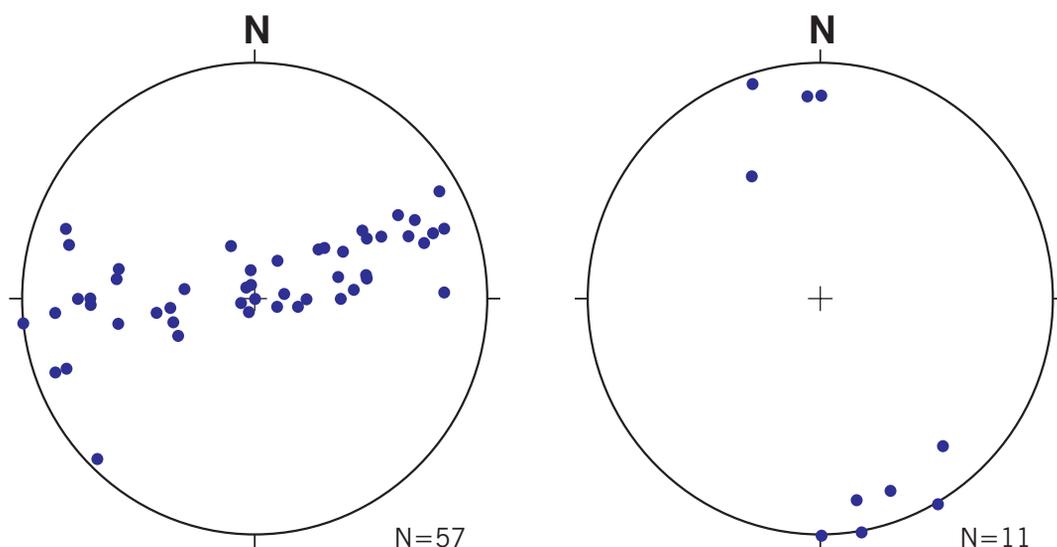


Figura 6 – Diagramas estereográficos de Schmidt-Lambert, hemisfério inferior: (a) flancos de dobras, (b) eixos medidos de dobras

outras que apresentaram comportamento distinto entre os dois flancos. Em uma delas, os flancos foram classificados como 3 e 1C e, em outra, como 1A e 1B. Justifica-se tal diversidade, já que os padrões observados referem-se a estruturas atectônicas, ou seja, não representam resposta a esforços de idêntica magnitude na escala de afloramento; além disso, admitindo-se origem por deslizamento subaquioso, a probabilidade de existir apenas dobras de um tipo seria menor do que para tipos variados, em virtude de variações da quantidade de material deslocado e sua natureza. Finalmente, o piso da superfície de deslocamento pode conter irregularidades naturais que perturbariam o sistema, redistribuindo as forças geradoras das dobras de modo caótico e não-padronizado.

Estruturas atectônicas similares

O banco de dados baseado em pesquisa bibliográfica fundamentou a seleção de pontos de visita de campo. Foram organizadas tabelas contendo dados de localização, município onde o ponto está situado, rodovia, detalhes de localização para facilitar a busca do local descrito e descrição original do afloramento. O trabalho mais recente que sintetiza dados de estruturas similares (Vesely *et al.* 2005) descreve pontos nas proximidades de Campinas (SP); Ponta Grossa e Telêmaco Borba (PR). Neste caso, a localização exata dos pontos foi obtida junto a um dos autores (MLA) sendo possível, então, completar o banco de dados e o roteiro de campo.

A Figura 7 indica a localização de estruturas atectônicas na borda oriental da Bacia do Paraná. Assim como o local descrito neste artigo, a maioria dos pontos que podem ser visitados em São Paulo pertence “ao terço inferior aflorante do Itararé” (Gama Jr. *et al.* 1992b). O ponto 1 localiza-se em Salto (SP), em corte da SP-308 Rodovia do Açúcar, próximo ao km 101, a 300 m da ponte sobre o rio Tietê, no cruzamento com a rodovia SP-79. O afloramento exhibe canal escavado em arenitos e preenchido por diamictitos de ressedimentação. Os siltitos argilosos sobrepostos aos depósitos que preencheram o canal escavado possuem geometria lenticular, exibindo sutil gradação e deformações plásticas causadas por diapirismo de lamitos (Gama Jr. *et al.* 1992b, p. 238).

O ponto 2 localiza-se em Campinas (SP), à margem da SP-348, Rod. dos Bandeirantes, km 94,5, junto ao viaduto Dunlop. O afloramento, bem exposto nos dois lados da rodovia, expõe arenitos acamadados, com feições convolutas derivadas de fluidização (Gama Jr. *et al.* 1992b, p. 241). As feições não correspondem, precisamente, a estruturas penecontemporâneas causadas por deformação; da mesma forma, em Itu (SP), em corte da SP-308 Rodovia do Açúcar (ponto 3), à altura do km 93,5, à direita no sentido Sorocaba-Piracicaba, afloram ritmitos gradados, nos quais o acamamento ondulado deriva da preservação, por decantação, das formas tracionais do leito arenoso. Na parte superior, por sobrecarga, são produzidas estruturas do tipo *balls and pillows* e lutocinese.

Em Boituva (SP), junto ao km 0,5 da SP-129, Rodovia Vicente Palma, Gama Jr. *et al.* (1992b) descrevem afloramento portador de notáveis deformações plásticas. Uma superfície de deslizamento permitiu a movimentação e deformação de turbiditos desconfiados, mais diluídos, sobre horizontes subjacentes nos quais predominam arenitos maciços com clastos de argilitos e, subordinadamente, lamitos e/ou ritmitos intercalados. No vale do rio Sorocaba, em Cerquillo (SP), no km 98,3 da SP-127 Rodovia Cerquillo-Tatuí, há diamictitos, com baixa proporção de seixos e grânulos quartzosos e líticos. A presença de dobras e feições convolutas desenhadas pela estratificação reliquiar sugere “certo grau de organização dos diamictitos originais” (Gama Jr. *et al.* 1992b, p. 246). Na localidade de Eng. Maia, entre Itapeva e Itararé, Caetano-Chang *et al.* (1990) descrevem a existência de pavimento estriado encontrado em arenitos do próprio Subgrupo Itararé.

No km 138,3 da SP-330, Rodovia Anhangüera, entre o trevo de acesso a Artur Nogueira e Limeira, Fulfaro *et al.* (1971) descrevem arenito com

lâminas de argila em estruturas convolutas passando para o topo a diamictitos.

As estruturas atectônicas no estado do Paraná foram localizadas com base em Canuto *et al.* (2001), Medeiros (1971) e Vesely *et al.* (2005). O trecho de estrada referido por Canuto *et al.* (2001) como pontos 6 e 7, situados na BR-116, estende-se ao longo de 60 km da rodovia, entre Quitandinha (PR) e Itaiópolis (SC); no trecho, os cortes exibem diamictitos e arenitos interestratificados e deformados e arenitos com laminação convoluta. O corte sob a ponte da Estrada de Ferro Rio Negro-São Francisco situa-se entre Campo do Tenente (PR) e Mafra (SC), à altura do km 105,9 da BR-116. Afloram sedimentos rítmicos; no topo do afloramento observa-se laminação ondulada assimétrica que tende a formar ondulação cuja abertura decresce para o topo e dobras convolutas (Medeiros 1971).

As estruturas atectônicas no Estado de Santa Catarina situam-se ao longo da BR-116 nas proximidades de Mafra (Medeiros 1971). Marques Filho *et al.* (1965) descrevem, em pormenores,



Figura 7 – Exposições selecionadas de estruturas atectônicas na borda SE da Bacia do Paraná

Tabela 3 – Pontos visitados na Bacia do Paraná com dados de localização

Ponto	Coord. UTM*	Coord. Geogr. S	Coord. Geogr. W	Localização	Ref.
01	291044 / 7472333	22° 50' 37,6"	47° 02' 10,8"	Trevo da SP-65, Rod. D. Pedro I com a SP-340, Rod. Gov. Dr. Adhemar P. de Barros (Campinas Moji-Mirim)	Este trabalho
02	282745 / 7462649	22° 55' 47,4"	47° 07' 53,7"	Rod. Bandeirantes, próximo ao viaduto da Dunlop, km 94,5	Gama Jr. et al. (1992b)
03	262928 / 7435151	23° 10' 31,2"	47° 18' 56,8"	Rod. do Açúcar, SP-308, no cruzamento com a Rod. Salto-Indaiatuba, SP-79	Gama Jr. et al. (1992b)
04	245230 / 7526299	22° 21' 00,3"	47° 28' 25,2"	Rodovia Anhangüera km 138 (pista sentido capital-interior)	Fulflaro (1971)
05	247299 / 7502137	22° 34' 07,4"	47° 27' 27,4"	Rod. Bandeirantes, no cruzamento da Rod. Limeira-Iracemópolis	Aflor. 7 (Vesely et al. 2005)
06	246773 / 7502020	22° 34' 11,1"	47° 27' 45,8"	Cachoeira a 500 m da Rodovia e próxima ao Ponto 05	
07	247507 / 7505376	22° 32' 22,5"	47° 27' 18,2"	Corte amplo em trecho de subida da Rod. Bandeirantes de Limeira para N	
08	247484 / 7500155	22° 35' 11,6"	47° 27' 21,3"	Rodovia dos Bandeirantes, trevo de Limeira (acesso lateral SE)	
09	248370 / 7491676	22° 39' 48,2"	47° 26' 56,0"	Rodovia dos Bandeirantes, km 147 na pista para São Paulo	
10	201029 / 7409307	23° 23' 55,5"	47° 55' 30,6"	Rodovia Tatui-Itapetininga Aflor. bem exposto em trecho duplicado de rodovia	
11	220291 / 7362460	23° 49' 28,2"	47° 44' 43,8"	Rodovia SP-264, próximo a Pilar do Sul	Stein (1984)
12	663516 / 7331459	24° 07' 14,9"	49° 23' 27,6"	Rio Funil, estrada Itararé Sengés, após a divisa de estado entre SP/PR	
13	660685 / 7332702	24° 06' 34,6"	49° 25' 08,0"	Corte na estrada a 4 km de Sengés	Aflor. 5 (Vesely et al. 2005)
14	607450 / 7370125	23° 46' 34,2"	49° 56' 44,0"	Corte a 300 m do trevo de Tomazina na estrada para Siqueira Campos	Aflor. 4 (Vesely et al. 2005)
15	604257 / 7369329	23° 47' 00,8"	49° 58' 36,5"	Tomazina, rodovia para Ibaíti. Corte alto, interrompido há tempos e utilizado atualmente como depósito de lixo.	
16	580627 / 7355632	23° 54' 30,7"	50° 12' 28,0"	Rodovia BR-153 sentido Ibaíti para Ventania, aprox. A S de 10 km de Ibaíti	
17	577369 / 7345664	23° 59' 55,8"	50° 14' 21,5"	Rodovia BR-153, sentido Ibaíti-Ventania, corte ao lado da linha de alta tensão.	
18	576472 / 7336372	24° 04' 57,9"	50° 14' 51,8"	Rodovia BR-153 sentido Ibaíti-Ventania, km 141	Aflor. 3 (Vesely et al. 2005)
19	566378 / 7334657	24° 05' 55,9"	50° 20' 49,3"	Rodovia Ventania-Curiúva, corte sob a linha de alta tensão	Aflor. 2 (Vesely et al. 2005)
20	541230 / 7300524	24° 24' 28,5"	50° 35' 36,8"	Porto de areia, margem esquerda do Rio Tibagi	
21	542882 / 7298833	24° 25' 23,1"	50° 34' 37,6"	Estrada Telêmaco Borba-Tibagi, corte extenso na rodovia	Aflor. 1 (Vesely et al. 2005)
22	543150 / 7298855	24° 25' 21,5"	50° 34' 27,6"	Antes da ponte do rio Conceição, estrada Telêmaco Borba-Tibagi (a 500m do p. 20)	
23	585445 / 7211754	25° 12' 28,1"	50° 09' 07,7"	Rodovia Ponta Grossa-Palmeira	
24	619877 / 7108766	26° 08' 06,5"	49° 48' 24,8"	Maíra (SC), BR-116 km 03, antes do acesso para Florianópolis	Medeiros (1971)
25	612596 / 7103573	26° 10' 57,9"	49° 52' 23,9"	BR-116 km 13, 500m a sul da saída para Caroinhas	Medeiros (1971)
26	606877 / 7092544	26° 16' 57,1"	49° 55' 47,0"	BR-116 km 26, adiante (para sul) da entrada para Itaiópolis	Medeiros (1971)
27	622723 / 7102897	26° 11' 15,4"	49° 46' 18,8"	Pedreira Pedra Branca, Maíra. Rod. para Rio Negrinho, prox. ao rio Negro	Este trabalho
28	621065 / 7100678	26° 12' 28,9"	49° 47' 17,4"	Pedreira nativa Mazon, em Maíra	Este trabalho
29	615961 / 7097878	26° 14' 01,4"	49° 50' 20,7"	Pedreira municipal inativa Vila Rutz, família Strohe	Este trabalho

* Datum: Córrego Alegre

exemplos de deformações penecontemporâneas à sedimentação, todas subaquosas, em vários locais da folha Rio Negro. Em pedreira situada à altura do km 109,1, ocorre diamictito com matriz arenosa e estrutura de escorregamento. No ponto do km 117,8, junto à saída para Canoinhas, entre Mafra e Papanduva, ocorre intercalação de arenito muito fino-siltito e argilito. No km 128,5 da BR-116, camadas centimétricas intercaladas de arenito muito fino e laminações paralelas de argilito exibem níveis com dobras convolutas que passam lateralmente a acamamento e laminação paralela. No km 130,6 da BR-116, aflora arenito muito fino, localmente fino a médio, nos quais diversas estruturas acham-se presentes, com destaque para as dobras convolutas e estruturas flaser no topo do intervalo.

Feições reconhecidas entre Limeira e Salto

No planejamento da viagem de campo, foram selecionados trabalhos que descrevem as estruturas com mais precisão. Dentre esses, alguns afloramentos antigos não foram localizados ou encontravam-se totalmente obliterados.

Na região aproximadamente delimitada pelas cidades paulistas de Campinas, Limeira e Pilar do Sul, há ocorrências notáveis de arenitos afetados por dobras convolutas. Na Rod. Anhangüera, km 138 (ponto 4, Tab. 3), ocorre arenito arcosiano amarelado-bege com estratificações cruzadas, em que se observa uma dobra aberta com flanco SE muito inclinado e eixo N30E horizontal. Esse ponto foi descrito por Fúlfaro (1971) como:

“(...) arenitos e diamictitos do Grupo Tubarão em contatos irregulares representando diastemas do tipo escavação e preenchimento. Os arenitos superiores apresentam grandes estratificações cruzadas ocupando uma calha cavada em arenito aparentemente maciço. Para o topo a seqüência é novamente truncada por um corpo de diamictitos seguido por argilas com vários níveis brechados. Zonas de limonitização são frequentes no topo da seqüência.”

À margem da Rod. Limeira-Iracemópolis (ponto 6), uma cachoeira exhibe níveis conglomeráticos

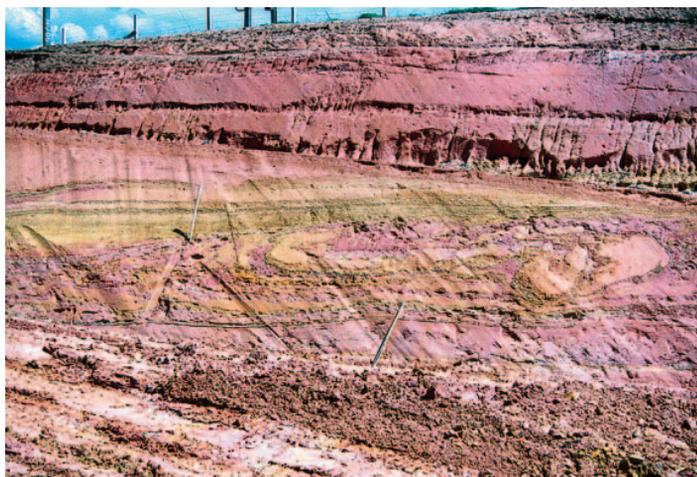


Figura 8 – Visão no rumo NNW de corte na Rod. Tatuí-Itapetininga, observado durante obras de escavação em 2003. As dobras isoclinais correspondem à deformação de um horizonte argilo-siltoso

horizontais de cor marrom, intercalados em níveis de arenito grosso com estratificação cruzada. Os seixos angulosos são de sílex, polidos em superfície. O nível rico em seixos é posterior ao arenito com estratificação cruzada, assemelhando-se a um pavimento com cimento ferruginoso.

Os cortes amplos da Rodovia dos Bandeirantes são excelentes para observação de feições da formação Tatuí (ponto 7) e do Subgrupo Itararé, como no trevo de Limeira (ponto 8), onde ocorre arenito branco fino, com manchas amarelo-ocre, formando camadas horizontais contínuas, porém sem evidências de deformação. Na mesma rodovia, km 147 (ponto 9), há arenito muito fino branco, siltoso, laminado, com intercalações de siltito marrom avermelhado e laminações cruzadas em vários pontos. Pequenas falhas e ondulações devidas à deformação penecontemporânea distribuem-se aleatoriamente no maciço. Na base da seqüência há um arenito branco, homogêneo, sem laminação, mais grosso que o situado acima deste.

Na Rodovia Tatuí-Itapetininga, um afloramento bem exposto durante a duplicação da autoestrada, observado em dezembro de 2003, exhibe dobras recumbentes isoclinais de ápices espessados, com flancos descontínuos por terem sido rompidos, conforme Figura 8. As dobras acham-se dispostas em uma sucessão de camadas subparalelas. Em outro local, correspondente ao ponto 10 (Tab. 3), aparecem camadas suavemente dobradas em siltitos e argilitos laminados, de cores variegadas (amarelo, vermelho, branco).

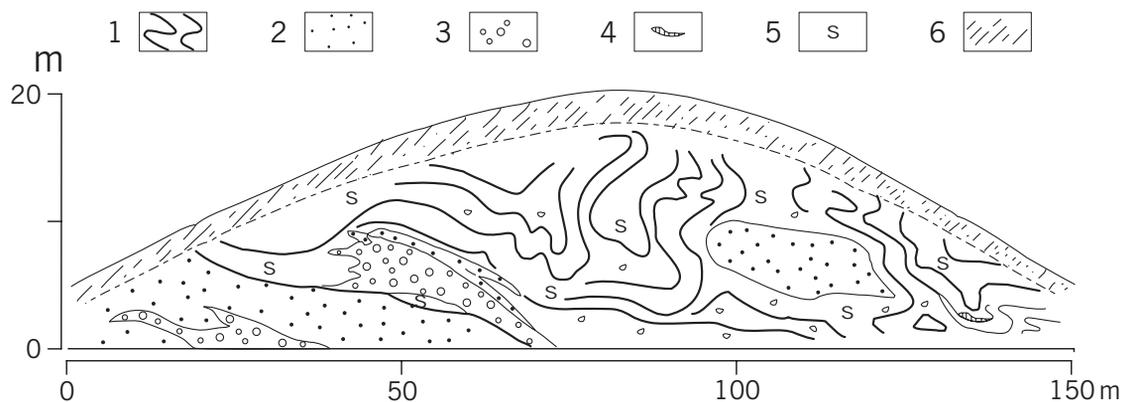


Figura 9 – Amplas dobras descritas por Stein (1984) em horizontes de siltito e arenito fino no corte da SP-264, Rod. Salto de Pirapora-São Miguel Arcanjo: 1 – Estruturas hidroplásticas; 2 – Arenito de granulação média; 3 – Conglomerado com seixos centimétricos, matriz arcossiana; 4 – Níveis lenticulares ricos em cimento carbonático; 5 – Arenito de granulação fina e siltitos com seixos pingados; 6 – Solo de alteração

Na região a norte de Pilar do Sul, em cortes da SP-264, Rod. Salto de Pirapora-São Miguel Arcanjo, Stein (1984) descreve afloramento (ponto 11) formado por camadas basais de conglomerado polimítico de matriz arenosa, em contato gradacional para arenitos imaturos, capeados por siltitos, argilitos e ritmitos. Camadas de arenitos, siltitos, conglomerado e diamictitos apresentam-se arqueadas em formas contorcidas (Fig. 9).

A norte de Porto Feliz, Washburne (1930) reconhece dobras e falhas de cavalgamento em rochas argilosas da Série Itararé (Fig. 10). O autor observa que a notável ausência de grandes depósitos de seixos, tão característicos em outras zonas continentais adiante de geleiras, pode ser explicada pela hipótese de que as massas de gelo não se achavam situadas em terra (Washburne 1930, p. 24-25), mas teriam invadido um grande lago ou lagos, possibilidade reforçada pela “abundância de argilas entre os leitos de tilito”. As geleiras teriam sido suportadas “por rocha dura” na região a leste da unidade (Fig. 11). A este esboço acrescentamos um box baseado em Vesely e Assine (2004).

Almeida (1948) relata a descoberta da Rocha Moutonnée de Salto (SP), cujas estrias, implantadas na superfície de grande massa de Granito Itu, constituem prova definitiva dos movimentos de avanço e recuo que caracterizam a atividade glacial. Atualmente a área, bem como a ocorrência de varvito em Itu, constituem parques naturais de grande importância (Rocha-Campos 2002a, 2002b, Almeida e Carneiro 1995).

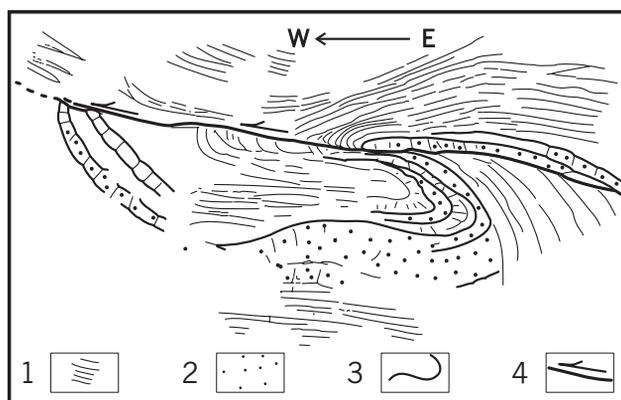


Figura 10 – Dobras e falhas de cavalgamento em argilitos do Subgrupo Itararé, a norte de Porto Feliz (modif. de Washburne 1930): 1 – Estratificação; 2 – Arenitos; 3 – Superfícies dobradas; 4 – Falhas de cavalgamento

Feições reconhecidas no Paraná

Em corte na estrada a 4 km de Sengés (ponto 13) há arenitos notavelmente estratificados, separados por plano discreto de deslizamento subaqüoso de material roxo-cinza siltoso, contendo seixos e até calhaus. Muitas falhas cortam o material deslizado, que apresenta camadas lenticulares descontínuas separadas pelo material conglomerático suportado pela matriz. Um sistema de falhas conjugadas forma arranjo em dominó com deslocamento da parte superior para N. Mesmo internamente, as grandes massas de arenito bem preservadas mostram deformações que guardam relação com o deslizamento subaqüoso. No conjunto, parece ter havido muita movimentação das massas de rochas conglomeráticas (diamictitos) com participação passiva das lentes de arenito.

Em corte a 300 m do trevo de Tomazina na estrada para Siqueira Campos (ponto 14) ocorre arenito fino bege rosado, com estratificação suavemente ondulada, sugestiva de deslizamento subaquoso. Não aparecem seixos ou calhaus.

O corte do km 141 (ponto 18) da Rod. BR-153, sentido Ibaiti para Ventania, expõe dobra elástica em formato de laço, descrita por Vesely *et al.* (2005, ponto 3) como feição diapírica (Fig. 12). O ápice do lado sul é espessado e isoclinal, enquanto a dobra do lado norte é fechada, com espessura mais uniforme. Predomina siltito bege róseo, com níveis de arenito grosso a médio, também bege, portador de uma espécie de clivagem disjuntiva em planos sub-horizontais. No ponto 19, situado na Rod. Ventania-Curiúva, descrito por Vesely *et al.* (2005, ponto 2), há siltitos cinza-amarelados repletos de seixos arredondados de diferentes diâmetros. O siltito é arenoso, com aspecto empastilhado, sendo cortado por falhas subverticais. Provavelmente, este evento aconteceu junto com os deslizamentos. Algumas superfícies de falha são suavemente arqueadas.

Na Estrada Telêmaco Borba-Tibagi (corte descrito por Vesely *et al.* 2005, ponto 1), bancos sub-horizontais lenticulares de arenitos médios exibem coloração amarelo-avermelhada. Ocorrem zonas irregulares de diamictitos com seixos bem arredondados de quartzo e granito, até calhaus. Não foi possível observar evidências de deformação. Junto à ponte do rio Conceição, 500 m adiante (ponto

22), ocorre intercalação de arenito médio a grosso na base, com diamictitos e conglomerados para o topo do afloramento. O nível de arenito é ondulado e o contato com o diamictito é brusco. O nível de diamictito possui estratificação plano-paralela e passa abruptamente para o nível de conglomerado, também com estratificação plano-paralela.

Feições reconhecidas em Mafra (SC)

Assine *et al.* (1998) atribuem à atividade eocarbonífera da Falha de Lancinha-Cubatão o fato de as rochas sedimentares do Grupo Tubarão repousarem diretamente no embasamento cristalino em Santa Catarina, sendo ausentes os sedimentos da Fm. Ponta Grossa. Esses autores admitem que, no bloco alto dessa falha (sudeste), as camadas devonianas tenham sido completamente removidas por erosão.

Estruturas que parecem ter sido formadas devido à compactação diferencial de siltitos de cor cinza ocorrem em Mafra (ponto 24), em inconfundível corte de paredes verticais na BR-116, km 03, situado próximo ao acesso para a rodovia que leva a Rio Negrinho e Florianópolis. Observaram-se marcas de onda nos arenitos e a ocorrência de falhas normais que cortam indistintamente os arenitos e os siltitos, com caimento para W. Nos pacotes superiores, de coloração marrom, predominam siltitos.

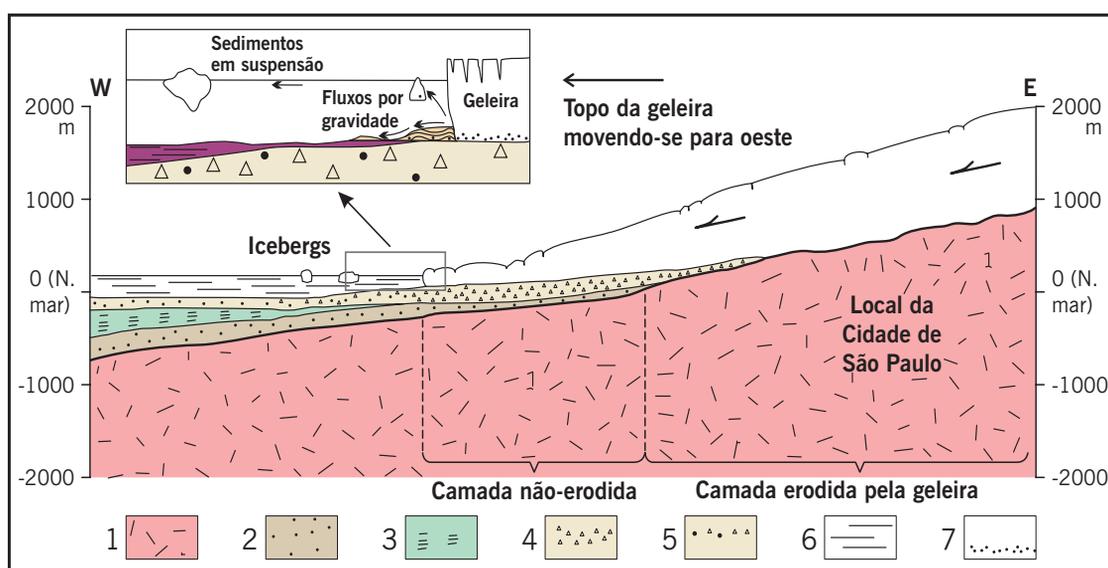


Figura 11 – Distribuição de geleiras carboníferas durante um verão hipotético (perfil baseado em Washburne 1930 e box baseado em Vesely e Assine 2004): 1 - Embasamento; 2 - Arenito Furnas; 3 - Folhelho Ponta Grossa; 4 - Arenito glacial; 5 - Till; 6 - Pelitos; 7 - Seixos contidos no gelo



Figura 12 – Visão do corte do km 141 da Rod. BR 153, sentido Ibaiti-Ventania, com dobra elástica em formato de laço, descrita por Vesely *et al.* (2005) como feição diapírica

Nos trechos da BR-116, entre as saídas que levam a Canoinhas e Itaiópolis, ocorrem arenitos muito finos intercalados com siltitos fraturados, levemente amarelados. Em virtude do adiantado estágio de decomposição das rochas, não se observam outras estruturas além do acamamento. Registre-se contudo a detalhada descrição do ponto 25 (Medeiros 1971): “intercalações de arenito muito fino-siltito e argilito em camadas centimétricas e lâminas. Ao longo de certas camadas observam-se deformações de carga bem desenvolvidas em formas de chevão”. Do mesmo modo, no ponto 26, Medeiros (1971) descreve:

“(...) afloramento do intervalo superior da Formação Itararé com intercalações de arenito muito fino e argilito em camadas centimétricas e laminações paralelas. São freqüentes as marcas onduladas simétricas e a laminação ondulada da corrente desenvolvendo localmente estruturas flaser. Alguns níveis mostram dobras convolutas que passam lateralmente a acamamento e laminação paralela. Sobre esta seqüência ocorre arenito muito fino com estratificação cruzada”.

Na Pedreira municipal Pedra Branca, em Mafra (ponto 27), cujo acesso se faz pela rodovia de Rio Negrinho, tomando-se o ramo que conduz às margens do rio Negro, ocorrem belas exposições de diamictitos de matriz siltosa, cor cinza médio, repletos de



Figura 13 – Exemplos de estruturas atectônicas na pedreira municipal Vila Rutz, em Mafra (SC): (a) charneira de dobra de plano-axial sub-horizontal, (b) pequenas falhas escalonadas distensivas, encontradas próximas às dobras

pequenos seixos de tamanhos variados e arredondados. A rocha tem sido britada para pavimentação de estradas de terra, apresentando fraturas conchoidais que refletem sua consistência quando inalterada. Os seixos dispersam-se na matriz sem qualquer orientação ou padrão.

Na base do pacote de diamictitos cinza-escuro que constitui a variedade litológica dominante da pedreira municipal inativa Mazon, em Mafra (ponto 28, Tab. 3), ocorre ritmito laminado várvido semelhante àqueles observados na cidade de Itu. As camadas, em alguns pontos, exibem atitude levemente basculada.

Em função dos dados coletados, o local mais notável de estruturas atectônicas de Mafra é a pedreira municipal inativa Vila Rutz (ponto 29), onde ocorre um diamictito de matriz siltosa, intercalado com bancos deformados de turbiditos. As camadas em alguns locais são contínuas, mas em outros pontos exibem forte deformação, revelada pelas ondulações abertas a fechadas (Fig. 13a) e pequenas falhas (Fig. 13b).

Origem das estruturas

Marques Filho *et al.* (1965) admitem que parte das dobras que descrevem na região de Rio Negro-Mafra possa ser atribuída ao gelo flutuante que teria “arrastado sedimentos inconsolidados do fundo”. A maioria das feições observadas, porém, seria de origem heterogênea, “sem relação direta com a ação mecânica das geleiras”. Ponderam que várias delas estariam relacionadas a deslizamentos subaquáticos (*slumps*), enquanto outras estariam conectadas a “certos tipos de ‘deformação por recalque’ (*load casting*)” (Marques Filho *et al.* 1965, p. 24).

Segundo Vesely *et al.* (2005), pelo menos quatro estilos deformacionais podem ser identificados em rochas do Subgrupo Itararé, com base nas assembléias de feições dominantes: (a) falhas normais e basculamento de camadas; (b) superfícies de deslizamento intraestratais e dobras; (c) sobrecarga, diapirismo e dobras e, finalmente, (d) dobras e falhas de empurrão. Esses autores analisaram a geometria, o regime das estruturas deformadas e a natureza dos depósitos associados, tendo classificado as quatro assembléias em regimes distensivos, que incluem as duas primeiras classes, e compressivos, para as duas restantes.

Estilos deformacionais distensivos são caracterizados por falhas lítricas com rejeito máximo de poucos metros e superfícies de deslizamento in-

terestratais. As superfícies de deslizamento desenvolveram-se ao longo de discontinuidades pré-existentes capeadas por argila, o que facilitou o deslocamento entre as camadas arenosas e também contribuiu para preservação de estrias de atrito em algumas superfícies. O afloramento mais significativo com relação a este tipo de estilo deformacional é o ponto 13 (Tab. 3). Não houve dificuldade de localizar os pontos indicados por Medeiros (1971) porém, depois de três décadas, os afloramentos se deterioraram, não permitindo levantar dados novos. Nesses locais, o trabalho de campo permitiu apenas identificar o tipo de material presente e suas características, não sendo possível acrescentar dados de caracterização das estruturas.

Os pontos 5, 18 e 19 representam estruturas deformacionais em regime compressivo, sendo as feições mais comuns representadas por dobras com eixos horizontais, desde abertas a isoclinais e recumbentes, com dimensões de até alguns metros. As dobras abertas envolvem camadas arenosas e associam-se a movimentos de massa. Trata-se de dobras isoclinais a fechadas, chegando mesmo a lembrar uma dobra elástica¹, como observada no ponto 18 (Fig. 10).

Almeida (1953), em seu trabalho clássico *Deformações causadas pelos gelos na Série Tubarão em São Paulo*, no qual acompanha idéias de Washburne (1930), formula hipótese para a origem das dobras plásticas no Subgrupo Itararé:

“(...) desde seus primeiros cortes já se fazem notar camadas alternadas de arenitos, folhelhos, siltitos e varvitos pronunciadamente perturbadas. (...) Constituem um sistema de deformações plásticas, com predomínio de sucessão de sinclinais e anticlinais assimétricos, revirados ou localmente recumbentes, numa associação desarmônica. (...) A natureza das deformações, sua intercalação em camadas não dobradas e a presença da cobertura de tilito, provam que elas foram causadas pelas pressões transmitidas quando do avanço de grande massa de gelo sobre depósitos lacustres.” (Almeida 1953).

Soares *et al.* (1977) apresentam esboço paleogeográfico para a região de São Paulo (Fig. 14). Além de situar a área no Estado, incluímos dados de ocorrências como a de Jundiaí, onde Neves (1999) descreve pequenas dobras convolutas.

¹ **Dobra elástica** é um tipo de dobra contorcida cujo ângulo de fechamento é superior a 180°.

Discussão

Interpretação do afloramento da rodovia D. Pedro I

Não há tilitos no corte preservado da Rod. D. Pedro I e apenas um pacote de camadas do Subgrupo Itararé apresenta dobramento; acima e abaixo desta, as camadas estão indeformadas e o pacote apresenta inclinação suave para NNW. Carneiro e Costa (2006) atribuem a deslizamento subaçuoso a origem das estruturas, que teriam sido formadas sob regime distensivo envolvendo superfícies de deslizamento intraestratais e conseqüente formação do dobramento, de acordo com a classificação de Vesely *et al.* (2005). Nessa época, o local localizava-se na borda da Bacia, fator necessário, embora não suficiente, para que o avanço das massas de gelo, atuante sobre pilha relativamente espessa de sedimentos inconsolidados, superasse a resistência de atrito em determinadas camadas e provocasse deslizamentos.

Dobras em pacotes espessos de até 1 m já depositados e “que sofrem escorregamento, sem haver regeneração de sedimentos” (Soares *et al.* 1977) constituem deformações posteriores, porém contemporâneas à sedimentação, que indicam “deposição subaçuática em uma superfície de deposição com forte declive”. Para Gama Jr. *et al.* (1992a), a hipótese do deslizamento subaçuoso é mais plausível onde não se observam camadas de diamictito e as formas possuem tamanho relativamente pequeno. No Subgrupo Itararé os deslizamentos subaçuosos seriam fácies de ressedimentação derivadas de processos gravitacionais sob condições abertas e não-confinadas:

“(…) um dos aspectos notáveis das fácies do trato não-confinado é a abundância de convoluções e deformações (…) estas deformações são atribuídas a deslizamentos em condições não-confinadas de depósitos ainda não completamente consolidados. Nos depósitos com

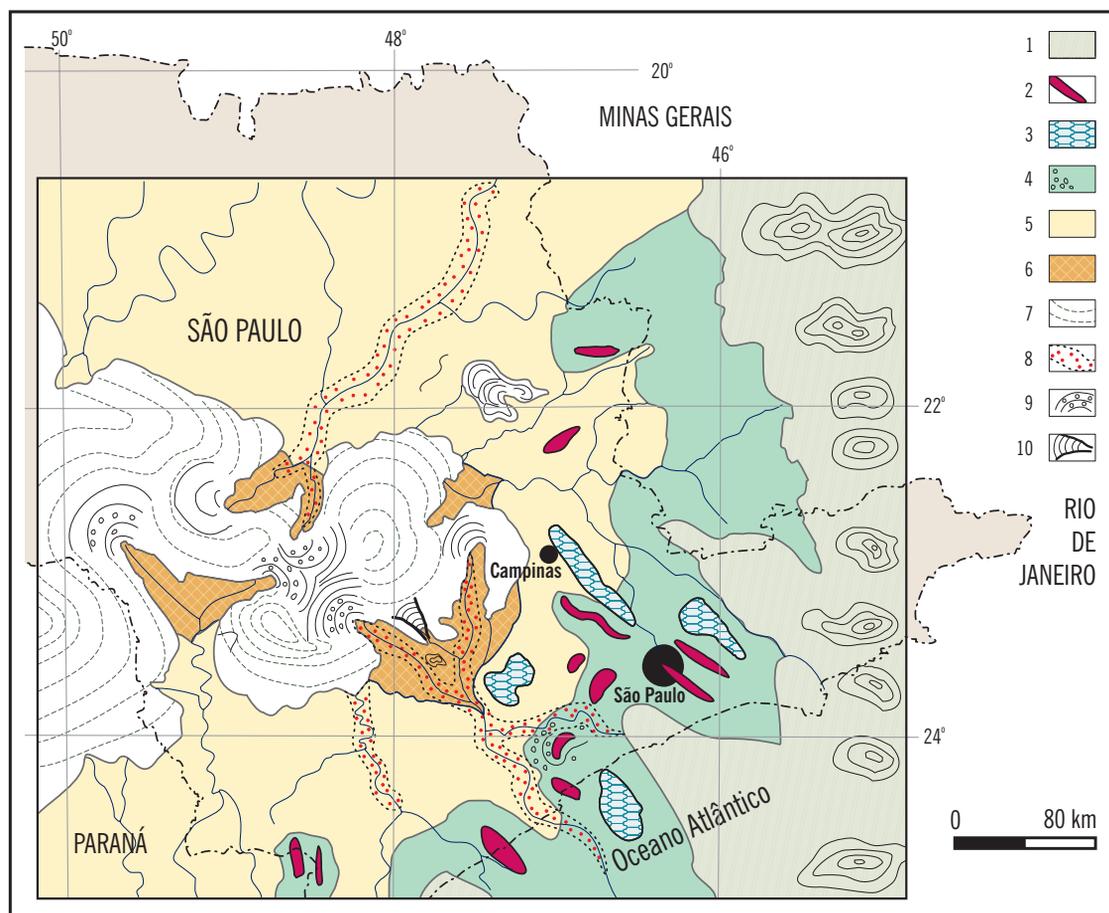


Figura 14 – Esboço paleogeográfico na região centro-leste de São Paulo (modificado de Soares *et al.* 1977):

1. geleiras; 2. drumlins, eskers; 3. lagos: periglaciais, de planícies aluviais e de planícies deltaicas;
4. outwash; 5. planície aluvial; 6. planície deltaica; 7. plataforma deltaica; 8. canais fluviais com areia e cascalho; 9. escorregamentos em frentes deltaicas; 10. fluxos de areia

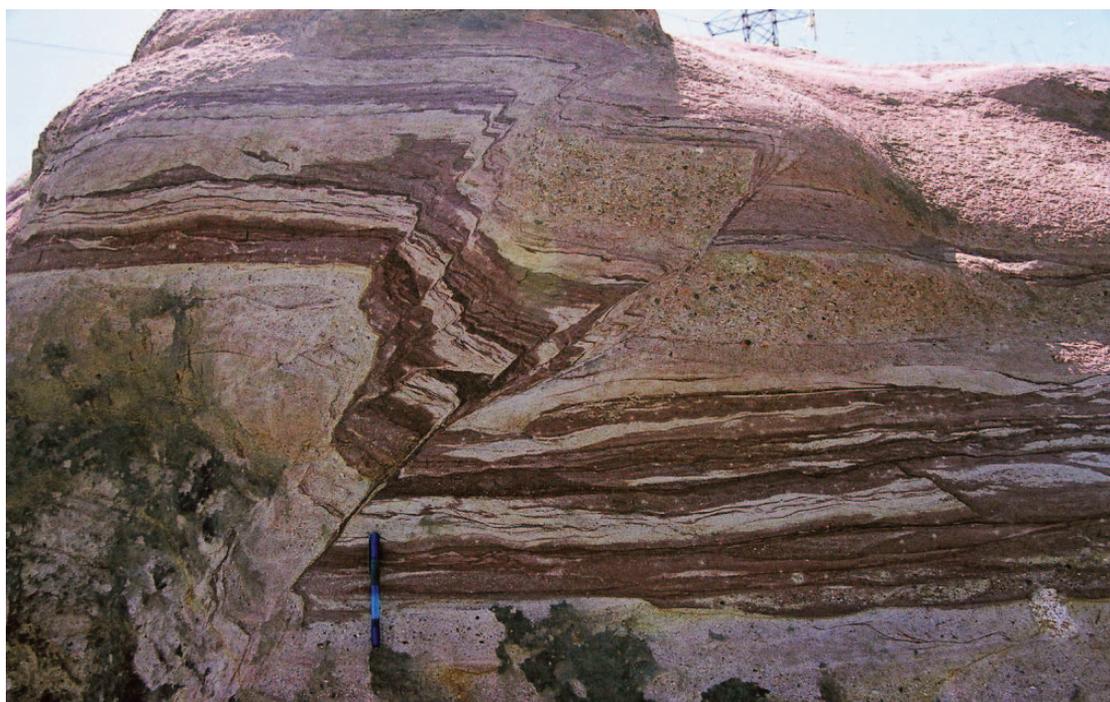


Figura 15 – Falhas inversas em arenitos (tons claros na foto), laminitos (tons escuros) e conglomerados (aspecto pontilhado), bairro DICs, leste de Campinas

deslizamentos foi possível reconhecer as feições sindeposicionais. Estes deslizamentos representam, em última análise, uma ressedimentação local de fácies de ressedimentação, posto que processos gravitacionais são reconhecidos em ambas as fases.” (Gama Jr. et al. 1992a).

O avanço de massas de gelo deve ter originado feições que afetam grandes volumes de rocha, como os diamictitos siltosos e bancos deformados de turbiditos da pedreira Vila Rutz, em Mafra (ponto 28) e dos cortes em Pilar do Sul (Fig. 9), descritos por Stein (1984). Em Campinas, as grandes ondulações no trevo da Rod. D. Pedro I, cujos comprimentos de onda excedem 20 m, podem ser explicadas por movimentação do gelo. A área é adjacente à zona de *outwash* de grandes massas de gelo, conforme esboço paleogeográfico da região (Fig. 14). Embora as exposições tenham sido mais tarde destruídas pela continuidade da escavação, em outros pontos ainda é possível visualizar feições associáveis a grandes deslocamentos de rocha, como as falhas inversas (Fig. 15) identificadas em pacote de arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados no bairro dos DICs, leste de Campinas. Ali, além do sistema de falhas, possivelmente ligadas a retrocavamento, há evidências de retrabalhamento do material sedimentar durante a deposição.

Conclusões

A Bacia do Paraná possui numerosas ocorrências de estruturas atectônicas, sobretudo na borda oriental, onde afloram rochas do Subgrupo Itararé. A compreensão da origem dessas feições requer análises detalhadas e correlação entre feições similares observadas em diferentes pontos. Feições particulares como dobras convolutas e dobras abertas encontradas em cortes do trevo de acesso da Rod. D. Pedro I à rodovia Campinas / Moji-Mirim / Moji-Guaçu, em Campinas (SP), foram descritas nessa nota, tendo em vista preservar os registros por meio de descrições e fotografias. O processo de revegetação artificial dos taludes e as condições efetivas de intemperismo prejudicam hoje a visualização das estruturas. Por outro lado, alguns locais não podem mais ser visitados, e registros importantes foram apagados pelas escavações de 2000-2002 (Fig. 3).

Dentre as hipóteses de formação das estruturas, há duas principais, na literatura regional: deformações causadas por movimentação do gelo ou por deslizamento subaquático. Propomos que ambas sejam aplicáveis a dois pontos distintos do local descrito nesta nota. Feições relacionadas a grandes volumes de rocha deformadas do Subgrupo Itararé devem ter sido formadas devido a avanço das massas de gelo, mecanismo que explica as estruturas

compressivas encontradas em cortes de arenitos, diamictitos e siltitos no trevo estudado (Fig. 3) e outros locais citados neste artigo. As feições referidas em detalhe nas representações de dobras convolutas (Figs. 4 e 5) devem-se à incidência local de deslizamentos subaquiosos causados por processos gravitacionais sob condições abertas e não-confinadas. Esse mecanismo explica a bela sucessão de dobras fechadas a isoclinais (Fig. 1), portadoras de planos axiais empinados e notavelmente encurvados.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do FAEP/Unicamp, cujos recursos possibilitaram a realização de viagem de campo, e do Programa PIBIC-CNPq, mantido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, que concedeu bolsa de iniciação científica, essencial para o amadurecimento acadêmico do aluno de graduação em Geologia Felipe Garcia Domingues da Costa. Agradecem ao prof. dr. Mario L. Assine, do IGCE-UNESP, que forneceram a exata localização de sete afloramentos que embasaram seu trabalho publicado no Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos (2005), relatando estruturas semelhantes ao longo da Bacia do Paraná, e a gentil colaboração de Luiz Claudio Rodrigues, Secretário de Obras e Luiz Carlos Weinschütz, geólogo da Prefeitura de Mafra (SC), que acompanharam os autores durante visita a três pedreiras ativas e inativas da prefeitura que apresentam afloramentos com estruturas semelhantes. Agradecem a dois revisores da revista *Terræ Didática*, cujas sugestões ajudaram a melhorar o texto.

Referências bibliográficas

- Almeida F.F.M.de. 1945. Depósitos de origem glacial no território de Ponta Porã. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **17**(1):1-12.
- Almeida F.F.M.de 1948. A “roche moutonnée” de Salto, Estado de São Paulo. São Paulo, Esc. Politécnica/USP, *Geologia e Metalurgia*, (5):112-118.
- Almeida F.F.M.de 1953. *Deformações causadas pelos gelos na Série Tubarão em S. Paulo*. Rio de Janeiro, DNPM-DGM. 5 p. (Notas Prel. e Estudos 64).
- Almeida F.F.M.de, Barbosa O. 1953. *Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de S. Paulo*. Rio de Janeiro, DNPM-DGM. 96 p. (Bol. 143).
- Almeida F.F.M.de, Carneiro C.D.R. 1995. Geleiras no Brasil e os parques naturais de Salto e Itu. *Ciência Hoje*, **19**(112):24-31.
- Almeida F.F.M.de, Carneiro C.D.R. 2004. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: V. Mantesso Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B.de Brito-Neves (orgs.). 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Ed. Beca. p. 43-60. (Cap. 3).
- Assine M.L., Fúlfaro V.J., Perinotto J.A.J., Petri S. 1998. Progradação deltaica Tibagi no devoniano médio da Bacia do Paraná. *Rev. Bras. Geoc.*, **28**(2):125-134.
- Barbosa O., Almeida F.F.M.de. 1949. Nota sobre a estratigrafia da Série Tubarão em São Paulo. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **21**(1):65-68.
- Caetano-Chang M.R., Oliveira J.P.de, Brighetti J.M.P. 1990. Pavimento estriado em rochas do Subgrupo Itararé ao longo do rio piritubinha, sul do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, **20**(1-4):333-335.
- Canuto J.R., Santos P.R., Rocha-Campos A.C. 2001. Estratigrafia de seqüências do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico) no leste da Bacia do Paraná, nas regiões sul do Paraná e norte de Santa Catarina, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, **31**(1):107-116.
- Carneiro C.D.R. Costa F.G.D.da. 2006. Novas estruturas atectônicas do Subgrupo Itararé em Campinas (SP) In: CONGRESSO Brasileiro de Geologia, 43, Aracaju, 2006. *Anais...* Aracaju, SBG. p. 36. (S07:AO-107)
- Costa F.G.D.da, Carneiro C.D.R. 2006. *Integração de dados de estruturas atectônicas do Subgrupo Itararé nas adjacências de Campinas (SP)*. Campinas: Instituto de Geociências, Unicamp. 13p. (Bolsa Inic. Cient., Rel. Final, PIBIC-CNPq).
- Derby O.A. 1878. *Geologia da região diamantífera da Província do Paraná no Brasil*. Arch. Mus. Nac., Rio de Janeiro, **3**:89-96.
- Fulfaro V.J., Suguio K., Landim P.M.B., Bósio N.J. 1971. Bacia do Paraná. In: CONGRESSO Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo, 1971. *Roteiro das Excursões...* São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia. p. 29-48. (Exc. nº3).
- Gama Jr., E.G., Perinotto J.A.J., Ribeiro H.J.P.S., Padula E.K. 1992a. Contribuição ao estudo da ressedimentação no Subgrupo Itararé: tratos de fácies e hidrodinâmica deposicional. *Rev. Bras. Geoc.*, **22**(2):228-236.
- Gama Jr., E.G., Perinotto J.A.J., Ribeiro H.J.P.S., Padula E.K. 1992b. Contribuição ao estudo da ressedimentação no Subgrupo Itararé: um guia temático de campo. *Rev. Bras. Geoc.*, **22**(2):237-247.
- Hobbs B.E., Means W.D., Williams P.F. 1976. *An outline of structural geology*. New York: John Wiley. 571p.

- Loczy L.de, Ladeira E.A. 1976. *Geologia Estrutural e introdução à Geotectônica*. São Paulo: Blücher, Rio de Janeiro: CNPq. 528p.
- Marques Fº P.L., Salamuni R., Sobanski A. 1965. *Contribuição à Geologia da Área Rio Negro-Mafra (Estados do Paraná e Santa Catarina – um resumo)* In: CONGRESSO Brasileiro de Geologia, 19, Curitiba, 1965. Instituto de Geologia da Universidade do Paraná, 25p.
- Medeiros, R. A. 1971. Bacia do Paraná. Simpósio Geologia do Petróleo no Brasil. In: CONGRESSO Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo, 1971. *Roteiro das Excursões...* São Paulo, SBG. p. 15-25. (Exc. 2).
- Mendes J.C. 1962. Problemas paleogeográficos e estratigráficos do Grupo Tubarão; Carbonífero Superior. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, **11**(2):71-74.
- Mezzalira S. 1969. Geologia de Subsuperfície em Itu, SP - ocorrência de "Rocha Moutonnée" nos testemunhos de sondagem. *An. Acad. Brasil. Ciênc.* **41**(1):83-89.
- Mezzalira S., Azevedo A.A.B., Tominaga L.K., Pressinotti M.M.N., Massoli M. orgs. 1981. *Léxico estratigráfico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto Geológico. 161p. (Boletim 5).
- Neves M.A. 1999. *Evolução cenozóica da região de Jundiá (SP)*. Rio Claro, IGCE-UNESP. 141p. (Dissert. Mestr. URL: <<http://www.biblioteca.unesp.br/bibliotecadigital/document/?did=2605>>. Acesso 08.03.2007).
- Oliveira E.P.de. 1929. Ocorrências de folhelhos várvidos no sul do Brasil. Rio de Janeiro, *Annaes da Academia Brasileira de Ciências*, **1**(3):142-144.
- Pacheco J. 1927. *Relatório elucidativo do esboço geológico da região compreendida entre o meridiano 4.º, rio Itararé e os paralelos 23º 34' e 24º 38'*. In: Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, Exploração da região compreendida pelas folhas topográficas Sorocaba... São Paulo, p. 9-12.
- Popp J.H. 1987. *Introdução ao estudo de estratigrafia e da interpretação de ambientes de sedimentação*. Curitiba: Scientia et Labor. 323p.
- Ramsay J.G. 1967. *Folding and fracturing of rocks*. New York, McGraw-Hill, 567p.
- Ramsay J.C., Huber M.I. 1987. *The techniques of modern structural geology*. V. 2: Folds and Fractures. London: Academic Press, p. 308-700.
- Rocha-Campos, A.C. 2002a. Varvito de Itu, SP. Registro clássico de glaciação neopaleozóica. In: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, E.T.de Queiroz, M. Winge, M.L.C. Berbert-Born (eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)/Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). 2002. p. 147-154.
- Rocha-Campos, A.C. 2002b. Rocha moutonnée de Salto, SP. Típico registro de abrasão glacial do Neopaleozóico. In: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, E.T.de Queiroz, M. Winge, M.L.C. Berbert-Born (eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)/Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). 2002. p. 155-160.
- Rocha-Campos A.C., Farjallat J.E.S., Yoshida R. 1969. Fácies e Paleogeografia do Subgrupo Itararé na Bacia do Paraná. *An. Acad. brasil. Ciênc.* **41**(2):211-213.
- Schneider R.L., Mühlmann H., Tommasi E., Medeiros R.A., Daemon R.F., Nogueira A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 28, Porto Alegre, 1974. *Anais...*, Porto Alegre, v. 1, p. 41-65.
- Soares P.C., Landim P.M.B., Sinelli O., Wernick E., Wu F.T., Fiori A.P. 1977. Associações Litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. *Rev. Bras. Geoc.*, **7**(2):131-149.
- Stein D.P. 1984. *Esboço da evolução geológica pré-cambriana da folha Pilar do Sul, SP*. SF.23-Y-C-IV-4. São Paulo: Instituto de Geociências, USP. 159p. (Dissert. Mestrado, inédita).
- Trosdorf Jr. I., Assine M.L., Rocha-Campos A.C., Santos P.R.dos, Tomio A. 2005. Glacially striated, soft sediment surfaces on late Paleozoic tilitate at São Luiz do Purunã, PR. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **77**(2):367-378.
- Twiss R.J., Moores E.M. 1992. *Structural Geology*. W.H. Freeman & Co. 532p.
- Vesely F.F., Assine M.L. 2004. Sequências e tratos de sistemas deposicionais do Grupo Itararé, norte do Estado do Paraná. *Rev. Bras. Geoc.*, **34**(2):219-230.
- Vesely F.F., Assine M.L., Rostirolla S.P. 2005. Deformação penecontemporânea no Grupo Itararé, Bacia do Paraná: estilos estruturais, dinâmica sedimentar e implicações paleogeográficas. In: SIMPÓSIO Nacional de Estudos Tectônicos, 10, Curitiba, 2005. *Anais...*. Curitiba: SBG núcleo PR. (CD-ROM).
- Washburne C. W. 1930. *Petroleum geology of the state of São Paulo*. Com. Geogr. Geol. São Paulo, Brasil. p. 1-282. (Bol. 22).

Submetido em 12 de junho de 2006.

Aceito em 8 de novembro de 2006.