

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS DO GRUPO ITARARÉ
(NEOCARBONIFERO-EOPERMIANO) NA REGIÃO DE RIO
NEGRO (PR) – MAFRA (SC)**

Luiz Carlos Weinschütz

Orientador: Prof. Dr. Joel Carneiro de Castro

Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências - Área de Concentração em Geologia Regional, como parte dos subsídios necessários para a obtenção do Título de Doutor em Geociências.

Rio Claro (SP)

2006

Comissão Examinadora

Dr. Joel Carneiro de Castro (Orientador)
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Dra. Maria Rita Caetano Chang
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Dr. Antônio Roberto Saad
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Dr. Paulo Roberto dos Santos
IG/USP/São Paulo (SP)

Dr. Oscar Rösler
IG/USP/São Paulo (SP)

Luiz Carlos Weinschütz
Aluno

Rio Claro, 30 de Novembro de 2006

Resultado: APROVADO

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a minha mãe Zinilda Weinschütz (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

- Em especial para minha mãe Zinilda que nos deixou no decorrer deste trabalho, mas que sempre incentivou e colaborou na realização do mesmo, bem como foi para mim um exemplo de dignidade.
- Para minha esposa Luciana e meu filho Daniel, que compreenderam os meus dias ausentes.
- Para minha irmã Regina e outros familiares, que cobriam a minha falta nos dias ausentes.
- Para o Prof. Dr. Oscar Rösler, que desde o mestrado me incentivou neste trabalho.
- Para o meu amigo e orientador, professor Dr. Joel Carneiro de Castro, que foi um verdadeiro companheiro na realização deste doutorado, e que com certeza será companheiro em futuros projetos.
- Agradecimento para a ANP/PRH-05, pelo uso de suas instalações na UNESP – Rio Claro.
- Agradecimento especial ao CNPq, pelo essencial apoio financeiro na realização deste doutorado.
- Agradecimento especial à empresa **GEOSOL**, De Belo Horizonte/MG, que através da **Fundação Victor Dequech**, enriqueceu esta tese com a perfuração de seis poços testemunhados de novas pesquisas.
- Em especial ao meu amigo, o sr. **Victor Dequech**, pelo seu exemplo de vida, e incentivador de novas pesquisas.
- A todos os colegas e professores da UNESP, que de alguma forma colaboraram com o desenvolvimento desta tese.

SUMÁRIO

Índice.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
I. Apresentação.....	01
II. Introdução.....	01
III. Sequências Depositionais do Grupo Itararé.....	04
IV. Síntese e Conclusões.....	61
V. Referências Bibliográficas.....	73

INDICE

	APRESENTAÇÃO	
I.	INTRODUÇÃO.....	01
II.	SEQÜÊNCIAS DEPOSICIONAIS DO GRUPO ITARARÉ	04
	Seqüência Campo do Tenente- CT.....	04
	Seqüência Campo Mourão- CM-I (sistema inferior).....	08
	Seqüência Campo Mourão- CM-I (sist.sup.- REM-6p.).....	13
	Seqüência Campo Mourão- CM-II (GEOC.-..11p.).....	19
	Seqüência Taciba- TC-I e TC-II (RBG-no prelo, 16p.).....	30
	Seqüência Taciba- TC-II e Triunfo inf. (BGP, 16p.).....	45
III.	SÍNTESE E CONCLUSÕES.....	61
	Fácies e Associações Faciológicas.....	61
	As propostas litocronoestratigráficas.....	62
	Sistemas Depositionais	65
	A Evolução das Seqüências Depositionais.....	68
	Conclusões.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

RESUMO

O Grupo Itararé consiste de três grandes ciclos de afinamento ascendente, aos quais foi dado o *status* de Formação, nomeadas Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba. Essa é uma das bases para estabelecer a Estratigrafia de Sequências do grupo; a outra é fornecida pelos ciclos climáticos do Quaternário, com os estágios glacial, deglacial e interglacial. A área de Rio Negro-Mafra apresenta uma excelente testemunhagem de poços que, junto a bons afloramentos, possibilita a construção de extensos perfis verticais de fácies; as fácies e ciclos de fácies formam a base para os Sistemas Depositionais, cuja disposição espacial proporciona a construção das Sequências. Cinco sistemas são identificados, Arenito, Diamictito, Folhelho, Varvito-Diamictito e Deglaciação, este formado por conglomerado, arenito, diamictito, varvito e folhelho. A estrutura de um Sistema de Deglaciação é a mesma do grande ciclo proposto para a estratigrafia do Grupo Itararé, exceto a mudança do "varvito" acima para "ritmito" da proposta litocronoestratigráfica. Foram identificadas cinco sequências no Grupo Itararé. A sequência Campo do Tenente, formada por dois espessos sistemas de varvito-diamictito, representando sistema glacial continental correspondente a trato de mar alto. As sequências Campo Mourão-I e -II, iniciam com espessos sistemas Arenito de trato de mar baixo, seguindo-se sistemas Varvito-Diamictito (só para CM-I), de Deglaciação (trato transgressivo) e Folhelho marinho de mar alto (Siltito Mafra em CM-I, Folhelho Lontras em CM-II). As sequências Taciba-I e -II são mais complexas. TC-I começa com sistema Diamictito espesso, glacial marinho associado a mar alto?, seguido de sistema de Deglaciação. TC-II tem sistema Arenito canalizado de mar baixo, seguido de sistema de Deglaciação transgressiva e sistema Folhelho de mar alto.

Palavras-chave: Sistema Depositional, Tratos de Sistema, Sistema de Deglaciação, Sistema Glacial continental, Sistema Glacial marinho.

ABSTRACT

The Itararé Group consists of three major fining-upward cycles, also considered as Formations: Lagoa Azul, Campo Mourão and Taciba. This is one of basis to establish the Sequence Stratigraphy for the group; the other one comes from the Quaternary model, where one can recognize three stages of a climatic cycle: glacial, deglacial, interglacial. The Rio Negro-Mafra area presents excellent cored wells and outcrops which allow to build extensive vertical facies logs; facies and facies cycle are the basis for Depositional Systems, whose spatial distribution allows to build Depositional Sequences. Five Systems are identified: Sandstone, Diamictite, Shale, Varvite-Diamictite and Deglaciation. The latter is formed by conglomerate, sandstone, diamictite, varvite and shale. The structure of the Deglaciation System is the same of one major cycle/Formation of Itararé Group, except for the “varvite” component, or “rhythmite” in the major cycle. Five sequences are recognized. The Campo do Tenente sequence is formed by two thick varvite-diamictite systems, from a glacialcontinental system attributed to a highstand tract (the Campo do Tenente is a marginal equivalent of the marine Lagoa Azul/Roncador Bed). The Campo Mourão sequences (CM-I and CM-II) begin with thick Sandstone systems from a lowstand tract; it follows Varvite-Diamictite (only for CM-I), Deglaciation and marine Shale systems, respectively from transgressive and highstand tracts (the CM-2 marine system is the thick Lontras Shale). Taciba Formation sequences TB-I and TB-II are more complex. TB-I starts with a thick, glaciomarine Diamictite system (highstand tract?), and is followed by Deglaciation system. TB-II starts with a channelized, lowstand Sandstone system, estuarine, deltaic and turbidite in origin; it follows the Deglaciation and marine Shale systems, from transgressive and highstand tracts.

Key-Words: Depositional System, Systems Tract, Deglaciation System, Glacialcontinental System, Glaciomarine System.

APRESENTAÇÃO

Esta tese de Doutorado, na forma de artigos, está estruturada em três partes. Capítulo I, INTRODUÇÃO, uma apresentação sobre o tema da tese, os motivos que a nortearam, seus objetivos, o que já fora feito antes sobre o tema, a base de dados e os métodos utilizados.

O Capítulo II, SEQUÊNCIAS DEPOSICIONAIS DO GRUPO ITARARÉ, consta da caracterização das cinco seqüências identificadas no Grupo Itararé, e das três seqüências pós-glaciais, de alta freqüência, da Formação Rio Bonito/Membro Triunfo “inferior”. Inicialmente é apresentado texto sobre as seqüências iniciais do Grupo Itararé, a seqüência Campo do Tenente (CT) e o sistema arenoso que constitui o trato inferior da seqüência Campo Mourão CM-I. Seguem-se quatro artigos, dos quais três já publicados, versando sobre o sistema lamítico-argiloso do trato superior da seqüência Campo Mourão CM-I (Revista Escola de Minas, v. 57/3, 2004), e sobre as seqüências CM-II (Geociências, v. 24/2), Taciba TC-I e TC-II (Revista Brasileira de Geociências, no prelo), e Taciba TC-II e Transição Taciba-Triunfo S3 a S5 (Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 13/1).

No Capítulo III são apresentadas a SÍNTESE e CONCLUSÕES desta Tese de Doutorado.

I. INTRODUÇÃO

O Projeto de Doutorado foi motivado por dois fatos importantes.

(1) Ao término do Mestrado os resultados obtidos apontavam caminhos a serem seguidos na futura pesquisa, ao recomendar o uso de uma cronoestratigrafia mais refinada, a Estratigrafia de Seqüências. Weinschütz (2001) havia identificado seis subdivisões, sendo três em cada uma das formações Mafra e Rio do Sul (Schneider et al. 1974); tais subdivisões foram grupadas em três pares litofaciológicos. Por exemplo, o par Mafra inferior (arenito) – Mafra médio (lamito-varvito-folhelho) foi comparado a um ciclo regressivo-transgressivo R-T, ou seja, um par cronoestratigráfico. Por outro lado, a identificação de Ciclos Depositionais no Grupo Itararé levou à proposta “litocronoestratigráfica” de França & Potter (1988), baseada em subsuperfície; os autores propuseram três grandes ciclos de granodecrescência ascendente para o Grupo, os quais foram nomeados como formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba. A Figura I.1 mostra o quadro estratigráfico de França & Potter, notando-se que o Membro Rio Segredo foi excluído do Ciclo/Formação Taciba,

com o tempo envolvido na sedimentação do Grupo Itararé, Neocarbonífero a Eopermiano (aproximadamente 60 milhões de anos).

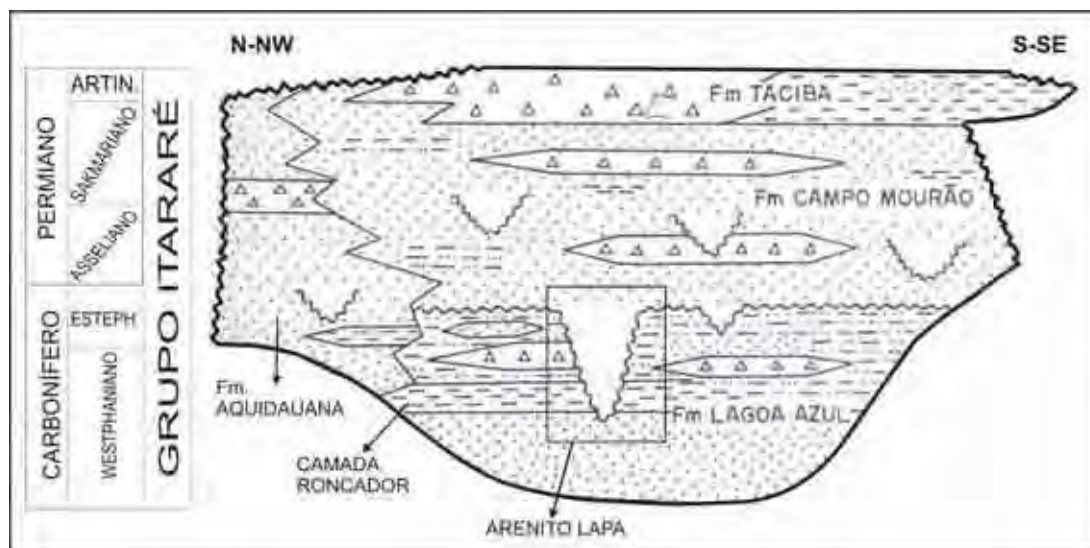


Figura 1.1. Carta estratigráfica do Grupo Itararé (França et al.1996; modificada de França & Potter, 1988).

Há uma diferença entre as duas propostas quanto ao posicionamento do Folhelho Lontras, um marco regional na parte inferior da Formação Rio do Sul (Schneider et al., *op. cit.*), ou na parte superior da Formação Campo Mourão (França & Potter, *op. cit.*).

A tabela 1 mostra a equivalência entre as duas propostas, e com os pares litocronoestratigráficos identificados por Weinschütz (2001) e as quatro seqüências inicialmente formuladas por Weinschütz & Castro (2004).

Schneider et al. (1974)	França & Potter (1988)	Weinschütz (2001)	Weinschütz & Castro (2004)
Fm. Rio do Sul (RS)	Ciclo/Fm Taciba	Sup. (s): siltito e folhelho Med. (m): diamictito, arenito e siltito	Seqüência Rio do Sul s/m
	Ciclo/Fm Campo Mourão	Inf. (i): folhelho "Lontras" Sup. (s): arenito e diamictito	Seqüência Rio do Sul l/Matras
Fm. Matras (M)		Med. (m): Varvito, diamictito e arenito Inf. (i): arenito e diamictito	
Fm. Campo do Tenente (CT)	Ciclo/Fm Lagoa Azul	Folhelho, varvito, diamictito marrom-avermelhado	Seqüência Campo do Tenente

Tabela 1. Correlação entre as Cartas Estratigráficas do Grupo Itararé, os intervalos propostos por Weinschütz (2001) e as seqüências de Weinschütz & Castro (2004).

(2) O novo Projeto de Doutorado ganhou uma considerável base de dados com a perfuração de seis poços com testemunhagem contínua, doados pela Fundação Victor

Dequech (Geosol). Os poços foram locados junto a grandes afloramentos, como pedreiras, o que favoreceu o conhecimento de extensos perfis estratigráficos das formações Mafra e Rio do Sul.

Assim, esses dois fatores foram fundamentais para alcançar o objetivo principal da Tese, qual seja o de estabelecer um arcabouço litocronoestratigráfico de seqüências deposicionais para o Grupo Itararé na margem sul-paranaense e norte-catarinense.

Ao reconhecimento de Ciclos Depositionais para o Grupo Itararé (França & Potter, 1988), somam-se outros dois trabalhos que enriqueceram o conhecimento prévio do tema, e que serão discutidos no capítulo III. Castro (1995) propôs alternativamente Ciclos ou Seqüências Depositionais para o arcabouço estratigráfico da Formação Taciba em Santa Catarina, enquanto França et al. (1996) identificaram a Formação Campo do Tenente como uma extensão, no sul do Paraná, de sua Formação Lagoa Azul/Camada Roncador.

A base de dados da presente tese são seis poços testemunhados, VR-1, SL-2, RB-3, TC-4, BR-5 e PM-6 (números indicam a ordem de perfuração). Também são usados quatro poços testemunhados/perfilados do DNPM/CPRM, PP-9 a PP-12, e cinco poços profundos da Petrobrás no interior da bacia, 2-CNST-1-SC, 1-CN-2-SC, 1-RC-1-PR, 2-UVST-1-PR e 2-PUST-1-SC (Figura I-2).

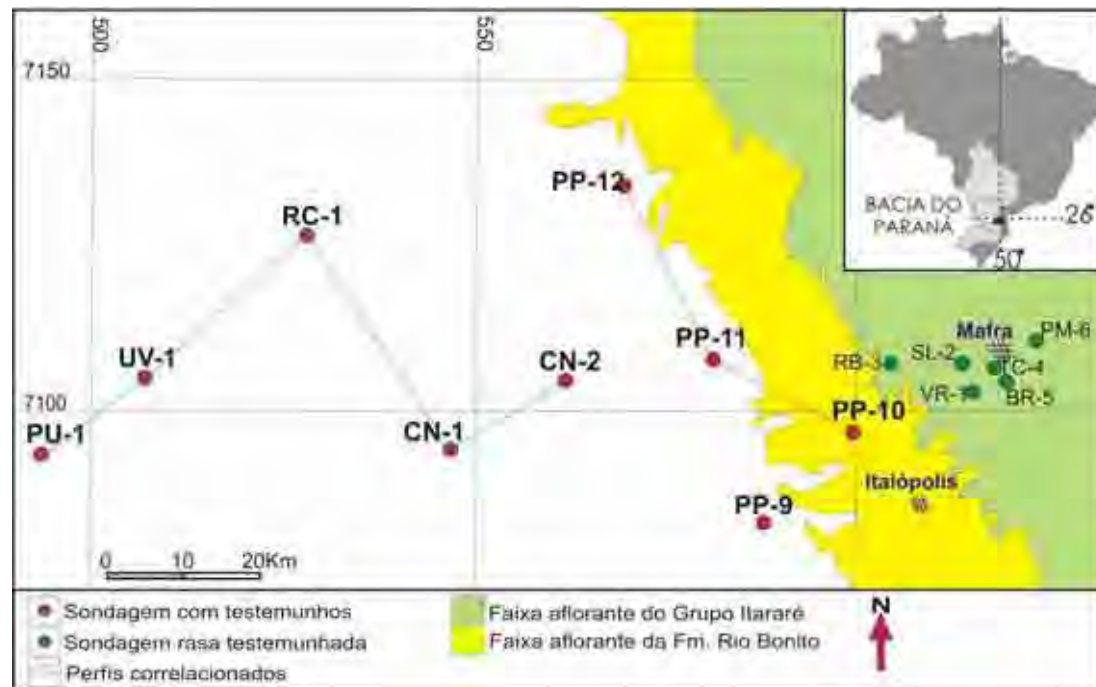


Figura I.2. Mapa de localização da área e dos poços estudados.

O método da Estratigrafia de Seqüências foi desenvolvido em bacias divergentes/margem passiva, com um Trato de Sistemas de Mar Baixo desenvolvendo em margem de plataforma, talude e bacia profunda. Isso impõe a necessidade de adaptar o método para aplicação a bacias intracratônicas, no caso a Bacia do Paraná. Outro ponto a considerar é a natureza da unidade de estudo, depositada em um contexto glacial, o que acrescenta uma nova dificuldade à formulação da Estratigrafia de Seqüências. Entretanto, há dois pontos favoráveis na presente pesquisa: em primeiro lugar, o fato de que as duas cartas existentes são litocronoestratigráficas, e em segundo, há os análogos de sedimentação glacial no Quaternário. Neste sentido, a identificação das três fases evolutivas de um ciclo do Quaternário (glacial, deglacial e interglacial), proporciona bases cronoestratigráficas sólidas para o desenvolvimento do Projeto em curso.

Assim, as cinco seqüências identificadas no Grupo Itararé, CT, CM-I, CM-II, TC-I e TC-II, e as três seqüências de alta freqüência da Formação Rio Bonito/Membro Triunfo “inferior (ou “Transição Taciba-Triunfo”), S3, S4, e S5, compõem o Capítulo II a seguir.

II. AS SEQÜÊNCIAS DEPOSICIONAIS DO GRUPO ITARARÉ

A SEQÜÊNCIA CAMPO DO TENENTE (CT)

Os dados obtidos por Weinschütz (1991) são aqui reproduzidos, seguindo a ótica cronoestratigráfica de seqüências deposicionais. Os dados de superfície provêm da faixa aflorante a ENE de Rio Negro (Sudeste de Campo do Tenente, PR), de perfil levantado na BR-116 (Medeiros, 1971), e de pedreira à direita da rodovia Campo do Tenente-Lapa (pouco antes do Rio da Várzea). A área também conta com a sondagem rasa PI-6, próxima a Campo do Tenente, executada em projeto da Petrobrás (Gonçalves & Tommasi, 1974). Em todos os casos, a Formação Campo do Tenente consiste de espessos intervalos de diamictito e varvito, com colorações cinza e marrom-avermelhado.

A espessura da Seqüência/Formação Campo do Tenente é de 155m no poço PI-6 (considerando que os 20m basais do poço representam arenitos da Formação Furnas, Devoniano) e de 165m no perfil da BR-116.

Associações de Fácies

Duas associações de fácies são identificadas na Formação Campo do Tenente, Diamictito e Varvito. Os diamictitos são maciços e formam corpos espessos, entre 30 e 60m, de geometria tabular. Quando o diamictito é recoberto por varvito, nota-se a natureza

irregular da superfície de contato, com o último em *onlap* contra aquela superfície (Figura II.1-A). Os varvitos têm espessuras variando entre 10 e 40m; apresentam raras intercalações decimétricas tabulares de diamictito e siltito maciço, com geometria tabular e grandes clastos caídos (Figura II.1-B,-C,-D). Tais associações correspondem a sistemas deposicionais depositados em contexto continental, desde varvitos gláciolacustres até diamictitos de chuvas de detritos.

As associações podem ser grupadas em dois ciclos de granocrescência ascendente, com os varvitos sobrepostos por diamictitos. A Formação Campo do Tenente foi correlacionada à “Camada Roncador” da porção superior da Formação Lagoa Azul, onde esta unidade mostra espessuras e perfis nos poços CS-1-PR e RO-1-PR (França et al. 1996), comparáveis aos da Formação Campo do Tenente. A figura II.2 mostra a correlação entre os perfis do poço PI-6 e da faixa aflorante.



Figura II.1. Formação Campo do Tenente.

A. Varvito com seixos caídos recobrendo diamictito, em contato abrupto; notar *onlap* basal do varvito contra a superfície de contato, da direita à esquerda. Pedreira próxima ao rio da Várzea; rodovia Campo do Tenente - Lapa.

B. Base da Formação Campo do Tenente no ponto 22, com 17m de folhelho várvido/varvito com clastos caídos e raras intercalações tabulares de siltito (S) e diamictito (D).

C. Detalhe dos corpos tabulares de siltito (s) e diamictito.

D. Estrato de diamictito tabular intercalado em varvitos; notar laminação decorrente da concentração de clastos. (Pedreira do ponto 22; Weinschütz, 2001).

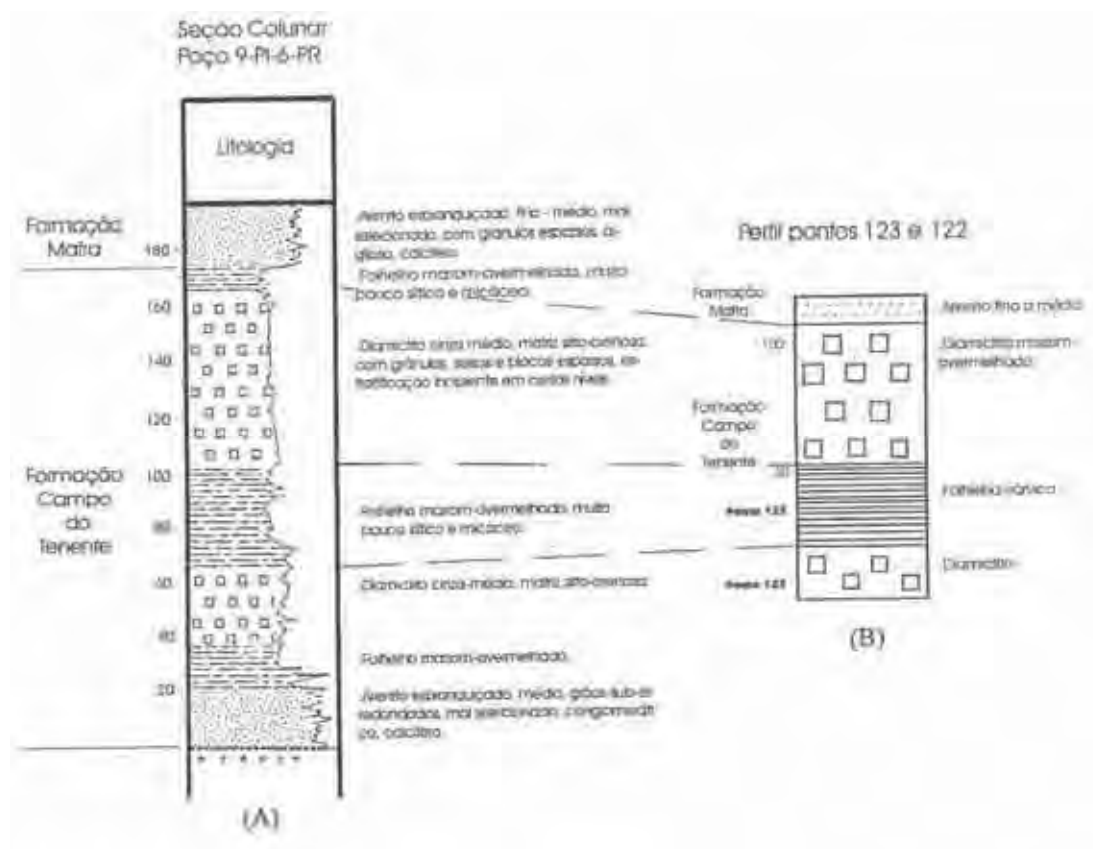


Figura II.2. Perfis da Formação Campo do Tenente.

A. Poço 9-PI-6-PR, com perfil elétrico (Gonçalves & Tommasi, 1974).

B. Pontos 123 e 122 (Weinschütz, 2001)

Notar a correlação entre as seções de diamictito, e do varvito/folhelho várvico intercalado. O arenito da base do poço PI-6 provavelmente pertence à Formação Furnas (Devoniano).

A SEQUÊNCIA CAMPO MOURÃO CM-I (parte inferior arenosa)

A Sequência Campo Mourão CM-I é formada de uma espessa seção arenosa basal, aqui sintetizada, e de uma seção lamítica-várvica-síltica (Weinschütz & Castro, 2004), reproduzida em seguida. A Sequência CM-I corresponde ao par Mafra inferior-Mafra médio de Weinschütz (2001).

Associação de Fácies

Três afloramentos com associações faciológicas distintas são observados ao longo da Rodovia BR-116: em ordem ascendente, são os pontos 84, 89 e 85 (Figura II.5).

O ponto 84 (km. 189,5 a 190,0) consiste de uma sucessão granocrescente de diamictito arenoso, arenito muito fino/fino e arenito fino/médio (Figura II.3-A, -B). O diamictito é maciço, com feições de liquefação, e apresenta numerosos clastos caídos; os arenitos apresentam, respectivamente, laminação cruzada clino-ascendente (Figura II.3-E, -F) e estratificação cruzada sigmoidal (Figura II.3-C, -D). A litofácies lamítica é depositada através de processos glaciais, enquanto os arenitos derivam de processos de suspensão e tração-suspensão, segundo uma progradação deltaica.

No ponto 89 (km. 191,5 a 192,0) encontra-se um Arenito muito fino/fino, com matriz síltico-argilosa e laminação horizontal a inclinada, apresentando provavelmente geometria sigmoidal, que se intercala com Arenito muito fino, lamítico, cor cinza-média, com clastos caídos (inclusive tamanho matacão) (Figura II.4-A). Dominam processos de suspensão, com influência glacial na segunda litologia.

Finalmente, o ponto 85 (km. 194,5) exhibe litofácies arenosas de maior energia. Predomina arenito fino/médio, com estratificação cruzada sigmoidal ou acanalada, intercalado com arenito muito fino/fino portando laminações horizontal e cruzada clino-ascendente (Figura II.4-C, -D, -E, -F). Tal associação, com predomínio de processos tracionais, indica um ambiente flúvio-deltaico.

O sistema arenoso inferior da Sequência CM-I apresenta uma espessura de 110m em perfil levantado na BR-116 (Medeiros, 1971; Figura II.5).

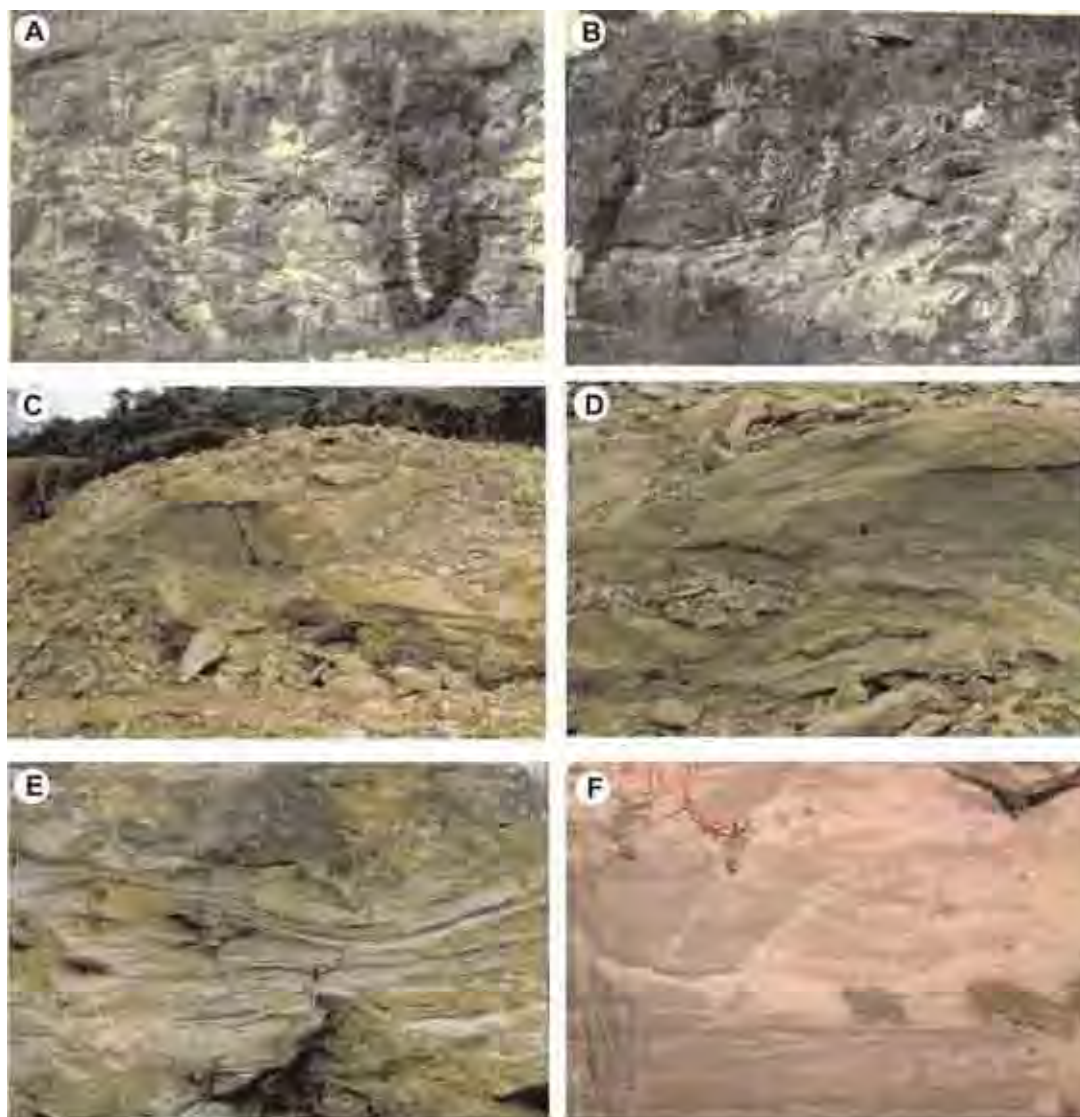


Figura II.3. Sequência CM-I.

A.B. Sucessão progradante de (A) arenito fino/médio, estratificação sigmóide, sobre arenito com laminação cruzada clinoascendente; (B) parte interior da sucessão, com o arenito anterior sobreposto à diamictito.
C.D. Arenito com estratificação sigmóide, detalhe na foto (D).
E.F. Arenito com laminações onduladas e cruzadas clinoascendentes, sotaposto ao arenito sigmoidal.

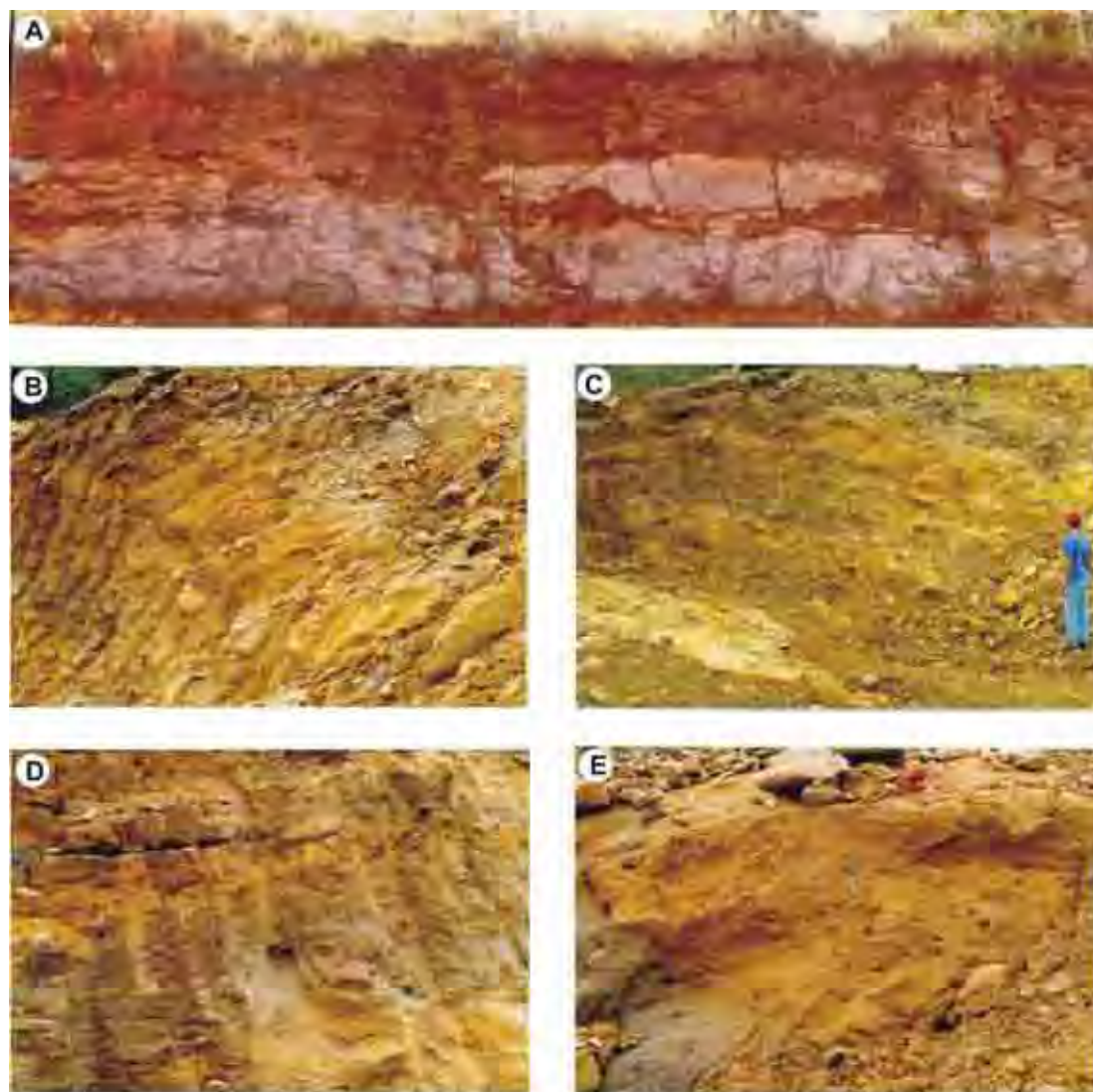


Figura II.4. Sequência CM-I. Pontos 89 (A) e 85 (B-E), rodovia Br116.

A. Arenito muito fino, argiloso/cinza, com geometria sigmoidal, clastos caídos, encimado por arenito lenticular.

B, C. Arenito fino/médio com estratificação cruzada sigmoidal.

D, E, F. Arenito fino/médio com estratificação cruzada acanalada.

Arenito Lapa. O Arenito Lapa faz parte de um sistema canalizado, atualmente exumado no relevo onde constitui uma escarpa marcante, com largura média de 1km e extensão aproximada de mais de 40km. A leste da cidade de Lapa, França et al. (1996) levantaram um perfil de 90m do arenito Lapa, considerando-o como depositado em sistema de canais subaquosos, com paleocorrente média para NNO. Em recente visita a esse afloramento, constatou-se certa frequência de arenitos com estratificação sigmoidal associados a pavimentos conglomeráticos, sugerindo para essa associação uma origem fluvial. Tal fato se repete em afloramento da rodovia Lapa-S. Mateus (km. 79 do roteiro da rodovia; Medeiros, 1971), onde se observa pelo menos 30m de uma série de ciclos fluviais, pouco espessos (menores que 3m), formados por conglomerados e arenitos grossos, com estratificação cruzada acanalada e laminação horizontal, e abundante clastos arredondados de arenito e raramente de granito. As paleocorrentes mostram tendência para NE.

Assim, o sistema arenoso inferior da Seqüência CM-I é dominado por sucessões indicativas de processos deltaicos(?) e fluviais, estes mais presentes no km.79.

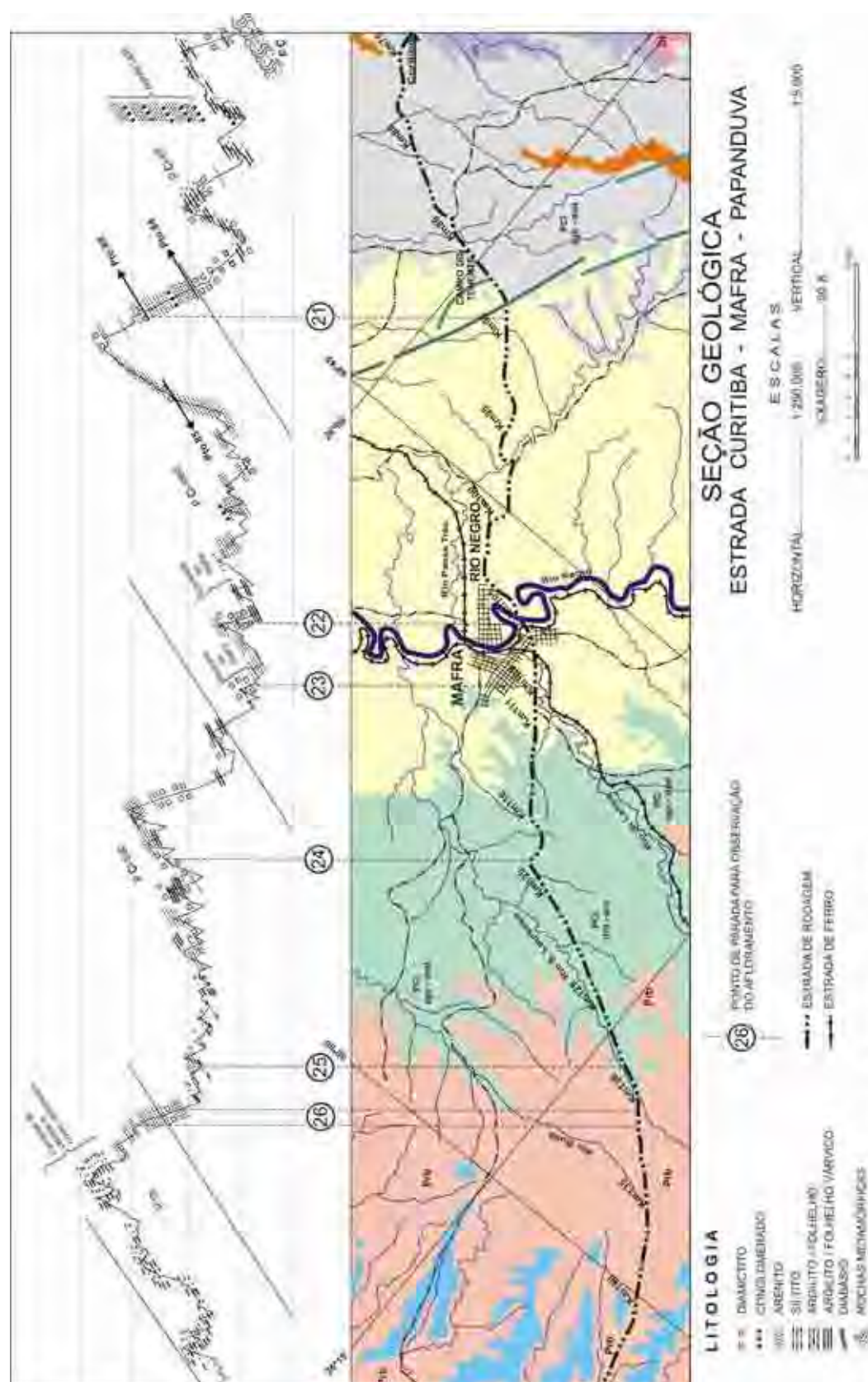


Figura II.5. Perfil levantado na Br116 (Medeiros, 1971).

Arcabouço cronoestratigráfico da Formação Mafra (intervalo médio) na região de Rio Negro/PR - Mafra/SC, borda leste da bacia do Paraná

Luiz Carlos Weinschütz

Doutorando em Geologia Regional. UNESP-IGCE, Rio Claro/SP. - E-mail: luizcwei@ibest.com.br

Joel Carneiro de Castro

UNESP-IGCE, Rio Claro/SP - E-mail: jocaastro@rc.unesp.br

Resumo

Esse trabalho investiga a porção média da Formação Mafra (Grupo Itararé) na região de Mafra(SC)-Rio Negro(PR). Uma sondagem com 40m testemunhados (PM-6), adjacente a uma grande pedreira com 70m de altura, fornece, em conjunto, quase 100m de seção, dominada por varvitos e diamictitos, representativa do Mafra-Médio. Recobrindo erosivamente esse intervalo, a mesma pedreira expõe 20m de arenitos sigmoidais, já caracterizando a unidade Mafra-Superior. A Formação Mafra-Médio consiste de ciclos de granocrescência ascendente (varvito a diamictito), recobertos por um complexo ciclo granodecrescente (arenito-diamictito-varvito), atribuído a eventos de deglaciação; esse evento culmina com a deposição de siltitoossilífero marinho, que, ao contrário das demais fácies, não tem clastos caídos (*dropstones*).

As complexas relações laterais que marcam o ciclo/evento de deglaciação podem ser documentadas em uma seção estratigráfica com cinco afloramentos. A base do evento é erosiva, fornecendo calhas que acomodam localmente grandes espessuras; tal sucessão transgressiva, desenvolvida com a deglaciação, deve-se ao recuo progressivo das geleiras. O intervalo médio da Formação Mafra representa um trato de sistemas transgressivo/de nível de base alto de uma sequência deposicional de 3ª ordem, junto com os arenitos e siltitos do Mafra-Inferior, estes constituindo o trato de sistemas de nível baixo.

Palavras-chave: Sedimentação Glacial, Estratigrafia de Sequências, Grupo Itararé, Bacia do Paraná, Permocarbonífero.

Abstract

The middle interval of Mafra Formation (Itararé Group) has been investigated in the Mafra-Rio Negro area, eastern margin of Paraná basin. The 40m-cored section of well PM-6, drilled at the foot of the 70m-high Motocross Quarry, provide a 90m-composite column representative of middle-Mafra Formation. This interval is unconformably overlain by sigmoidal sandstones of the upper part of Mafra Formation, as displayed in the same quarry. Two types of cycles are found in middle Mafra. Several coarsening-upward cycles composed of varvites, massive sandstones/siltstones (local) and diamictites, are followed by a major fining-upward cycle, formed by sandstone, diamictite and varvite. Pebble to boulder-size dropstones occur in all facies.

The upper FU-cycle, designated as deglaciation facies/cycle, has a complex distribution of thickness and constituent lithofacies. Local depocenters of the cycle are related to lows excavated by glaciers; they were filled by sediments derived from the receding ice, in a classical, transgressive setting related to deglaciation. The middle-Mafra Formation forms the upper, transgressive-highstand system tracts of a depositional sequence, together with sandstones and diamictites of the lower, lowstand system tracts of lower Mafra Formation.

Keywords: Glacial Sedimentation, Sequence Stratigraphy, Itararé Group, Paraná Basin, Permocarboniferous.

1. Introdução

O Grupo Itararé guarda o mais importante registro de glaciação da história da Terra, desenvolvido em todo o Gondwana no Permocarbonífero. Na carta estratigráfica de Schneider et al. (1974), o Grupo Itararé foi dividido, na faixa aflorante sul- paranaense e catarinense, nas formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul.

Por outro lado, o Grupo Itararé, para França e Potter (1988), consiste de três formações, que representam três ciclos de argilidade crescente para cima: Lagoa Azul, cuja parte superior corresponde à Formação Campo do Tenente; Campo Mourão, correspondente à Formação Mafra; e Taciba, correspondente à Formação Rio do Sul.

Uma pequena mas importante diferença entre as duas cartas pode ser notada na unidade superior do Grupo Itararé. Enquanto Schneider et al. (1974) incluem o "Membro Lontras", uma unidade de folhelhos e argilitos várvidos, na base de sua Fm. Rio do Sul, França e Potter (1988) posicionam o "Folhelho Lontras" no topo da Fm. Campo Mourão, representando a culminância final/ argilosa de seu segundo ciclo (Campo Mourão). Ainda, esses autores chamam de Fm. Taciba ao ciclo superior do Grupo Itararé, nele destacando um nível arenoso basal (Mb. Rio Segredo) e dois membros principais, Chapéu do Sol (diamictito) e Rio do Sul (folhelho e ritmito fino).

Na região de Rio Negro (PR) - Mafra (SC), ocorre uma das mais importan-

tes e clássicas seções aflorantes do Grupo Itararé, que inclui os estratotipos das formações Campo do Tenente e Mafra (Schneider et al., 1974). Em sua dissertação de mestrado, Weinschütz (2001) identifica três divisões em cada uma das formações Mafra e Rio do Sul, divisões estas que o autor interpreta como pertencentes a três seqüências deposicionais (Tabela 1).

Vale dizer que tais seqüências aproximam-se dos ciclos/Formações Campo Mourão e Taciba de França e Potter (1988), exceto quanto à subdivisão do ciclo/Formação Campo Mourão em duas seqüências.

Em 2003, a região de Rio Negro e Mafra teve seu acervo científico enriquecido com a perfuração de seis poços, tendo profundidade média de 60m, executados pela Geosol e sob a iniciativa da Fundação Victor Dequech. Esses poços foram adequadamente locados, objetivando amostrar significativamente as formações Mafra e Rio do Sul e procurando compor os poços com seções de superfície. Assim, a sondagem denominada PM-6, com 40m de testemunhagem, foi locada no piso da maior pedreira da região, com 70m de altura (ponto 6, Figura 1); isto possibilitou amostrar um total de 90m, representativos do intervalo médio da Formação Mafra (os demais 20m, do topo da pedreira, pertencem ao intervalo superior da Formação Mafra).

Esse é o primeiro de três artigos, que apresentarão os resultados das son-

dagens e das respectivas seções contíguas de superfície; esse artigo trata do intervalo médio da Formação Mafra, bem como de sua interpretação no contexto da segunda seqüência deposicional do Grupo Itararé na área (Mafra-Médio/Inferior, sucedendo a seqüência da Formação Campo do Tenente).

Outro desafio da presente pesquisa é a definição de um arcabouço de Estratigrafia de Seqüências em contexto glacial, tema ainda pouco desenvolvido (Castro, 1995).

2. Materiais e métodos

Seis sondagens testemunhadas foram executadas na área, sendo que a última delas abrangeu o intervalo médio da Formação Mafra e é objeto do presente estudo. Tal sondagem, PM-6 (Pedreira "Motocross", sondagem 6), testemunhou de 6 a 46m de profundidade, tendo início no piso basal da grande pedreira homônima; nessa estão expostos quase 55m do restante da Formação Mafra-Médio e também pelo menos 20m de arenitos sigmoidais da Formação Mafra-Superior (ponto 6, Figura 1).

Outros quatro grandes afloramentos do Mafra-Médio, pontos 7 a 10, são correlacionados à Pedreira Motocross e proporcionam um entendimento das complexas relações faciológicas daquela unidade.

Na sondagem PM-6 e nos cinco pontos aflorantes foram confeccionados

Tabela 1 - Correlação litoestratigráfica do Grupo Itararé com seqüências deposicionais definidas nesse trabalho.

Schneider et al. (1974)	França & Potter (1988)	Weinschütz (2001)	Seqüências
Fm. Rio do Sul (RS)	Ciclo/Fm. Taciba	Sup. (s): Siltito e folhelho	Seqüência Rio do Sul s/m
		Méd. (m): diamictito, arenito e siltito	
Fm. Mafra (M)	Ciclo/Fm. Campo Mourão	Inf. (l): folhelho "Lontras"	Seqüência Rio do Sul i/Mafra s
		Sup. (s): arenito e diamictito	
		Méd. (m): varvito, diamictito e arenito Inf. (l): arenito e diamictito	Seqüência Mafra m/i
Fm. Campo do Tenente (CT)	Ciclo/Fm. Lagoa Azul	Folhelho, varvito e diamictito marron-avermelhado	Seqüência Campo do Tenente

perfis sedimentológicos verticais, com a identificação sequencial de litologias, texturas e estruturas. Isso possibilita a caracterização de fácies/associações faciológicas e, através da análise de sucessões verticais de fácies, chega-se a padrões relacionados a tratos de sistemas e daí a seqüências deposicionais.

3. Sondagem PM-6

A sondagem PM-6, locada no piso basal da Pedreira Motocross, testemunhou 40m da Formação Mafra - intervalo médio. Esse intervalo se completa com a coluna presente na grande pedreira, adjacente à sondagem (ver adiante).

Três associações faciológicas ocorrem no poço PM-6: varvito (Vv), arenito-siltito (AS) e diamictito (D) (Figura 2).

Os **varvitos (Vv)** ocorrem em três posições da sondagem, com 8m de espessura na base (Figura 3), 2m no meio e 6m para o topo, onde se intercalam com diamictitos. Têm cor predominantemente marrom e exibem freqüentes clastos caídos com até 5mm (*dropstones*); a descrição dessa fácies será completada na pedreira adjacente, onde a mesma atinge 40m de espessura.

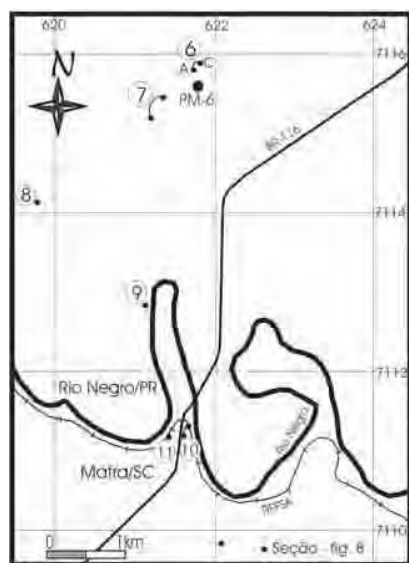


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada, com a sondagem PM-6 e os afloramentos estudados.

A associação **arenito-siltito (AS)** sucede aos varvitos basais do PM-6, em contato aparentemente gradacional (Figura 3). Aquelas litologias apresentam-se maciças, ou exibem feições de escorregamento e microfalhas; alguns arenitos formam estratos amalgamados, com espessura individual de 6,5cm (Figura 4). No topo do intervalo, destaca-se um corpo métrico de arenito fino/médio, maciço (Figura 2). O principal processo parece ser o de liquefação (*shurry*), responsável pelas estruturas presentes; seixos caídos de até 2,5cm revelam a contribuição de geleiras flutuantes.

A fácies **diamictito (D)** ocorre como dois corpos espessos, respectivamente com 8m e 5m, sobreposto à associação anterior (Figura 2). Tem aspecto maciço e cores acastanhada (corpo inferior, Figura 5) e cinza (corpo superior); seixos caídos são freqüentes alcançando até

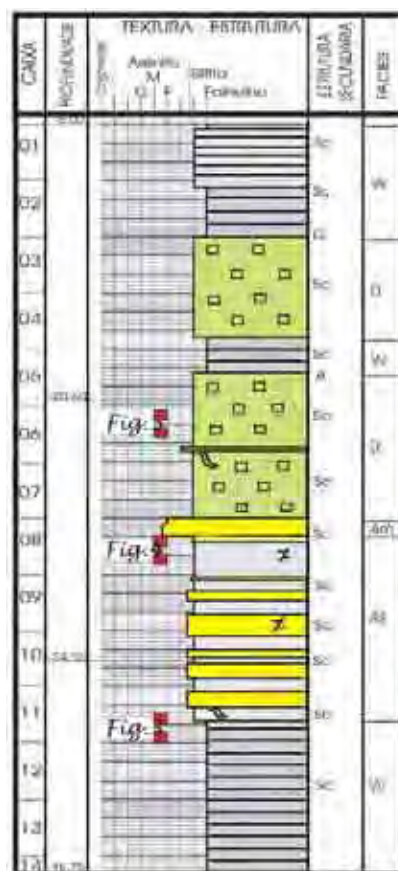


Figura 2 - Perfil sedimentológico do poço PM-6; ver símbolos na Figura 8.

8cm de diâmetro (calhau, *cobble*). Feições de escorregamento e ocasional presença de arenito maciço (Figura 5) sugerem parentesco com a associação (AS); no entanto, os diamictitos exibem maior influência glacial em sua deposição.

4. Pedreira Motocross - ponto 6

A “Pedreira Motocross” tem aproximadamente 70m de altura e é bastante complexa, principalmente no que se refere à associação de deglaciação (Dg)



Figura 3 - Varvitos, Vv (raia esquerda), sobrepostos gradacionalmente por Siltitos e Arenitos, AS (raia direita); clastos caídos são comuns nas duas fácies. Largura dos testemunhos é sempre 3”(7,5cm); ver Figura 2 para localização.

presente em sua parte superior (Figura 6). A pedreira consta de duas bancadas, referidas como sudoeste (ponto A) e nordeste (pontos B e C); a extensão entre A e C atinge aproximadamente 250m (Figuras 1, 6). Quatro associações faciológicas ocorrem na pedreira (base ao topo): varvito, siltito/folhelho, deglaciação e arenito sigmoidal. Esse último, (As), recobre erosivamente a associação de deglaciação (Dg) e já pertence ao intervalo superior da Formação Mafra.

Varvito (Vv). Nessa pedreira está a maior possança dessa fácies encontrada na área com quase 40m (Figura 7A). A grande maioria desses ritmitos regulares arenito-folhelho mostra: (a) pares delgados de espessura variando entre 1,5mm, 3mm (Figura 7B) e 9mm; (b) base abrupta da fração arenosa (clara) e passagem abrupta dessa para a fração pelítica (escura); (c) numerosos clastos caídos, geralmente contidos nas camadas claras.

Destaca-se ainda, no terço inferior da pedreira, um intervalo=marco contendo três estratos com aleitamento gradacional (Figura 7A): o estrato basal tem 0,6m e os demais têm 0,25m cada. Nota-se, em cada um, incipiente laminação, na fração arenosa, e que se torna mais marcante no siltito, bem como clastos caídos de variados tamanhos, incluindo matações. Os três estratos constituem eventos turbulentos de grande intensidade, interrompendo a sedimentação glaciolacustre normal dos varvitos.

Siltito/folhelho (S). Essa fácies pelítica está bem representada na extremidade direita da bancada sudoeste, sobrepondo-se aos varvitos (perfil A, Figura 6): são siltitos argilosos, esverdeados, finamente laminados. Na extremidade da bancada NE (perfil C) já ocorrem clastos caídos nos siltitos. Tal fácies também ocorre no perfil vizinho (ponto 7, ver adiante).

Deglaciação (Dg). Essa complexa associação é formada por uma sucessão de arenitos com estruturas tracionais (estratificação e laminação cruzadas), que passam acima a arenitos lamíticos seixosos e a diamictitos (perfil A); essas mesmas litologias, encimadas por varvitos,

formam dois ciclos de afinamento ascendente (perfil B), resultado de processo de deglaciação. Na seção entre os perfis B e C, é expressivo o truncamento lateral de litofácies do perfil B, bem como o contato abrupto do arenito basal com o siltito subjacente (X, Figura 6) de algumas das litofácies constituintes,.

Arenito sigmoidal (As). Truncando erosivamente a associação faciológica anterior (Y, Figura 6), observa-se uma espessa seção de arenitos finos/médios com estratificação sigmoidal, já representando o intervalo superior da Formação Mafra; tal seção tem origem fluvial ou flúvio-deltaica, e constitui a parte basal da sequência Mafra-Superior-Folhelho Lontras (Tabela 1).



Figura 4 - Siltitos (raia esquerda) recobertos por arenitos maciços (parte superior da raia direita; fácies AS).

5. Arcabouço da Formação Mafra - Intervalo Médio

A seção da Figura 8, tendo como *datum* o contato entre os intervalos superior e médio da Formação Mafra, revela a grande complexibilidade estratigráfica do intervalo médio, que inclui uma fácies de siltito fossilífero no topo do intervalo (Sf), entre os pontos 8 e 10 da Figura 8. O perfil do ponto 6 foi acrescido com o perfil da sondagem PM-6, notando-se, entre os dois, um pequeno intervalo não recuperado pela sondagem.

Tal coluna do intervalo médio da Formação Mafra (quase 100m) é forma-



Figura 5 - Escorregamento (base da raia esquerda) e lente arenosa (meio da raia esquerda) dentro da fácies Diamictito, D (raia direita).

da de dois ciclos principais (base ao topo): um de granocrescência ascendente, com varvito seguido de diamictito, e outro de granodecrescência ascendente (deglaciação), com a sucessão arenito-diamictito-varvito. Esse último pode ser encerrado por um corpo de siltito fossilífero (fácies Sf), que culmina o ciclo de deglaciação, de natureza transgressiva (Machado,1989; Castro, 1991). Pelo menos três sucessões de granocrescência ocorrem no poço PM-6: a basal é mais completa, pois inclui a associação arenito - siltito (AS) entre o varvito (Vv) e o diamictito (D).

Nos afloramentos dos pontos 8 a 10, nota-se o grande desenvolvimento desse tipo de ciclo, estratigraficamente acima da seção do poço PM-6: trata-se da espessa seção de varvito (quase 40m no ponto 6), recoberta por corpo de diamictito igualmente espesso (quase 30m no ponto 8). Este último provavelmente tem uma base erosiva, que é provavelmente responsável pela depressão necessária para acomodar o diamictito (eixo no ponto 8, Figura 8). A sucessão dessas fácies revela uma evolução de processos glaciais distintos, de varves sazonais(varvito) para suspensão - chuva de detritos (diamictito *rain-out*), talvez refletindo uma crescente proximidade das frentes de geleiras (Canuto,1985; Weinschütz, 2001).

É notável o evento de deglaciação representativo do fim do ciclo glacial Mafra-Médio. Sua maior possança é notada no ponto 7, localizado a apenas 700m a sudoeste do ponto 6; na correlação entre os dois pontos, reconhecem-se duas sucessões granodecrescentes, onde a maior espessura no ponto 7 revela o maior espaço de acomodação disponível nesse local (originado pelo maior efeito erosivo do substrato pelas geleiras em recuo).

Tal efeito erosivo da fase de deglaciação é ainda mais dramático ao longo da ferrovia RFFSA (Figura 1), onde os varvitos expostos sob o viaduto da BR116, ponto 10, encontram-se erodidos uma centena de metros adiante, no ponto 11 da mesma ferrovia. Aqui aflora um

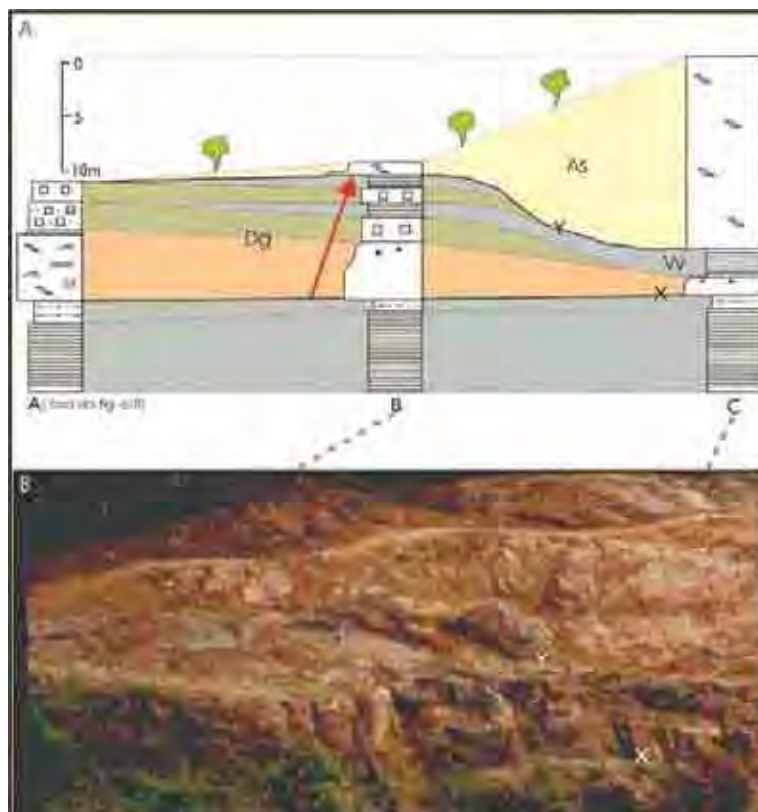


Figura 6 - A) Parte superior da pedreira Motocross, destacando as fácies de deglaciação, Dg, e arenito sigmoidal, As (quadrante superior esquerdo). **B)** Esquema da foto acima, destacando as superfícies erosivas X e Y que limitam as fácies Dg e As; ver símbolos na Figura 8.



Figura 7 - A) Vista geral da fácies Varvito, Vv, que forma a parte superior da Pedreira Motocross (figura humana como escala). Triângulos vermelhos indicam estratos com aleitamento gradacional, caracterizando eventos turbulentos em meio à sedimentação normal dos varvitos. **B)** Detalhe dos varvitos, com clastos caídos nas lâminas claras. Altura da amostra: 21 cm.

espesso intervalo de conglomerados/arenitos seixosos encimados por diamictitos, assim constituindo um eixo erosivo preferencial para a deglaciação.

Finalmente, o expressivo evento marinho de siltitoossilífero (Sf, Figura 8), portador de braquiópodes, gastrópodes, escamas de peixes e foraminíferos arenáceos, encerra o ciclo transgressivo da deglaciação, representativo da Formação Mafra - Intervalo Médio.

6. Conclusões

Seis fácies/associações faciológicas foram identificadas em sondagem (PM-6) e afloramentos da Formação Mafra - Intervalo Médio: varvito (Vv), arenito-siltito (AS), diamictito (D), siltito-folhelho (S), deglaciação (Dg) e siltitoossilífero (Sf).

As três primeiras, ou, mais comumente, as fácies (Vv) e (D), formam sucessões de granodecrescência ascendente, refletindo uma evolução de processos gravitacionais (suspensão, liquefação-slurry, e suspensão-chuva de detritos) e, provavelmente, indicando uma crescente proximidade dos gelos flutuantes (icebergs). A fácies (S), geralmente sobreposta aos varvitos, localmente lembra a fácies marinha (Sf), mas é portadora de clastos caídos como as demais.

A associação de deglaciação (Dg) é, sem dúvida, a mais complexa e constitui a parte superior da unidade estudada: é formada por um ciclo granodecrescente de arenito-diamictito-varvito, dentro de um contexto transgressivo de recuo de geleiras, que culmina com o siltitoossilífero (Sf) clássico na área. A associação (Dg) mostra uma base fortemente erosiva, propiciando a escavação de canais necessários para acomodar a respectiva sedimentação (por exemplo, nos pontos 7 e 11, este próximo ao ponto 10).

Toda a sedimentação do Mafra-Médio, dominada por varvitos e diamictitos, constitui um trato transgressivo/de nível de base alto de uma seqüência, que se completa com a seção arenosa e diamictica do Mafra-Inferior (trato de ní-

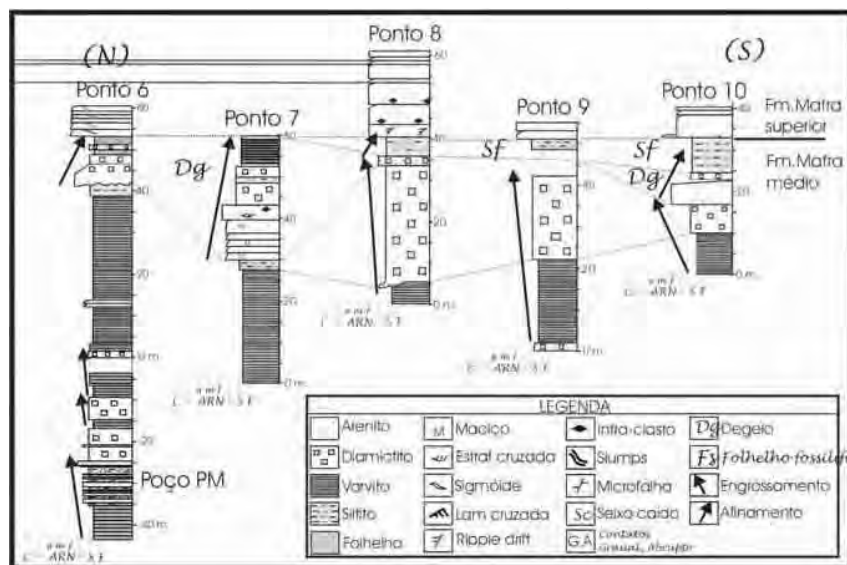


Figura 8 - Seção estratigráfica dos pontos 6 a 10, destacando a correlação dos ciclos granocrescente e granodecrescente da Mafra inferior. Notar o Datum no contato Arenito sigmoidal da Mafra Superior, com o varvito ou siltitoossilífero do Mafra Inferior. Ponto 6 composto com a sondagem PM-6.

vel de base baixo). Recobrimdo erosivamente a seção anterior, ocorrem os arenitos sigmoidais (As) ou maciços/ritmicos da Formação Mafra-Superior, já caracterizando a base da terceira seqüência deposicional do Grupo Itararé na borda leste da bacia do Paraná.

7. Agradecimentos

Esse trabalho é parte da Tese de Doutorado que o primeiro autor desenvolve junto à UNESP e que está sendo financiado pelo CNPq, ao qual agradece. Especial agradecimento é devido ao Dr. Victor Dequech, e à Fundação Victor Dequech, cujas sondagens proporcionaram novos horizontes à pesquisa sobre deposição glacial e que irão enriquecer a presente tese.

8. Referências Bibliográficas

CANUTO, J.R. *Origem dos diamictitos e de rochas associadas do Sub-Grupo Itararé, no sul do Estado do Paraná e norte do Estado de Santa Catarina*. São Paulo: IG-USP, 1985. 187p. (Dissertação de Mestrado).

CASTRO, J.C. *A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do*

Sul e Rio Bonito/Mb. Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná. Rio Claro: UNESP/IGCE, 1991. 146p. (Tese de Doutorado).

CASTRO, J.C. Ciclos ou seqüências no arcabouço cronoestratigráfico da sucessão Itararé (Formação Taciba)-Rio Bonito (Membro Triunfo), Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 2, 1995. Porto Alegre. *Boletim de Resumos Expandidos...* Porto Alegre: UFRGS, 1995. p. 66-70.

FRANÇA, A.B., POTTER, P.E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobrás*. v.2, n.2/4, p. 147-191, 1988.

MACHADO, L.C. *Fácies e arcabouço estratigráfico do Grupo Itararé em Alfredo Wagner, SC: sedimentação periglacial*. Ouro Preto: UFOP, 1989. 163p. (Dissertação de Mestrado).

SCHNEIDER, R.L., MÜHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A.A., DAEMON, R.F., NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da bacia do Paraná. In: CONG. BRAS. GEOL., 28, 1974. Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: SBG, 1974. v.1, p. 41-65.

WEINSCHÜTZ, L.C. *Análise estratigráfica e faciológica do Grupo Itararé na região de Mafra/SC e Rio Negro/PR, borda leste da Bacia do Paraná*. Rio Claro: UNESP/IGCE, 2001. 59p. (Tese de Mestrado).

Artigo recebido em 23/01/2004 e aprovado em 18/08/2004.

A SEQÜÊNCIA MAFRA SUPERIOR \ RIO DO SUL INFERIOR (GRUPO ITARARÉ, PERMOCARBONÍFERO) EM SONDAGENS TESTEMUNHADAS DA REGIÃO DE MAFRA (SC), MARGEM LESTE DA BACIA DO PARANÁ

Luiz Carlos WEINSCHÜTZ ¹ & Joel Carneiro de CASTRO ²

(1) Pós-Graduando em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual. Paulista. Avenida 24-A, 1515. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: luizwei@ibest.com.br.

(2) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual. Paulista. Avenida 24-A, 1515. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: jocastro@rc.unesp.br.

Introdução
Base de Dados e Métodos
Associações de Fácies
 “Arenito Inferior” (Formação Mafra Superior)
 “Arenito Superior” (Formação Mafra Superior)
 “Arenito-Diamictito-Ritmito” (Formação Mafra Superior)
 “Folhelho-Siltito” (Formação Rio Do Sul Inferior)
 “Folhelho-Arenito” (Formação Rio Do Sul Inferior)
Correlação Estratigráfica
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – O Grupo Itararé (Permocarbonífero) aflora na região de Mafra (SC), onde é representado pelas formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul; em cada uma destas duas últimas unidades foram reconhecidos três intervalos cronoestratigráficos, designados Mafra inferior, médio e superior, e Rio do Sul inferior, médio e superior. Tais unidades correspondem, em subsuperfície, aos ciclos/formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba. Uma amostragem composta do grupo foi obtida por seis sondagens testemunhadas, que alcançaram em média 60 m de profundidade; três dessas sondagens amostraram a seqüência deposicional designada Mafra superior/ Rio do Sul inferior, e que é objeto do presente trabalho. A Formação Mafra superior, investigada pelos poços TC-4 e BR-5, compreende duas unidades deposicionais, de origem deltaica-glacial e fluvial-deltaica, correspondendo a um trato de mar baixo; sucedem outras duas unidades, com argiliosidade crescente, formadas por arenito, diamictito e ritmito, representando eventos de deglaciação de um trato transgressivo. A Formação Rio do Sul inferior compreende duas unidades, uma de folhelho fossilífero e siltito bioturbado, e a segunda de folhelho e arenito siltico (turbidito), sendo esta testemunhada no poço SL-2; tais unidades marinhas constituem, respectivamente, a culminância transgressiva do processo de deglaciação e o trato de mar alto.

Palavras-chave: Grupo Itararé, Permocarbonífero, Bacia do Paraná, Estratigrafia de seqüências, Sedimentação glacial.

ABSTRACT – L.C. Weinschütz & J.C. de CASTRO – *The Upper Mafra/Lower Rio do Sul sequence (Itararé Group, Permo-Carboniferous) from composite sampling by drilling in the Mafra region (State of Santa Catarina), eastern border of the Paraná Basin.* The Permo-Carboniferous Itararé Group crops out in the Mafra area, represented by Campo do Tenente, Mafra and Rio do Sul formations; they correspond in subsurface to Lagoa Azul, Campo Mourão and Taciba formations. A composite sampling of the Group was performed through drilling of six wells, which average 60 m in depth; three of them cored the depositional sequence here designated as Upper Mafra/Lower Rio do Sul. The Upper Mafra Formation were sampled by TC-4 and BR-5 wells, and it consists of three units: the lower two are sandy, glacial-deltaic and fluvial-deltaic in origin, corresponding to a lowstand tract. The last unit is composed of two dirtying-upward successions of sandstone, diamictite and rhythmite, interpreted as deglaciation/transgressive events, and well represented in BR-5 drilling. The Lower-Rio do Sul Formation (“Lontras Shale”) is formed by two marine units: the lower one is represented by shale and bioturbated siltstone which culminate the previous deglaciation, transgressive succession, while the upper one, sampled by SL-2 well, is formed by shale and thin, turbidite sandstone, attributed to a highstand tract.

Keywords: Itararé Group, Permo-Carboniferous, Paraná Basin, Sequence stratigraphy, Glacial sedimentation.

INTRODUÇÃO

O Grupo Itararé, Permocarbonífero da Bacia do Paraná, consiste de rochas siliciclásticas cuja deposição ocorreu sob influência glacial. A unidade apresenta indícios de hidrocarbonetos, principalmente gás, e se constitui em importante prospecto na bacia.

Em um estudo regional de subsuperfície, França & Potter (1988) propuseram uma divisão tripartite do Grupo por meio de ciclos de granodecrescência ascendente, com arenito, diamictito, ritmito e folhelho; tais ciclos foram formalizados como as formações

Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, da base ao topo.

Na proposta anterior de Schneider et al. (1974), baseada principalmente em geologia de superfície, também foram mapeadas três formações, Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul, da base ao topo. Há uma correspondência entre as três unidades de cada proposta, exceto quanto à posição do “Folhelho Lontras”, originalmente na parte inferior da Formação Rio do Sul (Schneider et al., 1974), ou no topo da Formação Campo Mourão (França & Potter, 1988). Também foi reconhecida a equivalência da Formação Campo do

Tenente com a parte superior da Formação Lagoa Azul (França et al., 1996).

Na região de Mafra-Rio Negro, Weinschütz (2001) reconheceu três divisões em cada uma das formações Mafra e Rio do Sul, enquanto Weinschütz & Castro (2004) propuseram quatro seqüências deposicionais para o Grupo Itararé: uma na Formação Campo do Tenente, outra na Formação Mafra inferior\Mafra médio, a terceira nas formações Mafra superior e Rio do Sul inferior, e finalmente a seqüência da Formação Rio do Sul médio\Rio do Sul superior (Quadro 1).

QUADRO 1. Estratigrafia do Grupo Itararé na região de Mafra, com a seqüência Rio do Sul inferior/Mafra superior correspondendo à parte superior do ciclo/Formação Campo Mourão.

Schneider et al. (1974)	França & Potter (1988)	Weinschütz (2001)	Weinschütz & Castro (2004)
Fm. Rio do Sul (RS)	Ciclo/Fm. Taciba	RS superior: siltito e folhelho	Seqüência Rio do Sul superior/ Rio do Sul média
		RS media: diamictito, arenito e siltito	
Fm. Mafra (M)	Ciclo/Fm. Campo Mourão	RS inferior: folhelho “Lontras”	Seqüência Rio do Sul inferior / Mafra superior
		M sup.: arenito e diamictito	
		M med.: varvito, diamictito e arenito	Seqüência Mafra media/Mafra inferior
Fm. Campo do Tenente (CT)	Ciclo/Fm. Lagoa Azul	M inf.: arenito e diamictito	
		CT: Folhelho, varvito, diamictito marrom-avermelhado	Seqüência Campo do Tenente

Reconhecendo-se que os ciclos/formações de França & Potter (1988) correspondem a seqüências deposicionais e identificando na Formação Campo Mourão duas seqüências e não apenas uma, tem-se imediatamente uma amarração entre tais ciclos/formações e as seqüências propostas por Weinschütz & Castro (2004): assim, a parte superior da Formação Lagoa Azul corresponde à primeira seqüência, a Formação Campo Mourão, à segunda e terceira seqüências, e a Formação Taciba, à quarta seqüência (Quadro 1).

De uma campanha de seis sondagens oferecidas

pela Fundação Vitor Dequech para a tese de doutoramento do primeiro autor, três delas testemunharam parcialmente a terceira seqüência (Mafra superior\Rio do Sul inferior, ou Campo Mourão “superior”). Os resultados dessas sondagens (TC-4, BR-5 e SL-2) são apresentados neste trabalho, incluindo perfis aflorantes que ajudam na cronocorrelação entre os poços.

Assim, objetiva-se aqui analisar a sucessão faciológica vertical das referidas sondagens, como base para elaborar o arcabouço estratigráfico da terceira seqüência deposicional do Grupo Itararé na região de Mafra, na margem leste da Bacia do Paraná.

BASE DE DADOS E MÉTODOS

Dos três poços com testemunhagem contínua, dois foram executados próximo à BR-280 e amostraram a Formação Mafra superior e base da Formação Rio do Sul.

A primeira sondagem, TC-4, iniciou próximo à base do Folhelho Lontras (unidade informal inferior da Formação Rio do Sul; Schneider et al., 1974), onde se destaca um nível métrico de folhelho preto fossilífero.

Tal folhelho foi exposto por ocasião da implantação da Fábrica Bandag, suscitando forte controvérsia e motivando a causa preservacionista desse patrimônio paleontológico. O poço TC-4 alcançou 81 m, amostrando grande parte da Formação Mafra superior, e foi perfurado no terreno doado ao Centro Paleontológico de Mafra, da Universidade do Contestado (CENPÁLEO-UNC, Figura 1).

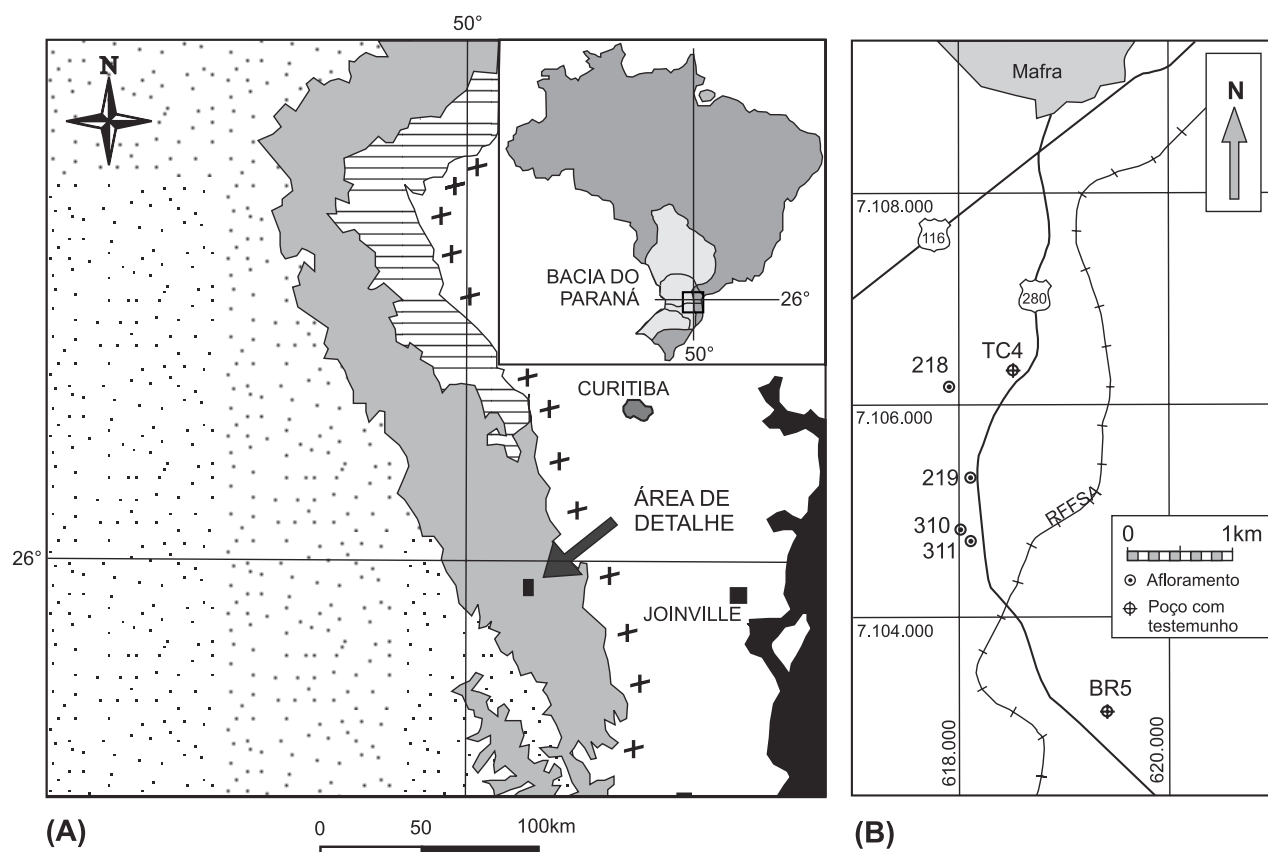


FIGURA 1. Mapa de localização da faixa aflorante do Grupo Itararé (sombreado), borda leste da Bacia do Paraná (A) e mapa de detalhe do sul de Mafra, com as sondagens e afloramentos (B).

O segundo poço, BR-5, foi realizado aproximadamente 3 km a su-sueste do TC-4, e testemunhou 51 m da Formação Mafra superior. Para auxiliar na complexa correlação entre os poços, foi levantado um perfil intermediário composto de dois afloramentos (pontos 310/311, Figura 1).

Uma terceira sondagem, SL-2, foi executada a 8 km oeste do TC-4, e amostrou 30 m da Formação Rio do Sul inferior (“Folhelho Lontras”) sotoposta a 30 m de diamictito da Formação Rio do Sul médio. Cada um dos três poços é ilustrado por um perfil vertical, originalmente em escala 1:200, contendo texturas, estruturas e fácies sedimentares, e por prancha fotográfica de testemunhos representativos das associações faciológicas.

É apresentada uma seção estratigráfica com a cronocorrelação da Formação Mafra superior e base

do Folhelho Lontras nas sondagens TC-4 e BR-5, complementada com um perfil de afloramentos localizado entre os dois poços. Juntando-se tais dados aos do Folhelho Lontras do poço SL-2, pôde-se construir um arcabouço para a sequência deposicional Mafra superior/Rio do Sul inferior de Weinschütz & Castro (2004), que corresponde à “porção superior” da Formação Campo Mourão (unidade intermediária do Grupo Itararé na proposição original de França & Potter, 1988; Quadro 1).

O método da Estratigrafia de Sequências, concebido originalmente pelo grupo da Exxon (Posamentier & Vail, 1988), tem sido aplicado a sucessões glaciais (Castro, 1995; 1999), apesar das dificuldades decorrentes da conjugação dos três componentes que controlam o registro sedimentar, eustasia, tectônica e clima.

ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES

A Formação Mafra superior compreende três unidades, designadas “Arenito inferior”, “Arenito superior” e “Arenito-Diamictito-Ritmito”, enquanto a Formação Rio do Sul inferior (“Folhelho Lontras”) é representada pelas unidades “Folhelho-Siltito” e “Folhelho-Arenito”.

“ARENITO INFERIOR” (FORMAÇÃO MAFRA SUPERIOR)

Tal unidade foi amostrada somente no TC-4, entre 81 a 43 m (caixas 30 a 17, Figura 2), sendo formado por quatro associações faciológicas, Ag-mf, DA, CD e Af-mf.

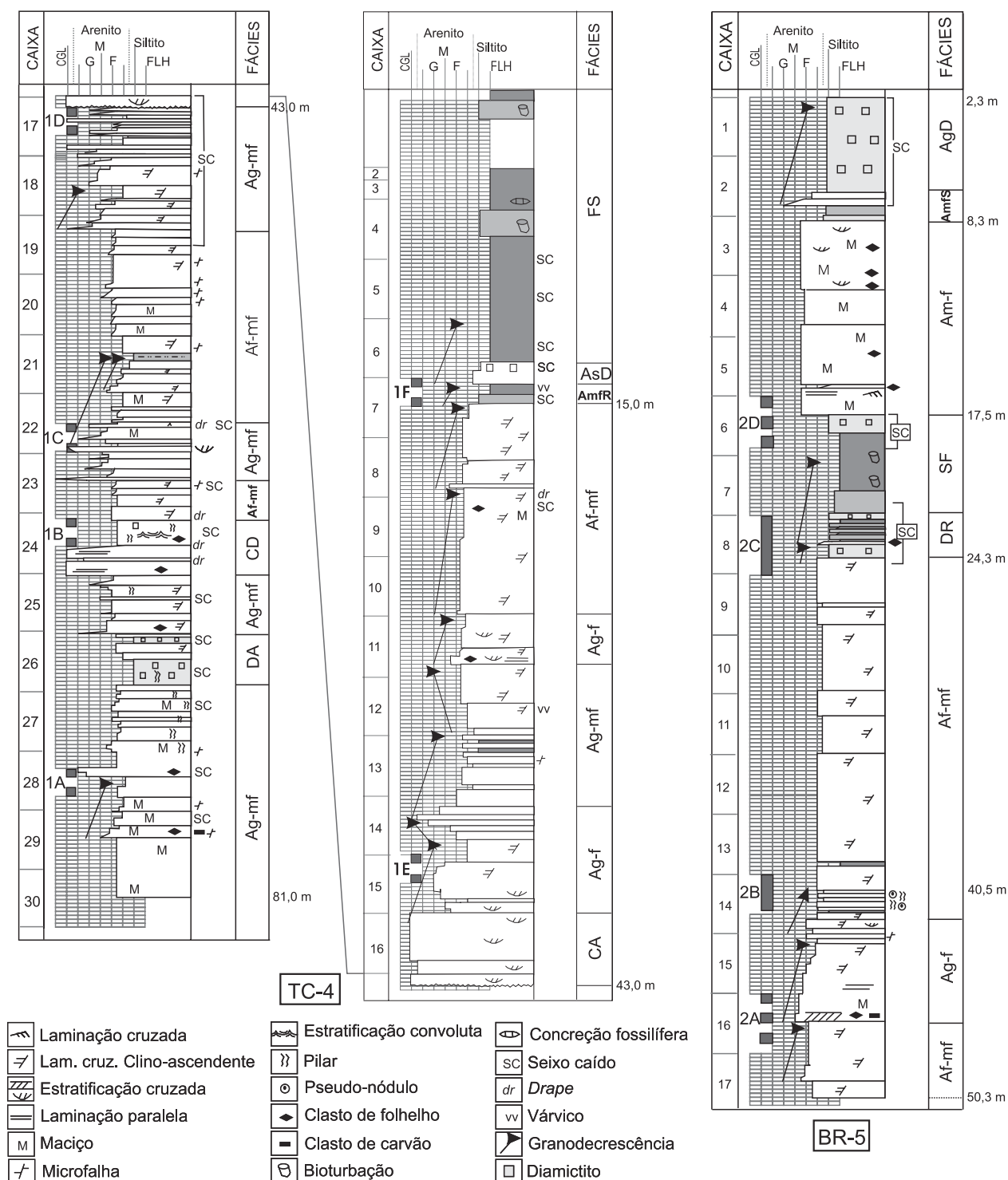


FIGURA 2. Perfis faciográficos verticais dos poços TC-4 (a coluna do centro sobrepõe-se à da esquerda) e BR-5 (coluna da direita); posições das pranchas fotográficas, à esquerda de cada perfil.

A associação Ag-mf é formada por estratos, com 20 a 50 cm de espessura, de arenito passando de grosso/conglomerático a fino/muito fino, intercalando-se com siltito arenoso (Prancha 1-A) ou portando bandas silticas (Prancha 1C). Os arenitos apresentam estrutura maciça ou laminação cruzada clino-ascendente, mostram *drapes* e intraclastos de folhelho,

bem como microfalhas que localmente lhe emprestam um aspecto brechado, e raros clastos caídos (Prancha 1A, C, D); localmente ocorre um delgado intervalo de 0,2 m com arenito grosso a muito grosso portando estratificação cruzada (Prancha 1C).

A associação DA é representada por diamictito arenoso, deformado (estratificação convoluta?), tendo

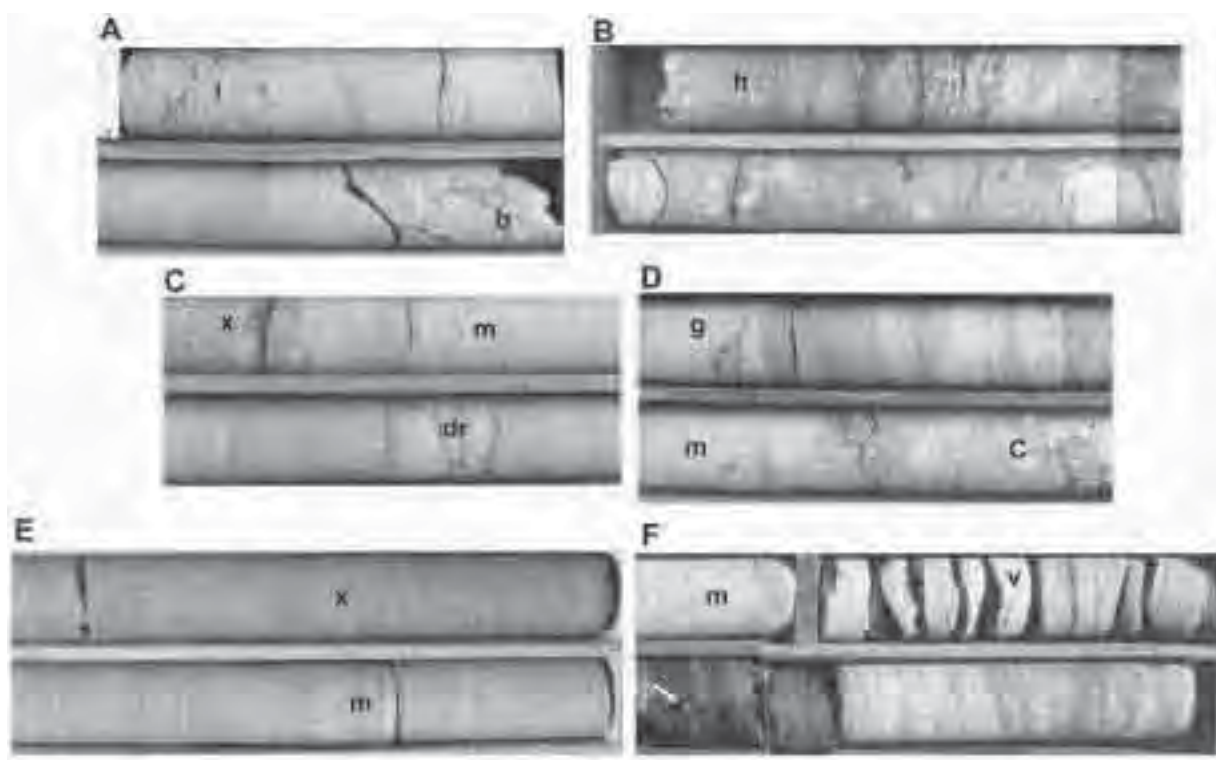
freqüentes clastos caídos chegando a alcançar 6 cm (*rain-out diamictite*), intercalado com arenito fino-muito fino em estratos de espessura 40 cm, com laminação cruzada clino-ascendente, intraclastos de folhelho e microfalhas (Figura 2).

A associação CD consiste de arenito conglomerado a arenito fino, com estratificação horizontal a laminação cruzada, portando *drapes* e intraclastos pelíticos escuros; a associação inclui um arenito muito fino a siltico, passando bruscamente a diamictito com acamamento inclinado a horizontal, microfalhas e abundantes clastos

caídos (até 10 cm) (Figura 2, Prancha 1B).

A associação Af-mf é caracterizada por arenito fino a muito fino, localmente siltito, apresentando estrutura maciça ou laminação cruzada clino-ascendente, *drapes* de folhelho e microfalhas (Figura 2).

Assim, as características do “Arenito inferior” incluem rápidas variações texturais, *drapes* e intraclastos argilosos, microfalhas e “brechas” localmente associadas, diamictitos e clastos caídos (*dropstones*), indicando condições flúvio-deltaicas (?) sob influência glacial em sua deposição.



PRANCHA 1. Testemunhos do poço TC-4 (diâmetro de 7,5 cm). [A] Arenito intraclástico (i) sob arenito muito grosso com banda siltica (raia esquerda), siltito arenoso maciço e “brecha” devida a microfalhas (b).

[B] Arenito com aleitamento gradacional (h), intraclastos (i), e “diamictito” com estratificação inclinada a horizontal, microfalhas e grandes clastos caídos. [C] Arenito grosso com estratificação cruzada (x), arenito muito fino com laminação cruzada clino-ascendente (m), arenito grosso com escape de fluido e clasto caído, e arenito muito fino com *drapes* argilosos rompidos (dr). [D] Arenito grosso (g); siltito intercalado com arenito muito fino maciço (m), microfahado no topo; truncamento por conglomerado (c). [E] Arenito grosso com estratificação cruzada (x) a muito fino com laminação cruzada clino-ascendente (m). [F] Arenito muito fino (m), ritmitos areno-argilosos (v) e siltico-argilosos (base da segunda raia), e intercalações de arenito e siltito; notar seixo caído (flecha).

“ARENITO SUPERIOR” (FORMAÇÃO MAFRA SUPERIOR)

A unidade “arenito superior” ocorre no TC-4 entre 43 e 15 m (caixas 16 a 07), e no BR-5 entre 50,3 e 24,3 m (caixas 17 a 8, Figura 2). Nela ocorrem três associações faciológicas, que se ordenam segundo um afinamento textural ascendente: CAg, Ag-f e Af-mf.

A associação CAg é formada por conglomerado

e arenito grosso portando estratificação cruzada acanalada e tabular; os seixos e calhaus do conglomerado mostram bom arredondamento. A associação Ag-f é constituída por arenito grosso a fino com estratificação cruzada ou laminação horizontal, e clastos carbonosos (Pranchas 1E, 2A). Finalmente, a associação Af-mf é composta de arenito fino-muito fino, com ampla predo-

minância de laminação cruzada clino-ascendente; localmente, no BR-5, ocorre siltito arenoso com estruturas de escape de fluidos (pilar) e de liquefação (*slurry*) (Prancha 2B).

A unidade “Arenito superior” apresenta, no TC-4, pelo menos cinco sub-ciclos com tendência de afinamento ascendente. Tal unidade tem inicialmente característica fluvial “regressiva”, e passa para cima, por afogamento transgressivo, a deltaica (proximal a distal, com processos dominados por tração e suspensão). Um nível de folhelho, na porção inferior da associação Af-mf (poço BR-5, próximo da base da caixa 13; Figura 2), talvez represente o ápice da situação transgressiva.

Destaca-se a presença de clastos caídos no topo da unidade arenosa (topo de Af-mf), refletindo uma influência glacial que será fortemente manifestada no segmento seguinte (Prancha 1F, 2C).

“ARENITO-DIAMICTITO-RITMITO” (FORMAÇÃO MAFRA SUPERIOR)

O poço BR-5 apresenta duas sucessões, com granodecrescência textural e argilosidade crescente no sentido ascendente, formados por arenito, diamictito e ritmito; a espessura de todo o conjunto é de 24 m, e as associações faciológicas presentes são designadas DR e SF (sucessão inferior), e Am-f, AmfS e AgD (sucessão superior). No poço TC-4 a sucessão inferior tem espessura reduzida e é representada pela associação AmfR, enquanto a sucessão superior consiste da associação AsD e parte de FS (Figura 2).

Na sucessão inferior, a associação DR inclui diamictito arenoso seguido de ritmitos arenito-folhelho e diamictito-folhelho (Prancha 2C). Tais ritmitos provavelmente constituem varvitos, e são recobertos pela associação SF contendo siltitos e folhelhos marinhos, com clastos caídos no topo (Prancha 2D); toda a sucessão é basicamente transgressiva, ligada a uma deglaciação.

O arenito da base da sucessão superior, poço BR-5, tem 9 m de espessura e é representado pela associação Am-f, de arenito médio a fino, maciço e localmente gradando a laminação paralela e cruzada (Prancha 2D); para o topo ocorre estratificação cruzada acanalada, enquanto clastos de folhelho ocorrem em todo o intervalo. O corpo arenoso resultante é relativamente homogêneo, lembrando o arenito maciço, rítmico, característico da cidade de Mafra (Mafra médio; Weinschütz, 2001); sua geometria é lenticular, provavelmente canalizada, pois já não ocorre no TC-4. Tal associação resulta de processos turbulentos de suspensão, na forma de turbiditos, e de processos tracionais na parte superior, sugerindo para o conjunto um contexto deltaico de deglaciação.

A sucessão superior é formada pelas associações AmfS e AgD, com arenito muito fino a siltito e arenito grosso a fino e diamictito, em um ciclo que reflete uma expressiva contribuição glacial (Figura 2); a argilosidade crescente da sucessão culmina com a deposição pelítica da base do Folhelho Lontras, que é observado em afloramentos nas imediações do poço e assim indicando condições marinhas de deposição.

No poço TC-4 a sucessão arenito-diamictito-ritmito inclui duas associações, AmfR e AsD, que podem ser observadas na Figura 2 e Prancha 1F. A primeira associação é formada por arenito muito fino com laminação cruzada clino-ascendente e seixos caídos, e ritmito siltito-folhelho, enquanto a segunda apresenta arenito siltico e diamictito.

As duas sucessões areno-lamítico-rítmicas indicam eventos de deglaciação, designados *dg1* e *dg2*.

“FOLHELHO-SILTITO” (FORMAÇÃO RIO DO SUL INFERIOR)

A unidade “Folhelho-Siltito”, encontrada nos 13 m iniciais do poço do poço TC-4, é marinha transgressiva sobre a Formação Mafra superior; é constituída da associação FS, que contém folhelho várvido (com raros clastos caídos na porção inferior), siltito bioturbado e folhelho preto fossilífero (peixes, coprólitos, braquiópodes) (Figura 2). Com base no afinamento textural e redução de clastos caídos no sentido ascendente, tal evolução transgressiva é ligada à deglaciação anterior, e culmina com o folhelho preto ao máximo da inundaçāo marinha.

“FOLHELHO-ARENITO” (FORMAÇÃO RIO DO SUL INFERIOR)

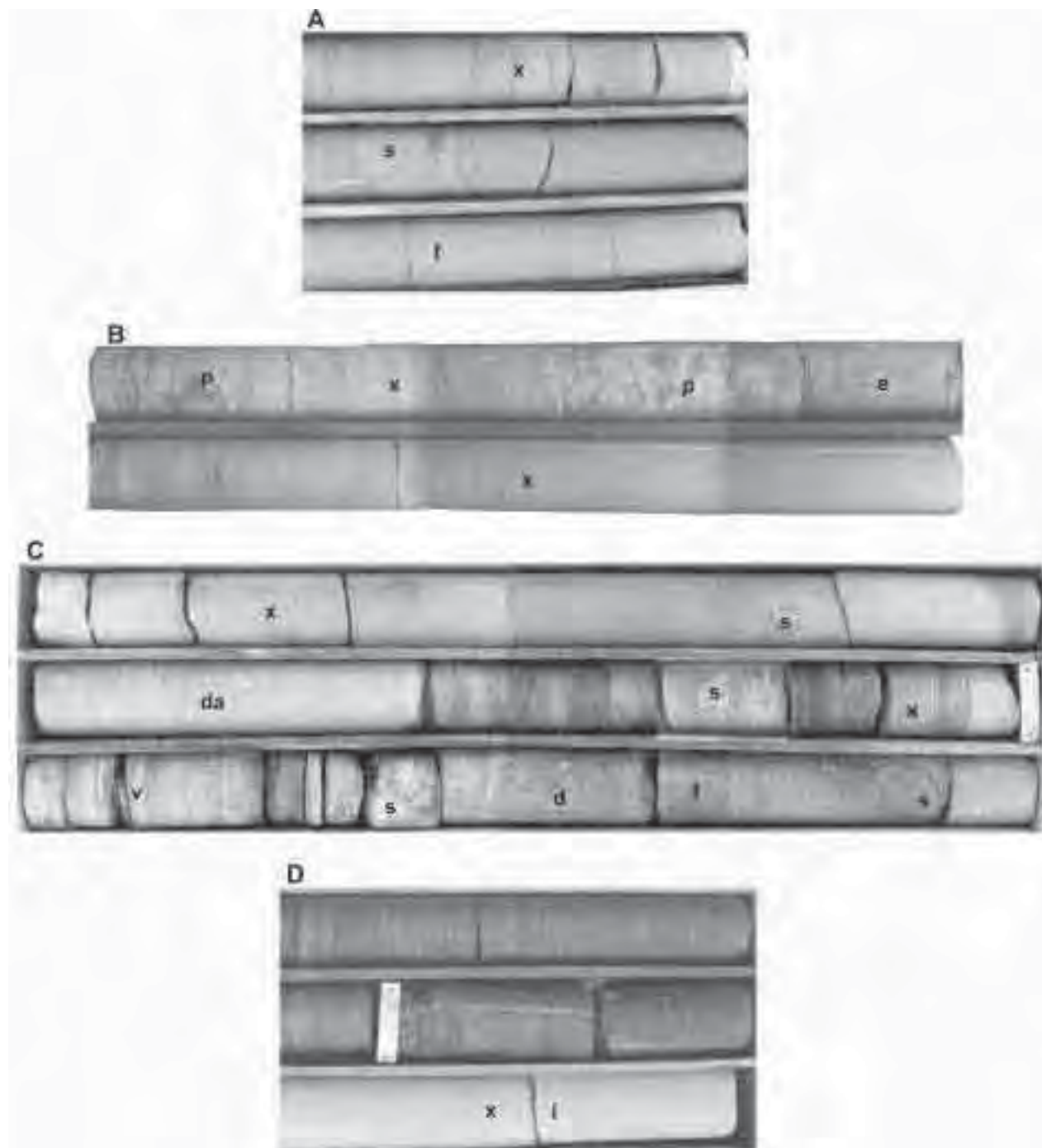
A coluna de 60 m testemunhada pelo poço SL-2 compreende iguais espessuras de duas unidades: folhelho e arenito subordinado, entre 60 e 30m (caixas 21\11), e diamictito (Prancha 3A).

A unidade “Folhelho-Arenito” é representada pela associação F, folhelho cinza-escuro com muitas lâminas silticas que lhe emprestam o aspecto várvido. Nos 3 m basais do poço SL-2 notam-se bioturbações horizontais esparsas (Prancha 3A, B), enquanto intercalações de arenito muito fino a siltico, com 2 a 4 cm de espessura, ocorrem em alguns intervalos (Prancha 3C); na parte superior da unidade tais intercalações se tornam mais espessas e freqüentes, e constituem ritmitos arenosos (de até 15 cm), com textura gradacional (Prancha 3D). A unidade Folhelho-Arenito representa um ambiente marinho plataformar de um trato de mar alto.

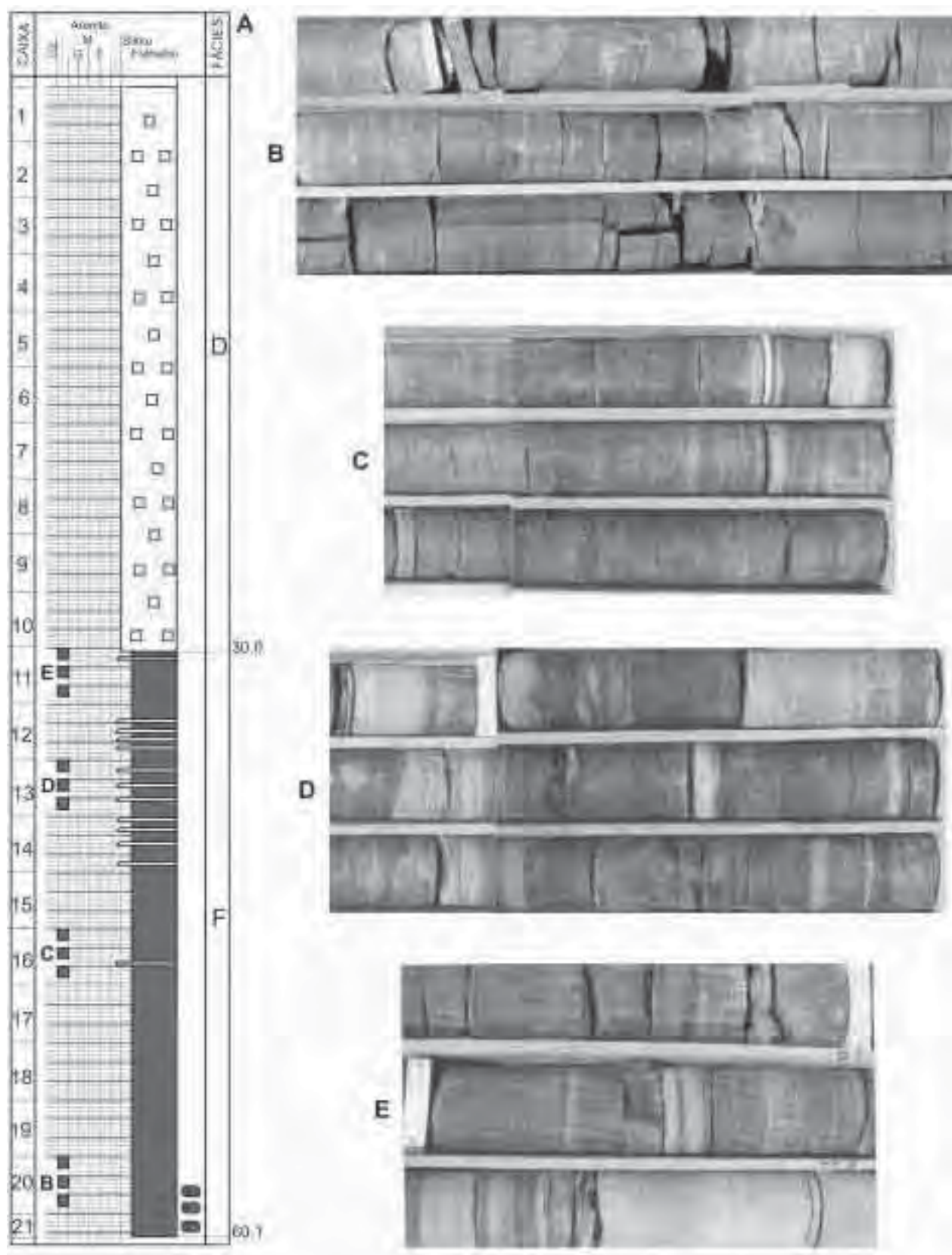
A unidade basal “Folhelho-Siltito” presente no poço TC-4 (13 m, Figura 2) e o afloramento vizinho estratigraficamente sobreposto à coluna do poço (5 m de folhelho várvido), praticamente se emendam com a seção de 30 m da unidade Folhelho-Arenito do poço

SL-2 (Prancha 3), perfazendo um total de 48 m para a Formação Rio do Sul inferior; tal espessura é muito próxima dos 50 m calculados em superfície para o “Folhelho Lontras” (Weinschütz, 2001).

Sucedendo à associação F, ocorre uma camada de 25 cm de siltito arenoso, com raros clastos caídos (topo da caixa 11; Prancha 3A, E), mas que já pertence à unidade Diamictito da Formação Rio do Sul médio.



PRANCHA 2. Testemunhos do poço BR-5 (diâmetro de 7,5 cm). [A] Arenito fino a muito fino com laminação cruzada (x), e arenito médio com estratificação cruzada a maciço (f); clasto caído (s). [B] Siltito com pseudonódulos e pilares arenosos (p, e), e arenito muito fino com laminação cruzada clino-ascendente (x). [C] com laminação cruzada clino-ascendente (x), diamictito arenoso (da), ritmitos de arenito grosso ou muito fino, passando a folhelho ou siltito (x, v), diamictito (d) e folhelho (f). Notar clastos caídos (s). [D] Folhelho e siltito com bioturbação e clastos caídos, arenito fino maciço (x) e intraclasto de folhelho (i).



PRANCHA 3. Perfil faciológico vertical e testemunhos do poço SL-2 (diâmetro de 7,5 cm). [A] Perfil vertical do poço SL-2, destacando-se a associação F representativa do “Folhelho Lontras”; notar presença de bioturbação horizontal na base do perfil (ver prancha 3-B). [B] Folhelho com lâminas silticas ou com aspecto várvido, e bioturbação horizontal. [C] Folhelho várvido, contendo raras intercalações de arenito com aleitamento gradacional [D] Folhelho várvido e freqüente arenito com aleitamento gradacional. [E] Folhelho várvido e freqüente arenito com aleitamento gradacional. O siltito arenoso do topo do testemunho, à direita, tem pequenos clastos caídos e já pertence à associação D (diamictito), Fm. Rio do Sul médio.

CORRELAÇÃO ESTRATIGRÁFICA

A correlação da Formação Mafra superior entre os poços TC-4 e BR-5 contou com o apoio de dados de superfície, como o perfil levantado entre os pontos 310 e 311 e os perfis dos pontos 218, 219 e vizinhanças

do poço TC-4 (Figura 1); isso foi necessário devido à complexidade da evolução apresentada pela seqüência Mafra superior/Rio do Sul inferior (Folhelho Lontras), como observado na Figura 3.

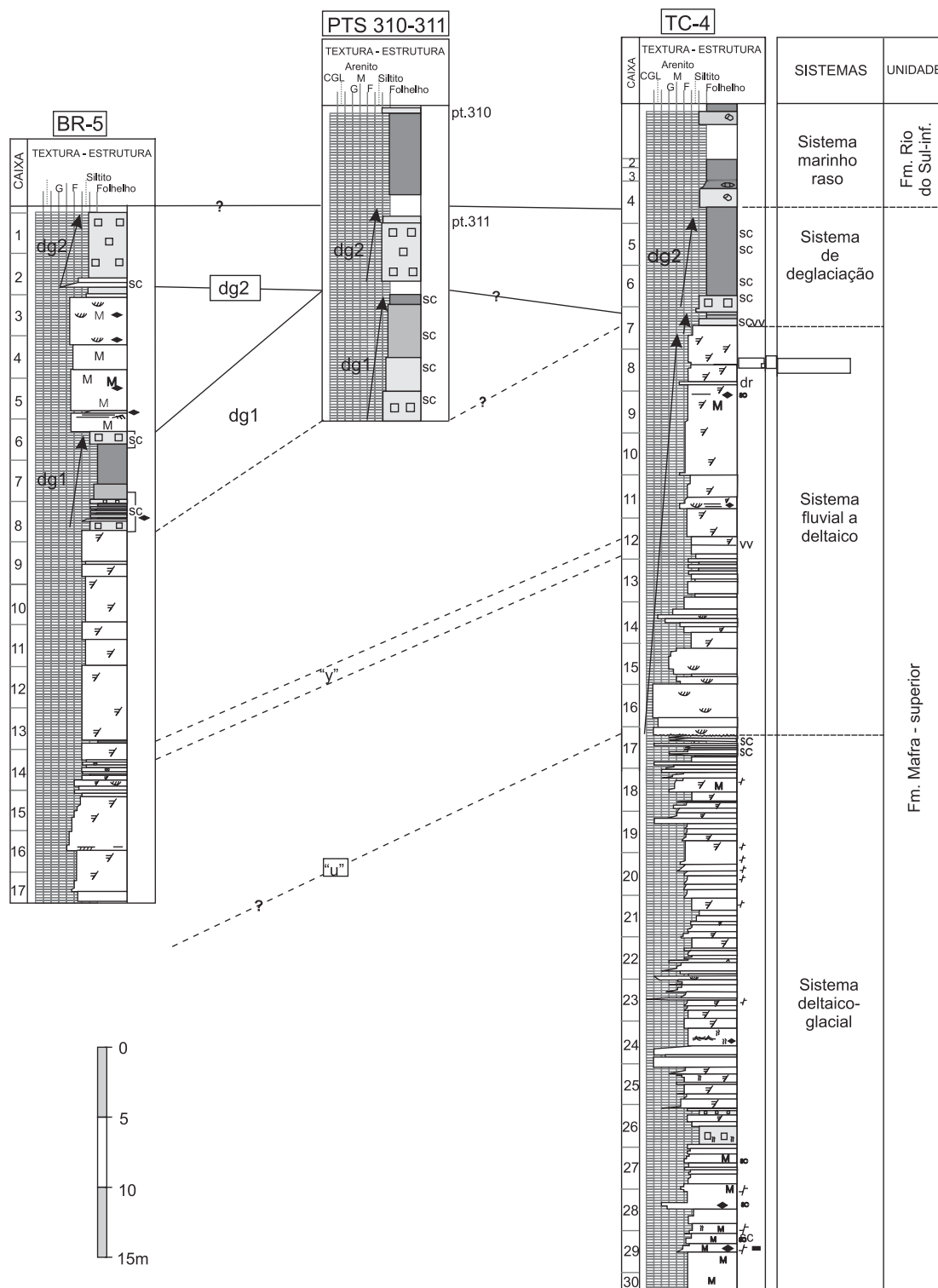


FIGURA 3. Seção correlativa entre os poços BR-5 e TC-4, com apoio de perfil dos pontos 310 e 311. Datum na base da Formação Rio do Sul inferior. Notar, na Formação Mafra superior, os sistemas deltaico-glacial, fluvial a deltaico e de deglaciação, composto de dois eventos (dg1 e dg2).

O perfil da Formação Mafra superior no TC-4 é dividido em dois intervalos arenosos: o inferior é predominantemente deltaico sob influência glacial, enquanto o superior constitui um grande ciclo fluvial a deltaico. Dois níveis de correlação foram tentativamente identificados entre o TC-4 e o BR-5: o nível “u”, que expressa o limite entre aqueles intervalos, e “y”, onde se correlacionou um delgado folhelho transgressivo do poço BR-5 com um arenito contendo *drapes* de folhelho no TC-4 (varvito?; caixa 12, Figura 3).

A passagem Mafra Rio do Sul é marcada, no poço BR-5, por dois episódios de deglaciação dg1 e dg2. Tais episódios dg1 e dg2 provavelmente ocorrem no perfil 310-311, aí faltando o arenito da base de dg2; já no poço TC-4 ocorrem dg1, resumido a um nível de varvito cinza-escuro e preto, e dg2, sem o arenito

basal (Figuras 2 e 3).

A seção marinha transgressiva, que sucede o evento dg2 no poço TC-4, é representada por siltitos bioturbados e folhelhos várlicos. Um nível de folhelho preto contendo concreções carbonáticas (portadoras de coprólitos, peixes, braquiópodes) constitui uma superfície de inundação máxima, tendo sido registrada no poço TC-4 e em seção aflorante vizinha, bem como na indústria Bandag (300 m a norte do TC-4, Figuras 1 e 3).

Sobreposto ao intervalo marinho transgressivo (poço TC-4) ocorre uma espessa seção de folhelhos várlicos, com raras e delgadas intercalações de arenito gradado (turbidito; poço SL-2), que é bastante representativa do Folhelho Lontras e caracteriza um sistema marinho plataformar de um trato de mar alto (Castro, 1999; Weinschütz, 2001).

CONCLUSÕES

Na região de Mafra, o intervalo representado pelas formações Mafra superior/Rio do Sul inferior (Folhelho Lontras) constitui uma seqüência deposicional (Weinschütz & Castro, 2004). De acordo com a proposta litocronoestratigráfica de França & Potter (1988), tal intervalo/seqüência corresponde à parte “superior” da Formação Campo Mourão, podendo-se considerar a seqüência proposta por Weinschütz & Castro (2004), “Mafra inferior/Mafra médio”, como equivalente à parte “inferior” da Formação Campo Mourão daqueles autores.

A Formação Mafra superior é dominada por arenitos e subordinadamente por diamictitos e ritmitos, em sua parte superior. Na região de Mafra-Rio Negro a espessura estimada para a unidade é de 80 m, sendo que o poço TC-4 testemunhou-a quase toda (70 m). Nela são reconhecidas três unidades deposicionais, em ordem ascendente: arenito “inferior”, arenito “superior” e arenito-diamictito-ritmito. O arenito “inferior”, só alcançado no TC-4, consiste de duas associações faciológicas arenosas e duas lamítico-arenosas. A influência glacial em sua deposição manifesta-se não só pela presença de diamictitos e clastos caídos, como também

por *drapes* argilosos (varves?), microfalhas e localmente “brechas” associadas, e rápidas variações verticais de textura.

O arenito “superior” compreende três associações faciológicas, desde conglomerados até arenitos muito finos, que se ordenam segundo ciclos granodecrescentes (CA, Ag-f e Af-mf). A primeira associação, presente apenas no TC-4, sugere deposição em canal fluvial, seguindo-se um progressivo afogamento e posterior aggradação que resulta na sedimentação deltaica das outras associações faciológicas.

A unidade arenito-diamictito-ritmito consiste de dois intervalos com progressivo afinamento ascendente, interpretados como eventos de deglaciação (dg1, dg2). Tais intervalos estão bem representados no BR-5, poço este que também exibe um corpo arenoso bem desenvolvido na base do evento dg2.

A Formação Rio do Sul inferior (Folhelho Lontras) consiste de duas unidades, uma transgressiva basal que sucede e encerra a última deglaciação (dg2), e uma marinha plataformar constituindo o trato de mar alto da seqüência ora analisada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Vitor Dequech pelo incentivo à pesquisa, proporcionado pela perfuração de seis poços para a presente tese, e aos revisores do texto, pelas oportunas sugestões apresentadas. O primeiro autor agradece ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pela bolsa de Doutorado que lhe foi concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTRO, J.C. Ciclos ou seqüências no arcabouço cronoestratigráfico da sucessão Itararé (Formação Taciba)-Rio Bonito (Membro Triunfo), Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 2, 1995, Porto Alegre. **Boletim de Resumos Expandidos...** Porto Alegre: ILEA/UFRGS (Instituto Latino-Americano de Estudos Avançados/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul), p. 66-70, 1995.

2. CASTRO, J.C. Estratigrafia de seqüências das formações Campo Mourão (parte superior) e Taciba, Grupo Itararé, leste da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 255-260, 1999.
3. FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 2, n. 2/4, p. 147-191, 1988.
4. FRANÇA, A.B.; WINTER, W.R.; ASSINE, M.L. Arenitos Lapa-Vila Velha: um modelo de tratos de sistemas canal-lobos subaquosos rasos sob influência glacial, Grupo Itararé (C-P), Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, n. 1, p. 43-56, 1996.
5. POSAMENTIER, H.W. & VAIL, P.R. Eustatic controls on clastic deposition I – sequence and systems tract models. In: WILGUS, C.K. et al. (eds.). **Sea level changes: an integrated approach**. Society for Sedimentary Petrology (SEPM), Special Publication, 1988, n. 42, p. 109-124.
6. SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F.; NOGUEIRA, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.
7. WEINSCHÜTZ, L.C. **Análise faciológica e estratigráfica do Grupo Itararé (Permocarbonífero) na região de Rio Negro-Mafra, borda leste da Bacia do Paraná**. Rio Claro, 2001. 59 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
8. WEINSCHÜTZ, L.C. & CASTRO, J.C. Arcabouço cronoestratigráfico da Formação Mafra (intervalo médio) na região de Rio Negro/PR-Mafra/SC, borda leste da Bacia do Paraná. **REM – Revista Escola de Minas**, v. 57, n. 3, p.151-156, 2004.

**Trabalho enviado para Revista Brasileira de Geologia.
Situação Ago/2006 – Prelo.**

**SEQÜÊNCIAS DEPOSICIONAIS DA FORMAÇÃO TACIBA (GRUPO ITARARÉ,
NÉOCARBONÍFERO A ÉOPERMIANO) NA REGIÃO DE MAFRA (SC), BACIA DO
PARANÁ**

Luiz Carlos Weinschütz (luizcwei@ibest.com.br)

Joel Carneiro de Castro (jocastro@rc.unesp.br)

Programa de Pós-Graduação em Geociências-Área de Geologia Regional
Universidade Estadual Paulista, Av. 24-A, 1515, 13506-900 Rio Claro, SP.

RESUMO

A Formação Taciba constitui o terceiro grande ciclo de granodecrescência ascendente do Grupo Itararé, e é formada pelos Membros Rio Segredo (arenito), Chapéu do Sol (diamictito) e Rio do Sul (ritmito, siltito e folhelho). Na região de Mafra, margem leste da Bacia do Paraná, não ocorre o arenito do Membro Rio Segredo, e o diamictito Chapéu do Sol, 65m de espessura, recobre bruscamente o Folhelho Lontras (que constitui o topo da Formação Campo Mourão, sotoposta). O estudo de quatro poços testemunhados, complementado com perfis de afloramentos vizinhos, possibilita identificar duas seqüências deposicionais para a Formação Taciba.

No poço VR-1 a seqüência inferior Taciba-I, TC-I, é representada por um intervalo bastante espesso de diamictito, contendo intercalações de arenito argiloso maciço (*slurry*), siltito e ritmito fino, com feições de escorregamento, deformação plástica e diques arenosos, e localmente de um grande bloco de turbidito *in situ*, com clasto caído. Na parte superior do perfil o diamictito apresenta estratificação, bem como grandes e numerosos clastos caídos; lateralmente a oeste, no poço PP-10, ocorrem duas sucessões faciológicas granocrescentes, com folhelho várvido, siltito e ritmito fino, contendo pseudonódulos de arenito, escorregamento e raros clastos caídos. Na seqüência TC-I, o trato de mar baixo seria representado pelo arenito do Membro Rio Segredo (ausente na área), e os sistemas acima descritos formariam os tratos de sistemas transgressivo e de mar alto.

Um intervalo arenoso, com fácies e espessuras variáveis, representa o trato de mar baixo da seqüência Taciba-II, TC-II. No poço RB-3 são 52m de turbiditos de leque canalizado (Arenito A3), sobreposto erosivamente a ritmitos várvidos e turbiditos delgados de uma bacia glaciolacustre, e sotoposto a diamictito glacial; este, por sua vez, é sucedido por uma delgada sucessão de conglomerado, arenito fossilífero bioturbado e siltito-folhelho, representando um trato transgressivo de sistemas deposicionais. No perfil S. Lourenço ocorre seção de 40m de arenito com estratificação sigmoidal (Arenito A2), de origem flúvio-deltaica. No poço PP-10 a seqüência TC-II tem 4,5m de arenito de origem flúvio-estuarina (Arenito A4) com clastos caídos, enquanto no perfil Vila Ruthes desenvolve-se um sistema de deglaciação lateralmente equivalente, com varvito tipo “telha” sobreposto por arenito muito fino de frente deltaica (Arenito A1). Sobreposto ao Arenito A4, ocorrem no poço PP-10 dois ciclos granocrescentes formados por folhelho várvido, siltito e ritmito fino, em parte com clasto caído e escorregamento, de origem gláciomarinha plataformar e que constitui o trato de sistemas de mar alto, encerrando a sedimentação Taciba na área.

PALAVRAS-CHAVE: ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS; SEDIMENTAÇÃO GLACIAL E INTERGLACIAL; CICLO DE DEGLACIAÇÃO; TURBIDITO CANALIZADO; ARENITO FLÚVIO-ESTUARINO.

DEPOSITIONAL SEQUENCES OF TACIBA FORMATION (ITARARÉ GROUP, LATE CARBONIFEROUS TO EARLY PERMIAN) IN MAFRA REGION, EASTERN PARANÁ BASIN

ABSTRACT

The Taciba Formation constitutes the third major fining-upward cycle of Itararé Group, and encompasses three members: Rio Segredo sandstone, Chapéu do Sol diamictite, and Rio do Sul rhythmite, siltstone and shale). In Mafra area, eastern margin of Paraná Basin, the Rio Segredo sandstone do not occur, and the Chapéu do Sol diamictite abruptly overlies the Lontras Shale (top unit of the underlying Campo Mourão Formation). The study of four cored wells and complementary nearby outcrops, allowed to identify two depositional sequences for Taciba Formation. In the Vila Ruthes well (VR-1) and outcrop section, the lower, Taciba-I sequence (TC-I) consists of a 65m-thick interval of diamictite with intercalations of massive argillaceous sandstone (slurry), siltstone and thin rhythmite; these lithologies display slumping, contorted beds, sandstone dykes, and also a large, in situ turbidite block with dropstone. In its upper part the diamictite is stratified and contains abundant dropstones; it passes laterally in well PP-10 (westwards) to a coarsening-upwards succession of varvic shale, siltstone and slumped thin rhythmite. In the absence of a lowstand tract (Rio Segredo Member), all the above lithofacies can be assigned to transgressive and highstand systems tract.

A sandstone interval displaying different facies and thicknesses occur at the base of sequence TC-II, possibly as a lowstand systems tract. In RB-3 well there are 52m of channelized turbidites (A3 Sandstone) overlying thin-bedded rhythmites with dropstones of a glaciolacustrine or marine setting; in the outcrop section which complements the SL-2 well, it occurs 40m of sigmoidal sandstones of fluvio-deltaic origin (A2 Sandstone). The PP-10 well recovered 4.5m of fluvial-estuarine sandstone (A4 Sandstone), and in Vila Ruthes outcrop section (complementary of well VR-1) the A1 Sandstone is composed of a deglaciation system with dropstone-bearing varvites overlain by delta front sandstone. The outcrop section which complements RB-3 well is composed of a deglaciation interval with 10m-thick stratified diamictite, overlain by thin stratified conglomerate and sandstone, bioturbated fossiliferous sandstone and shale, representing the transgressive systems tract. Finally the PP-10 well sampled the upper part of sequence TC-II: two coarsening-upward successions of varved shale, siltstone and rhythmite, with slump structures and few dropstones, forming the highstand systems tract of the sequence.

KEY-WORDS: SEQUENCE STRATIGRAPHY; GLACIAL AND INTERGLACIAL SEDIMENTATION; DEGLACIATION CYCLE; CHANNELIZED TURBIDITE; ESTUARINE SANDSTONE.

INTRODUÇÃO

A Formação Taciba, na concepção de França & Potter (1988), constitui o terceiro grande ciclo de afinamento ascendente do Grupo Itararé (Néocarbonífero a Éopermiano), Bacia do Paraná, e engloba os membros Rio Segredo (arenito), Chapéu do Sol (diamictito) e Rio do Sul (ritmito, siltito e folhelho). Aquela unidade corresponde à Formação Rio do Sul de Schneider et al. (1974), desde que se exclua da porção inferior desta o “Folhelho Lontras” (posicionado por França & Potter no topo de sua Formação Campo Mourão). Por outro lado, o terceiro ciclo/Formação Taciba compreende a quarta e quinta seqüências do Grupo Itararé na região de Mafra (este trabalho), correspondendo aos intervalos médio e superior da Formação Rio do Sul na definição de Weinschütz (2001).

Como se verá a seguir, a Formação Taciba, do mesmo modo que a Formação Campo Mourão (segundo grande ciclo do Grupo Itararé; Weinschütz & Castro, no prelo), comporta duas seqüências deposicionais, TC-I e TC-II, que tem origens glacial e interglacial, respectivamente. Contribuem para o arcabouço cronoestratigráfico da Formação Taciba os dados de quatro poços, três dos quais doados pela Fundação Geosol, complementados por afloramentos e perfis de superfície. Destaca-se na metade inferior da seqüência TC-I o espesso corpo mapeável de diamictito maciço Chapéu do Sol, de origem gláciomarinha, que se apóia diretamente no Folhelho Lontras, já que o Arenito Rio Segredo está ausente na área de Mafra. Na parte inferior da seqüência TC-II, o destaque é um expressivo corpo arenoso com diferentes espessuras e origens (arenitos A1 a A4), seguido por uma sucessão de deglaciação e por espesso folhelho marinho plataformar; sugere-se que esses três sistemas representem respectivamente os tratos de mar baixo, transgressivo e mar alto de TC-II.

BASE DE DADOS E MÉTODOS

A localização de quatro poços, e de afloramentos complementares aos mesmos, é apresentada na figura 1. Três dos poços foram doados pela Fundação Geosol, e receberam as siglas VR-1 (Vila Ruthes), SL-2 (São Lourenço) e RB-3 (Rio Butiá); cada poço alcançou 60m, em média (os números indicam simplesmente a ordem de perfuração dos poços). O quarto poço, do acervo da CPRM/DNPM, é o PP-10 (Projeto Pioneiro), e dispõe de perfis raio-gama e elétrico para calibração dos testemunhos. A aplicação do método da Estratigrafia de Seqüências a depósitos formados em condições climáticas glaciais, em bacia do tipo Intracratônica, constitui um grande desafio. Por exemplo, como enquadrar espessas seções de diamictitos gláciomarinhas, como o da parte inferior da seqüência TC-I? Devido às grandes variações laterais das fácies e ciclos de fácies, principalmente na margem da bacia, é difícil a correlação entre poços distantes mais de 20km entre si, conforme observado na margem leste paranaense por Castro (1999). Não é o caso atual, onde a distância entre os quatro poços, de 12km em média, possibilita uma razoável compreensão do arcabouço cronoestratigráfico de seqüências (figura 1). Assim, busca-se identificar ciclos de fácies (~parasseqüência), conjunto de ciclos de fácies (~conjunto de parasseqüências), e os tratos de sistemas que constituem a seqüência deposicional. De qualquer forma, os resultados tem sido bastante promissores, reforçando e detalhando a proposta de três ciclos/formações para o Grupo Itararé (França & Potter, 1988), cada qual tornando-se mais marinho no sentido ascendente, e onde podem caber pelo menos seis seqüências deposicionais (duas em cada ciclo/Formação).

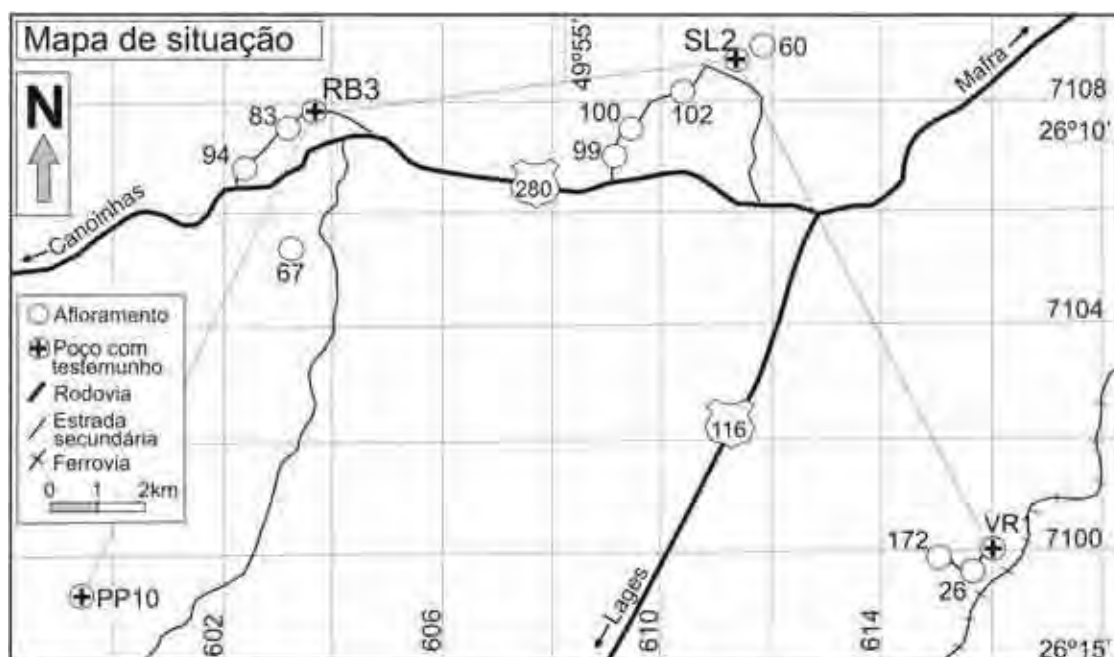


FIGURA 1. Mapa de localização dos quatro poços e afloramentos vivinhos, a sudeste de Mafra.

OS POÇOS TESTEMUNHADOS

Poço SL-2

O poço SL-2 testemunhou 30m de Folhelho Lontras (unidade superior da Formação Campo Mourão), recoberto por 30m de diamictito da Formação Taciba; nota-se na base desta última a ausência do Arenito Rio Segredo na área de Mafra (Figura 2). Tal diamictito alcança espessura de 65m, aí incluídos os 35m da grande pedreira em cujo piso foi executada a sondagem. O contato do referido corpo de diamictito com o Folhelho Lontras é abrupto; nota-se em sua parte basal, entretanto, uma textura siltica semelhante a dos siltitos arenosos turbiditos) intercalados na parte superior do Lontras, exceto pela presença de raros e pequenos clastos caídos (*dropstones*) no “diamictito” (Figura 2; ver prancha 3-E de Weinschütz & Castro, no prelo).

Assim, a fácies Diamictito **Dm** é maciça e bastante homogênea, apresentando clastos caídos que alcançam 3,5cm; sua origem deve-se a fluxos de suspensão, com a contribuição dos clastos caídos de geleiras flutuantes (*rain-out diamictite*). Na pedreira adjacente, onde foi iniciado o poço, notam-se algumas intercalações siltico-arenosas bastante deformadas, sugerindo a atuação de fluxos gravitacionais pastosos (*slurries*).

Poço VR-1

Nos quase sessenta metros testemunhados do poço Vila Ruthes, VR-1, pode-se identificar quatro associações faciológicas que são, em ordem ascendente (Figura 2): (59,2 a 36,2m), Diamictito inferior - Dm; (36,2 a 24,0m), Diamictito com intercalações arenosas - DA; (24,0 a 15,1m), Arenito, Silito, Ritmito delgado com liquefação e escorregamento - ASR; (15,1m a zero), Diamictito superior - Dm.

Os diamictitos inferior e superior, fácies **Dm**, são maciços, com matriz lamítica, e têm lâminas e lentes arenosas inclinadas de arenito argiloso (escorregamento?); os clastos caídos alcançam 8cm (Figuras 2, 3-E).

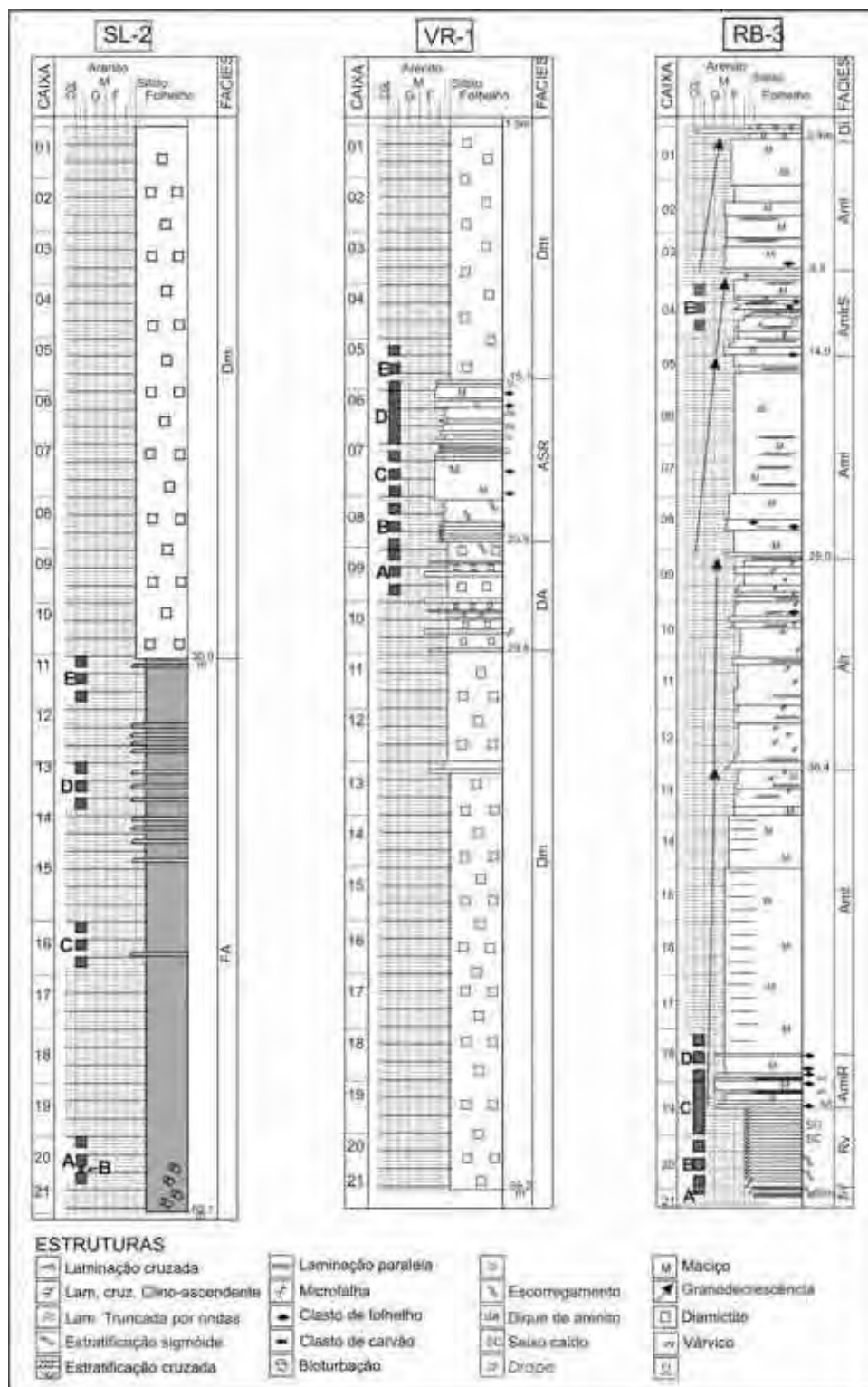


FIGURA 2. Perfis sedimentológicos dos poços SL-2, VR-1 e RB-3. As letras A a E indicadas à esquerda dos perfis dos poços VR-1 e RB-3 posicionam as fotografias dos testemunhos das figuras 3 e 4; as indicadas no perfil do poço SL-2 referem-se ao Folhelho Lontras e estão sendo apresentadas em Weinschütz & Castro (no prelo).

As fácies **DA** exibe uma textura siltica, clastos caídos e lentes arenosas inclinadas (0,1 a 0,25m de espessura), que se tornam mais frequentes para o topo do intervalo (Figuras 2, 3-A).

A associação **ASR** é formada por Arenito, Siltito e Ritmito delgado. O arenito mostra estratos com espessura entre 0,5 e 2,0m, é maciço e argiloso, e tem pseudonódulos arenosos e intraclastos argilosos (*slurry*; Figuras 2, 3-C e 3-D). Aquela litologia intercala-se com siltito, tendo um aspecto rítmico ou maciço/caótico e feições de escorregamento (Figuras 2, 3-E). Os ritmitos delgados de siltito e folhelho apresentam diques de arenito (Figuras 3-B, 3-D).

As três associações iniciais Dm-DA-ASR provavelmente constituem um ciclo tornando-se mais arenoso e “limpo” para cima (*sandier, cleaning-up*), com mais de 44m de espessura (Figura 2).

O diamictito superior passa acima, na pedreira adjacente ao poço, a ritmitos areno-argilosos delgados e ritmitos espessos com deformação plástica e feições de escorregamento; lateralmente ocorre um bloco intacto de turbidito, com 1m de espessura por 2m de largura, contendo clasto caído (Weinschütz, 2001). Isto sugere que parte de um corpo turbidítico mais extenso rompeu e deformou-se plasticamente, resultando no depósito atual que lembra a fácies ASR do poço VR-1 (ver na Figura 7 o perfil integrado do poço e afloramentos de Vila Ruthes). Este novo ciclo mais arenoso-“limpo” para cima, com as fácies Dm e ASe, tem 20m de espessura. Assim, tais ciclos poderiam indicar uma progressão temporal de processos geológicos, desde escorregamentos (fluxos plásticos), *slurries* (fluxos pastosos) e finalmente turbiditos (fluxos de turbidez), em um contexto de águas relativamente profundas.

Poço RB-3

Os sessenta metros testemunhados do poço Rio Butiá, RB-3, são representados essencialmente por 52,5m de um corpo arenoso, encaixado entre 5,0m de siltito laminado e ritmito várvido na base do poço, e 2,5m de diamictito para o topo (Figura 2).

Na porção inferior do poço (60 a 55m), ocorre a fácies **Sv**, siltito laminado, várvido, com dobras de escorregamento ou aspecto maciço devido a liquefação (Figuras 2, 4-A), sobreposta por ritmito várvido, fácies **Rv**. Esta fácies é caracterizada por pares areno-argilosos milimétricos ou com espessuras entre 1 e 8cm; neste caso, a espessura maior é devida à presença de arenitos com laminação cruzada clino-ascendente (turbidito delgado), enquanto o componente argiloso mantém a espessura milimétrica. A fácies Rv também mostra dobras de escorregamento, microfalhas e raros clastos caídos de até 1cm (Figuras 4-B, 4-C). Tais ritmitos, em escala milimétrica ou centimétrica, são interpretados como varvitos (varves sazonais).

O corpo principal de **arenito**, entre 55,0 e 2,5m, é constituído de quatro associações faciológicas (em ordem granodecrescente, AmiR, Aml, Alr, AmlrS), distribuídas em três ciclos maiores de granodecrescência ascendente (Figura 2).

O ciclo inferior tem 30m de espessura e é formado pela sucessão de três associações, AmiR, Aml e Alr. A associação **AmiR** mostra arenito grosso a médio, maciço, e conglomerado intraclástico, sendo os intraclastos formados por ritmito várvido erodido do substrato basal (fácies Rv); localmente também ocorrem clastos arredondados do embasamento (Figuras 2, 4-C). O arenito maciço apresenta duas intercalações de ritmito várvido, cada uma com 8cm, demonstrando uma estreita relação entre as duas fácies (Figuras 4-C, 4-D). A associação **Aml** é formada por arenito médio a fino, maciço e raramente com laminação horizontal, e no topo com alguma laminação cruzada clino-ascendente. A associação **Alr** é representada por estratos, de espessura 0,3 a 2,0m, com textura gradacional desde fina a muito

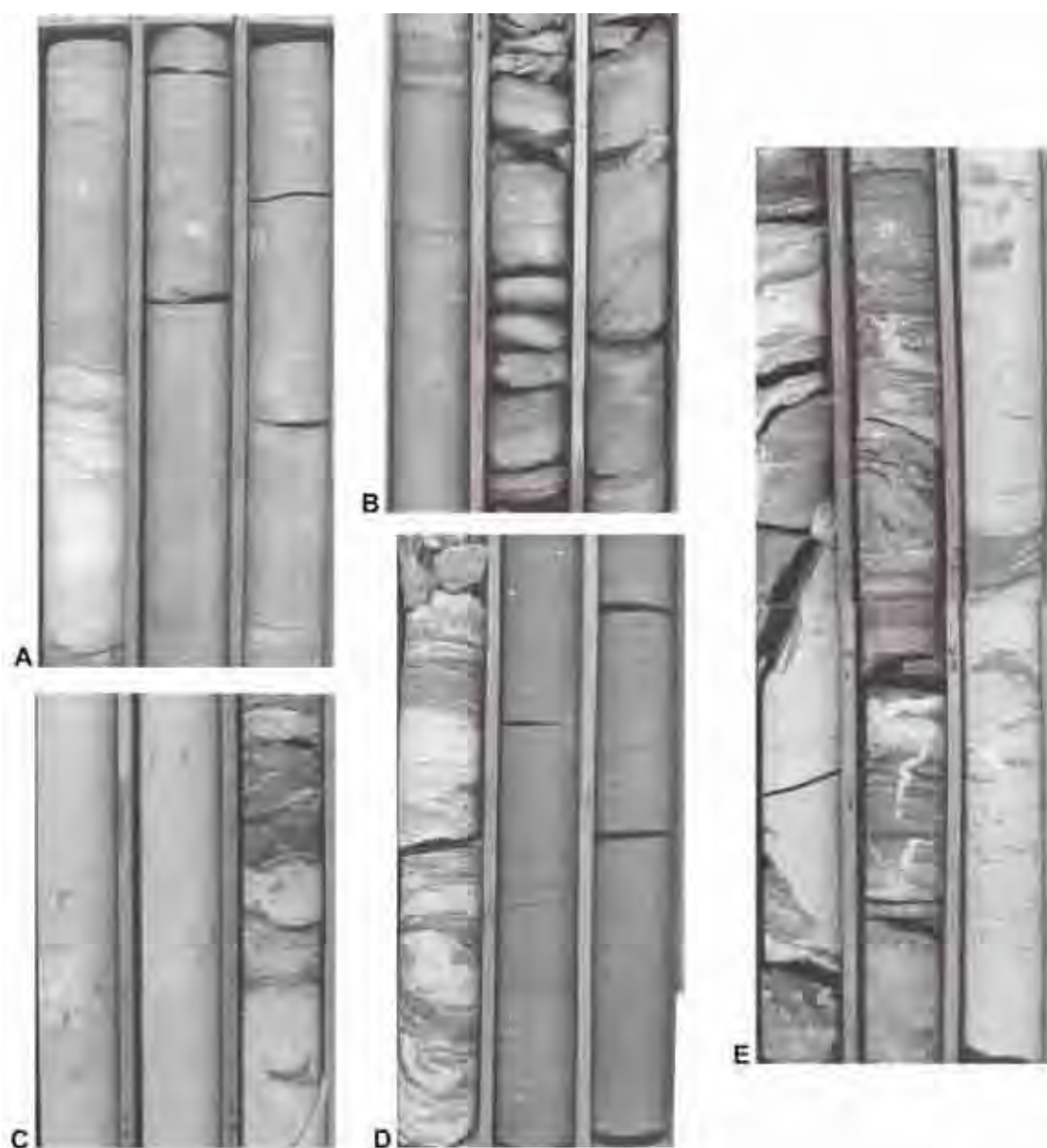


FIGURA 3. Associações faciológicas interpretadas no poço VR-1.

- A. Associação DA. Diamictito maciço, com intercalação de arenito maciço na base.
- B. Associações DA e ASR. Diamictito com matriz siltica, seixos caídos de até 2cm e escorregamento (DA), sobreposto por ritmito siltito-folhelho (centro) e siltito arenoso com escorregamento e clasto caído (ASR).
- C. Associação ASR. Arenito maciço, argiloso, com intraclastos de folhelho e liquefação (*slurry*), recoberto por siltito com lentes arenosas (ritmito?) e escorregamento.
- D. Associação ASR. Siltito-folhelho (ritmito?) com escorregamentos e diques de arenito, ao centro, e estratos de arenito maciço, argiloso, com intraclastos pelíticos (*slurry*).
- E. Associações ASR e Dm. Intercalações de siltito e arenito com escorregamento, recoberto por diamictito.

Diâmetro dos testemunhos é de 7,5cm. Caixas 9 a 5, figura 2. Base da caixa no canto inferior esquerdo, e topo no superior direito.

fina, e estrutura dominada por laminações horizontal e cruzada clino-ascendente; no último metro o arenito passa a muito fino/siltico (Figura 2).

O ciclo intermediário, com 15,5m, é formado pelas associações Aml e AmlrS. A primeira associação, Aml, apresenta localmente um intervalo rico em pequenos intraclastos argilosos, cuja orientação sugere a presença de estratificação cruzada sigmóide. A associação **AmlrS** é formada por uma sucessão granodecrescente desde arenito médio até siltito, com estruturas maciça e laminações horizontal e cruzada clino-ascendente (Figuras 2, 4-E).

O ciclo superior tem 7,0m de espessura e apenas uma associação, Aml, onde se destacam intraclastos argilosos na base do ciclo (Figura 2). Os arenitos geralmente são porosos e apresentam-se parcialmente amarelados e com anéis de *liesegang*, por efeito de laterização de superfície.

As associações faciológicas que formam o espesso corpo arenoso do poço RB-3 são originadas a partir da desaceleração de correntes de turbidez, por decantação seguida de tração (*traction plus fallout*); as fácies constituintes são identificadas com os intervalos **Ta** a **Te** da Sequência Bouma. A associação subjacente representaria o substrato lacustre-bacial onde se alojou o sistema turbidítico. A presença de intraclastos desse substrato nos arenitos grossos da associação basal AmiR sugere a canalização do leque turbidítico, fato este reforçado pela provável geometria lenticular do espesso corpo arenoso (ver Arenito A3 na figura 7, perfil integrado do Rio Butiá).

Nos 2,5m iniciais do poço foi recuperado 1,0m de diamictito cinzento a amarelado, com lâminas arenosas inclinadas (escorregamento?) e delgado nível conglomerático (Fácies **Di**, figura 2). Tal diamictito tem continuidade na pedreira adjacente, perfazendo uma espessura total de 12,0m, e faz parte de um grande ciclo de deglaciação iniciado com o arenito turbidítico anterior (ver capítulo ARCABOUÇO CRONOESTRATIGRÁFICO).

Poço PP-10

O poço PP-10 amostrou 84,0m da Formação Taciba, seguido de 190m da Formação Rio Bonito (sendo os 140m inferiores pertencentes ao Membro Triunfo, pós-glacial). A seção testemunhada da Formação Taciba, predominantemente pelítica (Membro Rio do Sul; França & Potter, 1988), pode ser dividida em três intervalos: de 275,0 a 241,0m, Pelítico inferior; de 241,0 a 236,5m, Arenoso intermediário; e de 236,5 a 191,5m, Pelítico superior.

O intervalo pelítico inferior apresenta três associações faciológicas: folhelho várvido, siltito e ritmito (FvRe), diamictito (Di) e siltito e ritmito com escorregamento (SRe) (Figura 5). A associação **FvRe** é constituída de folhelho várvido, com raras lâminas siltico-arenosas, que passa gradualmente a siltito maciço e a ritmito areno-argiloso, composto por uma alternância de folhelho e arenito muito fino, com espessura de cada par entre 2 e 5mm; quando o par é mais espesso, isso se deve à fração arenosa, que pode apresentar laminação cruzada clino-ascendente. A regularidade dos pares sugere tratar-se de varvitos; falhas associadas a escorregamentos ocorrem localmente. A fácies **Di** tem 5,0m de espessura, sendo representada por diamictito maciço, de textura siltica, com raros clastos caídos (1 a 2cm de diâmetro). A associação **SRe** contém siltitos e ritmitos areno-argilosos com feições de escorregamento, pseudonódulos arenosos e raros clastos caídos (Figura 6-A).

Ao se calibrar a descrição dos testemunhos com os perfis raio-gama e elétrico, nota-se no intervalo inferior duas sucessões granocrescentes, representadas pela associação FvRe e pelas associações Di e SRe (Figura 5). O conjunto das duas sucessões revela um ciclo maior de arrasamento ascendente (*shallowing upwards*): a presença de varvitos e seixos caídos na primeira associação indica um ambiente glaciolacustre dominado por processos de suspensão, enquanto as feições de escorregamento e liquefação da segunda associação sugerem um contexto mais instável, provavelmente de talude.



FIGURA 4. Associações faciológicas interpretadas no poço RB-3.

- A. Associação Sv. Siltito maciço "liquefeito" na base e topo da amostra, e ritmito milimétrico (varvito) com dobras de escorregamento.
 - B. Associação Rv. Ritmito arenito-folhelho em pares milimétricos (varvito), com níveis centimétricos de arenito gradando a folhelho (turbidito Tce). Notar falha sinsedimentar (canto esquerdo superior) e clasto caído (canto direito inferior).
 - C. Associações Rv e AmiR. Ritmito várvido recoberto abruptamente (meio da caixa) por arenito grosso, intraclástico, gradando a arenito médio a fino, maciço; notar níveis de ritmito várvido sobreposto ao arenito maciço, e arenito grosso cortando conglomerado (topo). Pequenos ciclos de afinamento do arenito intraclástico para arenito maciço.
 - D. Associações AmiR e Aml. Na base, ritmito várvido dentro do arenito; sucedem pequenos ciclos de arenito maciço e conglomerado intraclástico. Na raia da direita, arenito maciço (associação Aml).
 - E. Associação AmlrS. Estratos de arenito fino e muito fino, maciço a laminação cruzada clino-ascendente, gradando a Siltito, ambos com intensa liquefação.
- Diâmetro dos testemunhos, 7,5cm; caixas 21 a 18, figura 2. Base no canto inferior esquerdo, topo no superior direito.*

O intervalo Arenoso intermediário, com a associação **Amxrlb**, representa um evento de alta energia interposto entre os intervalos pelíticos (Arenito A4, Figura 5). Na base, o arenito apresenta-se grosso a médio, maciço, em contato abrupto com o ritmito subjacente; em seguida o arenito torna-se médio a fino, com estratificação e laminação cruzadas, frequentes *drapes* argilosos e intraclastos de folhelho e de diamictito (Figura 6-A). Mais acima o arenito mostra laminação paralela pouco inclinada seguida de laminação cruzada com intraclastos argilosos, e frequente retrabalhamento por ondas; no último metro, o arenito apresenta base erosiva, afinamento textural de médio a muito fino, laminação cruzada clino-ascendente, tornando-se mais argiloso e fortemente bioturbado para o topo, onde tem raros seixos caídos, (Figura 6-A). O domínio de estruturas tracionais e de suspensão, o retrabalhamento por ondas e marés (*drapes* e laminações cruzadas de sentidos opostos), e a tendência de afinamento ascendente realçada pela bioturbação no topo, sugere para o intervalo arenoso um ambiente transicional do tipo flúvio-estuarino, em um contexto transgressivo ligado a uma fase de deglaciação, que se completa com 1,0m de folhelho radiativo capeador = nível de inundação máxima (Figuras 5, 6-A).

Este último folhelho já representa a base do intervalo Pelítico superior, que consiste de três associações faciológicas formando duas sucessões/ciclos de granocrescência ascendente: a primeira com a associação RvFe, e a segunda com as associações SR e SRe (Figura 5). O primeiro ciclo é formado pela sucessão de folhelho, folhelho várvido e ritmito areno-argiloso, este com feições de escorregamento e raros clastos caídos (associação **FvRe**, figura 6-B). O ciclo seguinte compõe-se de siltito seguido de ritmito, às vezes com aspecto várvido (associação **SR**), apresentando localmente feições de escorregamento; para o topo ocorre a associação **IsAcS** com interlaminação arenito-folhelho por ondas de tempestade (Is, “microtempestite”), e arenito com estratificação convoluta gradando a siltito maciço eventualmente com pseudonódulos arenosos (AcS, turbiditos Tcd). As fácies do ciclo superior são dominadas por processos de suspensão, enquanto os ciclos representam arrasamento ascendente, de modo semelhante ao descrito para o intervalo inferior; portanto, pode-se inferir uma origem glaciolacustre ou marinha restrita, em um trato de sistemas de nível de base alto. Sobrepondo-se à Formação Taciba, em contato abrupto, ocorrem os arenitos deltaicos-dominados por rio, da Formação Rio Bonito/Membro Triunfo (Castro *et al.* 2005).

ARCABOUÇO CRONOESTRATIGRÁFICO

A seção estratigráfica da Figura 7 baseia-se em perfis de três poços “rasos” VR-1, SL-2 e RB-3, complementados com os afloramentos adjacentes a cada poço (pontos 26, 60, 63), e no perfil do poço “profundo” PP-10. Destaca-se inicialmente a identificação de duas seqüências deposicionais, TC-I e TC-II, e o *datum* da seção posicionado na superfície de inundação máxima da seqüência TC-II.

A parte inferior da seqüência TC-I revela a seção de 65m de diamictito do perfil S. Lourenço, em contato abrupto com o Folhelho Lontras. Tais diamictitos também se fazem presente no perfil Vila Ruthes, agora acompanhados de cunha arenosa-siltica-rítmica (associação ASR) que expressa a chegada de fluxos pastosos (*slurries*) à bacia. Este processo repete-se mais tarde na mesma área, com a chegada de nova cunha clástica ASR, atualmente aflorante na pedreira adjacente: estes clásticos incluem um bloco preservado de turbidito indicando um contexto relativamente profundo para a deposição da seqüência TC-I, sob influência glacial.

Tal contexto muda na deposição da parte superior da unidade. Nota-se inclusive uma significativa mudança de fácies entre os perfis Vila Ruthes e PP-10/Rio Butiá. No primeiro perfil desenvolve-se um espesso diamictito (quase 30m) e forte contribuição glacial (numerosos

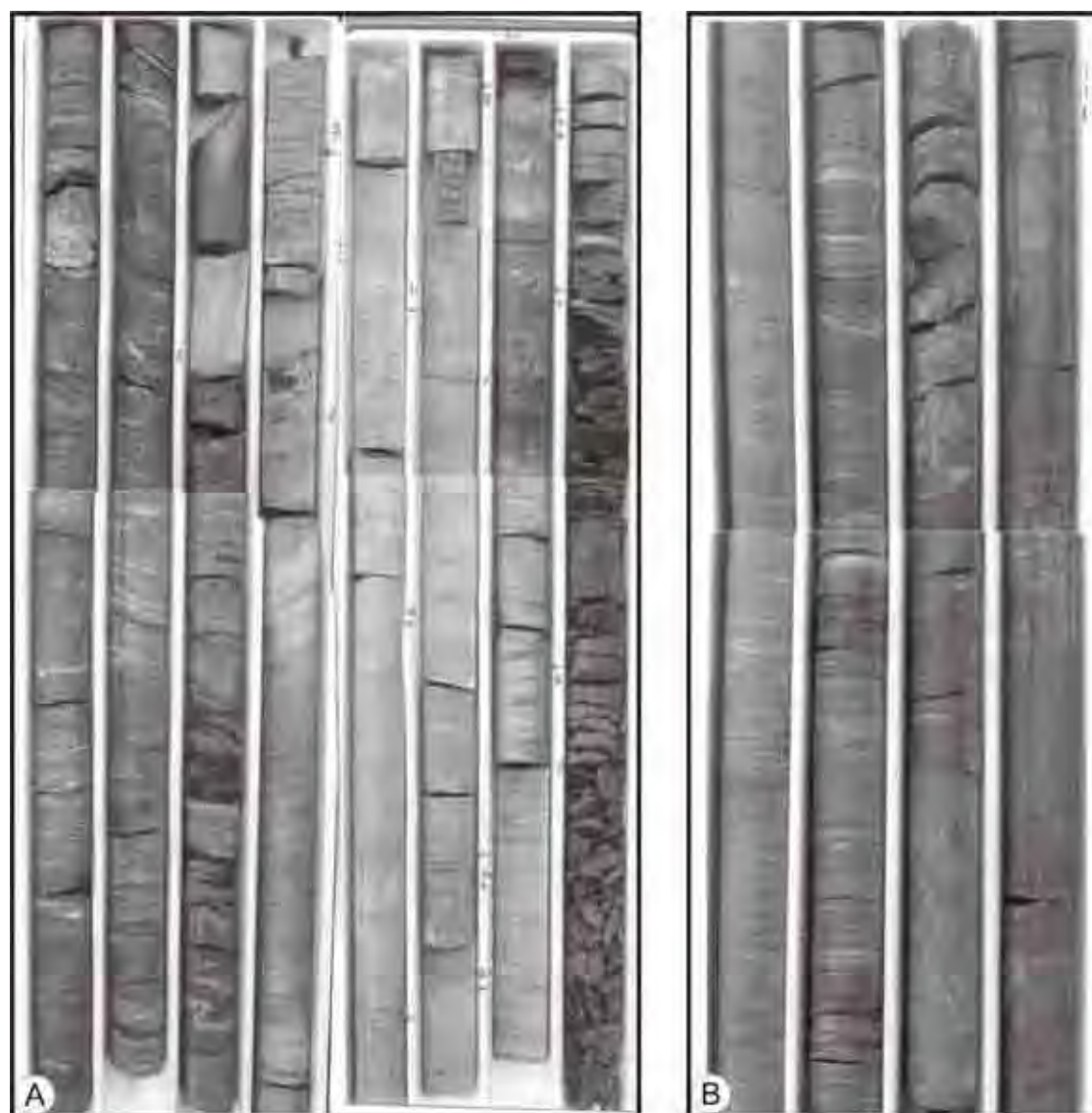


FIGURA 6. Associações faciológicas do poço PP-10.

- A. Associações SRe, Amxrlh e FvRe. Siltito e ritmito com escorregamento (SRe), recoberto por Arenito maciço (terceira raia) ou com estratificação e laminação cruzadas, e *drapes* e intraclastos de folhelho e diamictito; sucedem arenitos com estratificação sigmóide a laminação de baixo ângulo, laminação cruzada com retrabalhamento por ondas e clino-ascendente, e arenito argiloso com forte bioturbação, em contato abrupto com folhelho.
- B. Associação faciológica FvRe. Ritmito arenito-folhelho com estruturas de escorregamento, e forte deformação nos 2m superiores do testemunho; notar clasto caído de 2cm (3ª raia).

Diâmetro dos testemunhos, 4,5cm; caixas 55/54 e 52, figura 5. Base no canto inferior-esquerdo, topo no lado direito.

clastos caídos com tamanho decimétrico), indicando condições mais rasas e proximais em relação ao contexto anterior, mais profundo. Enquanto isso, os ciclos de granocrescência das associações FvRe e Di\SRe (poço PP-10) indicam condições de plataforma mais distal, com forte presença de processos de ressedimentação (escorregamentos); um contexto similar parece ocorrer no perfil Rio Butiá, com a sugestiva granocrescência das fácies Siltito e Ritmito várlicos (com raros e pequenos clastos caídos) indicando condições plataformais distais (Figura 7).

Interpreta-se a superfície erosiva basal de corpos arenosos variados como um limite de seqüências; tal contato, e a seqüência a ele sobreposta, podem ser seguidos até o sul paranaense (Castro 1999, sua seqüência 4) ou para oeste, no sentido do atual interior da Bacia do Paraná.

A *seqüência TC-II* começa com um corpo arenoso que apresenta variações significativas de espessura e fácies, relacionado a um nível de mar baixo. No perfil PP-10 dominam arenitos flúvio-estuarinos (A4), no perfil Vila Ruthes depósitos de deglaciação (varvitos tipo “telha” e arenitos flúvio-deltaicos A1), e no perfil Rio Butiá o espesso turbidito canalizado “A3”, recoberto por diamictito glacial (Figura 7). No perfil de superfície que acompanha o poço SL-2, o arenito A2 revela uma espessa seção flúvio-deltaica, em tudo diferente dos demais arenitos (Figura 7).

O folhelho marinho do perfil Rio Butiá provavelmente representa uma superfície de inundação máxima, enquanto os ciclos granocrescentes amostrados no PP-10 constituem o trato de mar alto de TC-II; este culmina com tempestitos delgados, observados no PP-10 e em pedreira próxima a Bela Vista do Sul, entre os perfis RB-3 e PP-10 (Figura 7; Weinschütz 2001).

CONCLUSÕES

A Formação Taciba, unidade superior do Grupo Itararé, constitui uma grande seqüência ou ciclo de afinamento textural ascendente, representado por arenito, diamictito, ritmito e siltito/folhelho, dos membros Rio Segredo, Chapéu do Sol e Rio do Sul (França & Potter 1988). Aquela unidade corresponde à Formação Rio do Sul (excluindo-se desta o Folhelho Lontras) de Schneider et al. (1974), ou à seqüência Rio do Sul-médio\Rio do Sul-superior proposta por Weinschütz (2001) para a região de Mafra. Poços testemunhados, integrados com os respectivos perfis aflorantes vizinhos, possibilitam construir e correlacionar quatro seções compostas, caracterizando duas seqüências para a Formação Taciba (TC-I e TC-II), que correspondem às duas divisões da “seqüência Rio do Sul”(Weinschütz, 2001).

Na área de Mafra não ocorre o arenito basal da Formação Taciba (Membro Rio Segredo), que caracteriza o trato de mar baixo\transgressivo da seqüência TC-I; o mesmo é encontrado a oeste, no sentido da atual porção central da Bacia do Paraná, ou para o centro-sul catarinense. Assim, o diamictito Chapéu do Sol sobrepõe-se direta e abruptamente ao Folhelho Lontras; uma significativa coluna de diamictito, contendo níveis de arenito ressedimentado, ocorre no perfil de Vila Ruthes e pode representar o trato de sistema de mar alto de TC-I. Este também inclui, em sua porção superior, as duas sucessões granocrescentes de folhelhos várlicos e delgados ritmitos amostrados no poço PP-10 (Membro Rio do Sul).

A seqüência TC-II inicia com a deposição de sistemas arenosos, com grande variedade de fácies e espessuras. Aí se destaca uma espessa seção de turbidito canalizado no perfil Rio Butiá (Arenito A3), recoberta por diamictito, arenito bioturbado e folhelho marinho, numa sucessão transgressiva relacionada a uma deglaciação. No PP-10 o ciclo de fácies do Arenito A4 é de origem flúvio-estuarina, sendo recobertos abruptamente por folhelho marinho. Tal conjunto caracteriza os tratos de mar baixo e transgressivo, equivalente a um ciclo de

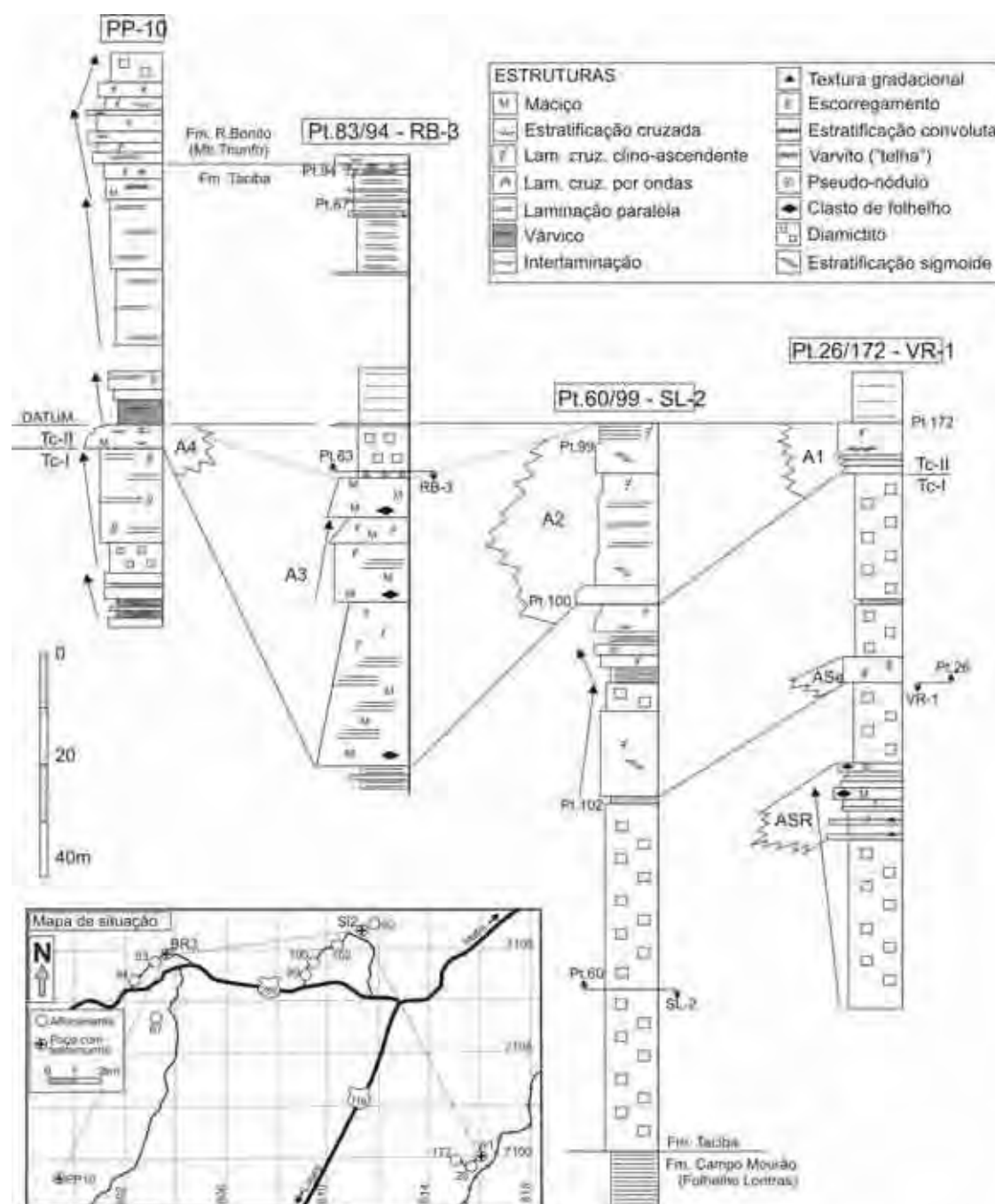


FIGURA 7. Correlação entre os perfis de poços, complementados com perfis de afloramentos vizinhos, e *datum* na superfície de inundação máxima da sequência TS-II; os arenitos A1 a A4 formam a porção basal desta sequência.

deglaciação, como os demais arenitos (A1 e A2); sucedem no PP-10 sucessões granocrescentes e de arrasamento ascendente de siltito e ritmito, seguidas de arenitos convolucionados\ siltitos liquefeitos e tempestitos delgados para o topo de TC-II, que vêm a representar o trato de sistemas de mar alto.

Dentro dessa evolução, sucedem-se os arenitos flúvio-deltaicos pós-glaciais da Formação Rio Bonito/Membro Triunfo, formando nova seqüência deposicional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Vitor Dequech (GEOSOL) pelas sondagens proporcionadas à presente Tese de Doutorado (LCW), que acrescentaram novos conhecimentos estratigráficos sobre o Grupo Itararé. Os agradecimentos se estendem ao DNPM/CPRM, pelas facilidades oferecidas quanto ao acesso a testemunhos e perfis do poço PP-10. O primeiro autor também agradece ao CNPq pela Bolsa de Doutorado.

REFERÊNCIAS

- Castro, J.C. 1999. Estratigrafia de Seqüências das formações Campo Mourão (parte superior) e Taciba, Grupo Itararé, leste da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**:255-260.
- Castro, J.C.; Weinschütz, L.C.; Castro, M.R. 2005. Estratigrafia de Seqüências das formações Taciba e Rio Bonito (Membro Triunfo) na região de Mafra/SC, leste da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **13**:27-42.
- França, A.B. & Potter, P.E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **2**:147-191.
- Rocha-Campos, A.C. 1966. Novas ocorrências de fósseis marinhos no Grupo Tubarão em S. Paulo e Santa Catarina. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **15**:5-13.
- Schneider, R.L.; Mühlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.F.; Nogueira, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: S.B.G., Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, *Anais*, **1**:41-65.
- Weinschütz, L.C. 2001. *Análise faciológica e estratigráfica do Grupo Itararé (Permocarbonífero) na região de Rio Negro-Mafra, borda leste da Bacia do Paraná*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 59p.
- Weinschütz, L.C. & Castro, J.C. A evolução das formações Mafra-superior e Rio do Sul-inferior (Grupo Itararé, Permocarbonífero), em sondagens testemunhadas da região de Mafra (SC), margem leste da Bacia do Paraná. *Geociências* (no prelo).

Estratigrafia de seqüências das formações Taciba e Rio Bonito (Membro Triunfo) na região de Mafra/SC, leste da Bacia do Paraná

Sequence stratigraphy of Taciba and Rio Bonito formations in Mafra/SC area, eastern Paraná Basin

Joel Carneiro de Castro | Luiz Carlos Weinschütz | Marília Rodrigues de Castro

resumo

Seis seqüências deposicionais nas formações Taciba e Rio Bonito (Membro Triunfo “inferior”) são definidas e mapeadas em sondagens rasas do norte catarinense. Cada seqüência é formada por dois tratos de sistemas: um inferior, arenoso (mar baixo) e um superior, argiloso ou lamítico (mar alto). Das três seqüências da Formação Taciba, a basal S_0 só é totalmente conhecida em subsuperfície profunda, onde a espessa seção de arenitos turbidíticos do trato inferior, Membro Rio Segredo, mostra adelgaçamento para leste e chega a se ausentar na faixa aflorante. A seqüência S_1 revela grandes variações de espessura e fácies de seus arenitos, desde delgado sistema flúvio-estuarino a espesso sistema turbidítico de leque canalizado; o trato superior argiloso da seqüência, do mesmo modo que o seu congênere de S_0 , exibe sistema marinho no poço PP-11, ou marinho com influência glacial no PP-10, a sul-sudeste. A seqüência S_2 apresenta espesso corpo arenoso de origem marinha rasa, restrito a uma única sondagem (PP-11); o trato superior é dominado por siltitos maci-

ços de suspensão (*slurry*), intercalados com tempestitos delgados/distais. Nas seqüências do Triunfo “inferior” (ou “transição Taciba-Triunfo”), o trato inferior de S_3 marca a chegada de arenitos de frente deltaica medial a proximal, sistema esse também característico da seqüência S_4 ; nota-se nesses sistemas um sentido norte-sul de progradação e espessamento, do PP-12 (planície a frente deltaica proximal) ao PP-9 (frente deltaica medial). O trato superior dessas seqüências é formado por diamictitos, com exceção da seqüência S_3 , com folhelhos e siltitos marinhos do poço PP-12 para norte. Ao contrário do sentido N-S das regressões deltaicas, os diamictitos marinhos “transgressivos” provêm de fonte glacial a sul-sudeste. A seqüência S_5 consiste em depósitos fluviais (PP-12) e de dois ciclos transgressivos, com sistemas flúvio-estuarinos a marinhos; uma exceção é o poço PP-10, que apresenta sistemas de deglaciação e marinho.

(originais recebidos em 10.03.2005)

Palavras-chave: Bacia do Paraná | Formação Taciba | Formação Rio Bonito | estratigrafia de seqüências | Paleogeografia

abstract

The Taciba and Rio Bonito ("lower" Triunfo Mbr) formations are divided into six depositional sequences based on cores, gamma-ray and electrical logs from shallow drillings from northern Santa Catarina State. Each sequence is formed by two systems tracts, a lower one, sandy (lowstand) and an upper one, shaly (highstand). The Taciba Formation has three sequences, S_0 to S_2 ; sequence S_0 has a thick turbidite sandstone at the base (Rio Segredo Member) that pinches out towards the eastern margin and even disappears in the Mafra outcrop area. Sequence S_1 varies from a thin fluvial-estuarine system to a thick turbidite sandstone of a channelized fan system; S_1 upper shaly system tract is marine in well PP-11, and it is glacially-influenced in well PP-10. Sequence S_2 is a thick sandstone body of shallow marine origin, but restricted to one well (PP-11); its upper shaly tract is dominated by massive siltstones intercalated with thin, distal tempestites. The "lower" Triunfo Member (or "Taciba-Triunfo transition") begins with the arrival of deltaic clastics of sequence S_3 lower tract, coarsening-up from medial- to proximal delta front sandstones. Sequence S_4 is quite similar to S_3 , both showing sandstone progradation from north to south, as opposed to the southwest-sourced transgressive diamictites. Sequence S_5 consists of fluvial deposits at well PP-12, and two transgressive cycles from wells PP-11 to PP-9, each one of them composed of fluvial-estuarine to marine systems. Well PP-10 is an exception, where the lower cycle presents deglaciation to marine deposits.

(expanded abstract available at the end of the paper)

Keywords: : Paraná Basin | Taciba Formation | Rio Bonito Formation | sequence stratigraphy | Paleogeography

introdução

Na margem leste da Bacia do Paraná, a porção sul-paranaense e norte-catarinense representa um contexto estratigráfico bastante significativo no que diz respeito aos grupos Itararé e Guatá (Permocarbonífero), associado a um grande número de informações de subsuperfície e de afloramentos.

Das três formações que compõem o Grupo Itararé, Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul,

as duas primeiras têm suas seções-tipo naquela área (Schneider *et al.* 1974), devendo-se lembrar a correspondência aproximada entre aquelas unidades e as formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, definidas em subsuperfície por França e Potter (1988). A área dispõe de três sondagens profundas da Petrobras, que objetivaram aqueles grupos como principais prospectos da bacia; mais recentemente, seis sondagens rasas e testemunhadas possibilitaram realizar uma significativa amostragem do Grupo Itararé na região de Mafra-Rio Negro, margem leste.

No Grupo Guatá destaca-se a Formação Rio Bonito, alvo de numerosas sondagens testemunhadas/perfiladas da CPRM para a pesquisa de carvão, e dos três membros que representam a unidade – Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis – os dois primeiros têm suas seções-tipo na área em epígrafe.

Este estudo utiliza os dados de subsuperfície para caracterizar a evolução cronoestratigráfica das formações Taciba (porção superior) e Rio Bonito (Membro Triunfo). Na primeira unidade são investigadas três seqüências deposicionais que representam, S_0 , S_1 e S_2 , esta última de ocorrência local (poço PP-11); o Membro Triunfo é dividido em duas partes, sendo a inferior designada informalmente "transição Taciba-Triunfo" e constituída de três seqüências deposicionais de alta freqüência, S_3 , S_4 e S_5 . Castro *et al.* (1999) nomearam originalmente tais seqüências no norte catarinense, mas diferindo do estudo aqui apresentado em dois pontos: as atuais S_4 e S_5 correspondem à " S_4 " daqueles autores, e a seqüência S_2 é agora restrita ao poço PP-11, sem correspondência nos poços vizinhos.

Assim, objetiva-se, aqui, compreender a evolução glacial Taciba ao pós-glacial Triunfo, por meio da caracterização e mapeamento de seis seqüências deposicionais em subsuperfície rasa, e da extensão dessas seqüências às sondagens profundas do interior da bacia.

base de dados e métodos

Os dados que embasam o estudo são testemunhos das sondagens rasas PP-9 a PP-12 (fig.1),

que foram descritos e fotografados de modo a se construírem perfis verticais de texturas e estruturas sedimentares e assim identificar as fácies, sucessões de fácies, tratos de sistemas e seqüências deposicionais, bem como suas respostas nos perfis raio-gama e elétrico. Os perfis verticais daquelas sondagens são cronocorrelacionados por meio de uma seção estratigráfica, possibilitando efetivar o mapeamento de seis seqüências deposicionais no intervalo da Formação Taciba ao Membro Triunfo-inferior (“transição Taciba-Triunfo”). A seqüência basal S_0 só foi amostrada em sua porção superior através das sondagens PP-10 e PP-11. As outras duas seqüências Taciba têm uma porção inferior arenosa (S_1) ou areno-argilosa (S_2), e uma porção superior argilosa. As três seqüências Triunfo são consideradas de alta frequência (Mitchum Jr. e Van Wagoner, 1991) e com uma estrutura simples: um trato de sistemas inferior, arenoso, “de mar baixo”, e um trato de sistemas superior, argiloso ou lamítico, de “mar alto”. Tal estrutura é comparável à de um ciclo regressivo-transgressivo R-T (Galloway, 1989).

Esse arcabouço cronoestratigráfico é estendido ao interior da Bacia do Paraná por meio de seção ligando o PP-11 aos poços profundos da Petrobras (1-CN-2-SC ao 2-PUST-1-SC), e assim obtendo-se um painel correlativo regional das formações Taciba e Rio Bonito.

contexto estratigráfico

Em subsuperfície, o Grupo Itararé é formado por três grandes ciclos de afinamento ascendente (conglomerado, arenito, diamictito, ritmito, siltito e folhelho), que foram formalizados como formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (França e Potter, 1988). Tais unidades correspondem aproximadamente às formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul, de Schneider *et al.* (1974); a única diferença é quanto ao posicionamento do marco “Folhelho Lontras”, no topo da Formação Campo Mourão (França e Potter, 1988) ou na base da Formação Rio do Sul (Schneider *et al.* 1974). A Formação Taciba compreende uma seção arenosa na base (Membro Rio Segredo),

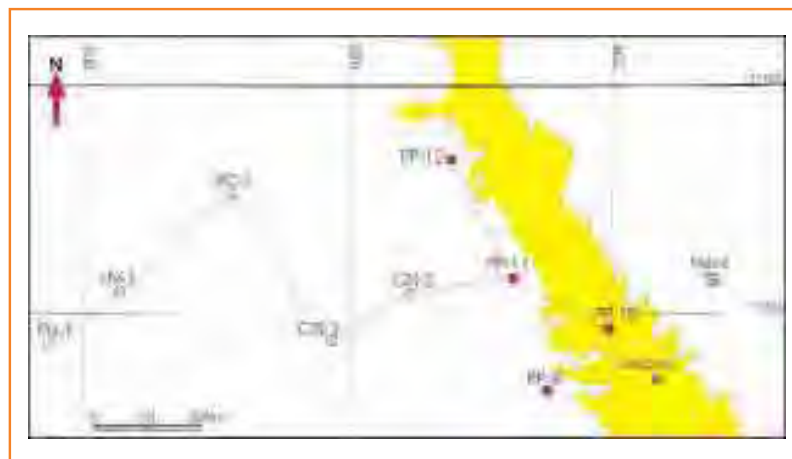


Figura 1

Mapa de localização das sondagens e seções estratigráficas, com os poços rasos testemunhados da região de Mafra/SC, PP-9 a PP-12, e os poços profundos 2-PUST-1-SC a 1-CN-2-SC. Em amarelo, a faixa aflorante da Formação Rio Bonito.

Figure 1

Location map in Mafra region, northern Santa Catarina, showing the shallow cored wells PP-9 to PP-12 and deep wells 2-PUST-1-SC to 1-CN-2-SC. The outcrop belt of Rio Bonito Formation is shown in yellow.

sobreposta por diamictito (Membro Chapéu do Sol) e por ritmito, siltito e folhelho (Membro Rio do Sul) (França e Potter, 1988). O Grupo Guatá é representado pelas formações Rio Bonito e Palermo, a primeira subdividida nos membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (Schneider *et al.* 1974). São investigados, aqui, a Formação Taciba e o Membro Triunfo-“inferior”.

A seção estratigráfica da figura 2 passa por poços da margem leste da bacia, do 1-CN-2-SC, próximo à faixa de afloramentos, até o 2-PUST-1-SC, mais para o interior da bacia; nessa seção está incluído o poço PP-11, que a conecta com a seção passando pelas sondagens rasas PP-12 a PP-9. A presente correlação detalha aquelas apresentadas anteriormente em Schneider e Castro (1975) e Castro (1991).

Na Formação Taciba, destaca-se o corpo arenoso basal, Membro Rio Segredo, que se adelgaça para leste e é sucedido por espessa seção pelítica do Membro Rio do Sul. Esse conjunto constitui uma seqüência deposicional, informalmente designada S_0 , que foi amostrada em sua porção mais superior através das sondagens rasas PP-10 e PP-11. Duas outras seqüências da Formação Taciba, cada qual formada por constituintes arenoso e pelítico, são identificadas no PP-11: somente a inferior (S_1) se estende para dentro da bacia, enquanto a S_2 é lenticular, de natureza local (fig. 2).

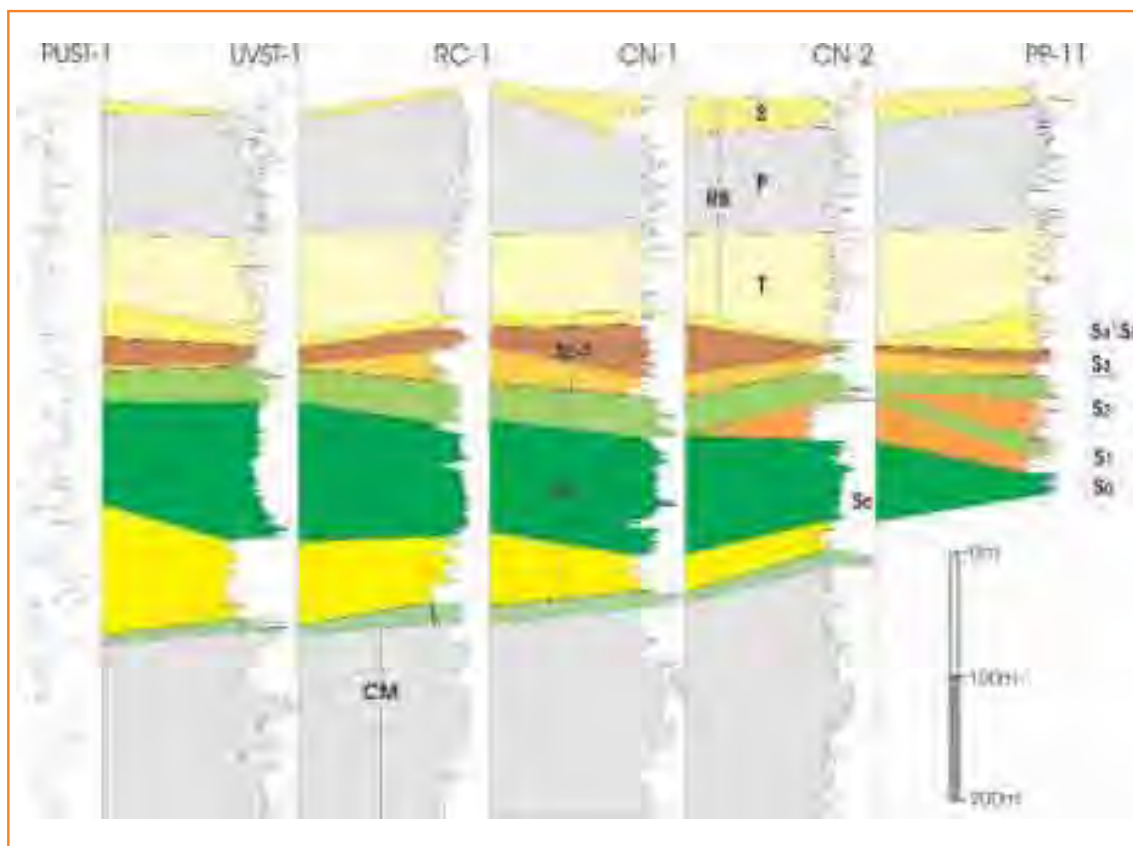
O Membro Triunfo é dividido em dois intervalos, um inferior, designado informalmente “Transição Taciba-Triunfo”, e um superior, que não é

Figura 2

Seção estratigráfica entre os poços profundos PUST-1 a CN-2, e o poço raso PP-11; datum no topo do Membro Triunfo: CM, Formação Campo Mourão; Tc, Formação Taciba com as seqüências S_0 a S_2 ; Tc-T, "transição Taciba-Triunfo" com as seqüências S_3 a S_5 ; RB, Formação Rio Bonito, com membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis (T, P, S).

Figure 2

Stratigraphic cross-section with deep wells PUST-1 to CN-2, and shallow well PP-11; datum at the top of Triunfo Member. CM, Campo Mourão Formation; Tc, Taciba Formation with sequences S_0 to S_2 ; Tc-T, "Taciba-Triunfo transition" with sequences S_3 to S_5 ; RB, Rio Bonito Formation with members Triunfo, Paraguaçu and Siderópolis (T, P, S).



objeto deste trabalho. Na base do Membro Triunfo destaca-se a primeira seção deltaica típica, que junto ao diamictito "transgressivo" que lhe é sobreposto forma a seqüência S_3 ; tal "delta basal" é considerado mais velho do que o seu correspondente na região de Rio do Sul (Castro, 1991). As outras duas seqüências da "transição Taciba-Triunfo", mapeadas em subsuperfície rasa (S_4 e S_5), são indivisas para o interior da bacia (fig. 2).

Deve-se destacar que tal arcabouço cronoestratigráfico de seqüências foi proposto inicialmente por Castro *et al.* (1999), exceto quanto à "seqüência 4", agora subdividida em S_4 e S_5 ; o atual Triunfo "superior" foi dividido por aqueles autores nas "seqüências 5 e 6". Deve-se também mencionar que a seqüência S_2 do PP-11, agora considerada lenticular, foi estendida erroneamente aos poços vizinhos por Castro *et al.* (1999).

seqüências deposicionais

Seis seqüências deposicionais são definidas através de suas fácies, sucessões faciológicas e tratos de sistemas, e correlacionadas regionalmente. É também importante a caracterização da seqüência basal S_0 que, apesar de só amostrada em seu trato superior, mostra características semelhantes às dos sistemas argilosos marinhos das seqüências sobrepostas S_1 e S_2 ; isso possibilita enquadrá-las em um mesmo sistema de mar alto típico para a Formação Taciba, contrastando com as fácies e sistemas apresentados pelo Membro Triunfo sobreposto. As seqüências S_0 a S_2 serão agora caracterizadas no poço PP-11 (fig 3), enquanto as seqüências S_3 a S_5 do Triunfo "inferior" serão ilustradas depois, através do poço PP-10.

seqüência S_0

O trato superior desta seqüência consiste em

duas litofácies principais, no poço PP-11 (fig. 3): a) folhelho com lâminas arenosas milimétricas e diminutos tubos (microbioturbação); (b) ritmitos de siltito arenoso gradando ou passando bruscamente (na forma de um *drape*) a folhelho, localmente com *spreiten* que se desloca do topo do estrato para o siltito arenoso abaixo. Não se distinguem tendências texturais, exceto por um pequeno afinamento ascendente no topo do intervalo.

Essas fácies indicam um ambiente marinho raso dominado por depósitos de suspensão, com alguma modificação através de bioturbação.

seqüência S₁

O sistema arenoso que representa a porção inferior de S₁, com 11 m de espessura, é formado por dois corpos amalgamados (fig. 3). O arenito da base exibe uma granodecrescência ascendente, desde grosso/seixoso na base, passando a grosso, maciço e espesso, e no topo a um arenito fino, laminado, com *drape* siltico, e a uma camada delgada de folhelho; nota-se no arenito grosso numerosas “manchas” circulares de porosidade, causadas por dissolução de cimento. O segundo corpo arenoso é médio e maciço, sem tendência textural (“caixa”; fig. 4). Trata-se de turbiditos provavelmente associados a um sistema de leque canalizado.

O trato superior “argiloso” apresenta três litofácies no PP-11: (a) siltito e folhelho comumente bioturbados, (b) ritmito de siltito arenoso com aleitamento gradacional ou *drape* siltico, e *spreiten* vertical, (c) ritmito de arenito fino maciço, com vestígios de laminação horizontal, e *drapes* silticos (fig. 4). Dois ciclos granocrescentes e um granodecrescente são observados (fig. 3), sugerindo um ambiente deltaico a marinho, dominado por lobos de suspensão.

seqüência S₂

No poço PP-11, o trato inferior de S₂ consiste em arenitos e folhelhos que ocorrem em dois intervalos, separados por um nível (18 cm) de conglomerado com seixos retrabalhados de embasamento, seguido de siltito com lâminas arenosas (ver fig. 3, topo da caixa 63). O intervalo

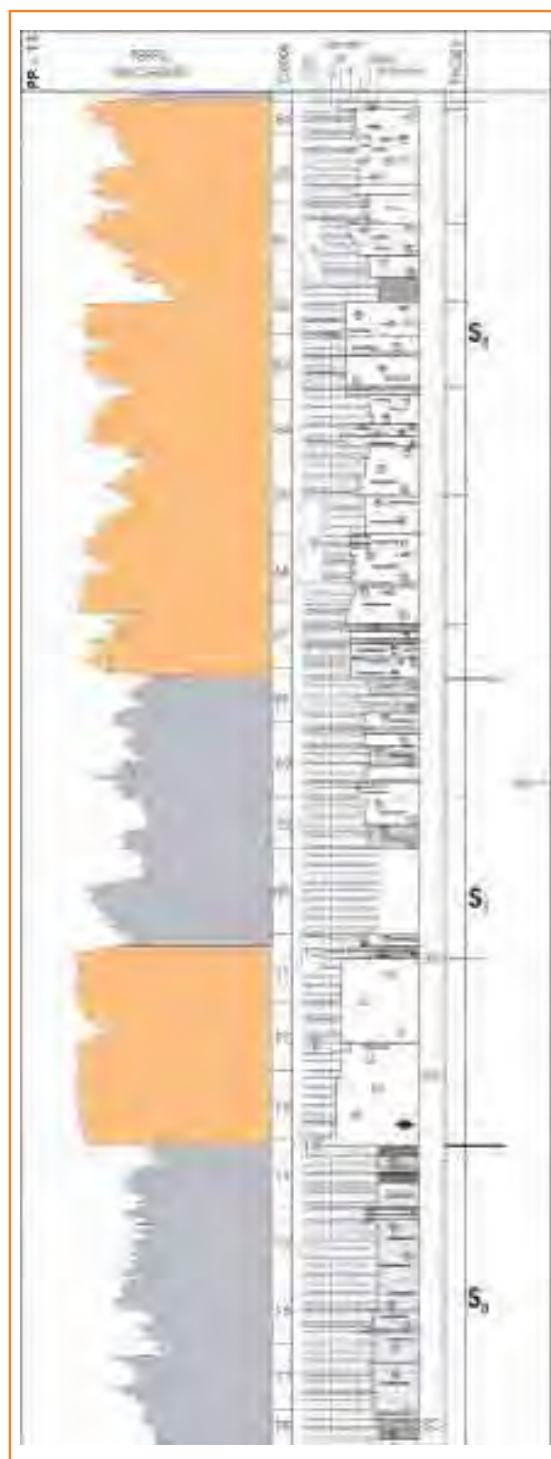


Figura 3

Perfil faciográfico do poço PP-11, com as seqüências S₀ a S₂ da Formação Taciba. Notar posição das figuras 4 a 6, à esquerda do perfil sedimentológico; para identificação das estruturas, ver figura 7.

Figure 3

Facies log of well PP-11, with sequences S₀ to S₂ from Taciba Formation. Notice the position of figures 4 to 6 on the left hand side of the sedimentologic log. For structure identification purposes, see figure 7.

inferior é dominado por sucessões de afinamento ascendente a partir de três litofácies: (a) ritmito arenoso espesso, com arenito maciço, ou maciço a laminado, e mais raramente com lamina-

Figura 4

Seqüência S_1 no poço PP-11. (fig. 4a; caixa 74) Arenito maciço, grosso a seixoso na base (S), em contato com folhelho da seqüência anterior; áreas circulares porosas indicam dissolução de cimento poiquilotópico. (4b; caixa 72) Arenito com laminações horizontal e cruzada clino-ascendente (H, R), seguido de folhelho (F); notar contato basal de arenito maciço (B, em vermelho). (4c; caixa 71) Arenito maciço do topo do trato inferior é recoberto por folhelho e ritmito arenito-folhelho, com aleitamento gradacional e bioturbação, do trato superior da seqüência S_1 .

Figure 4

Sequence S_1 in well PP-11. (4a; box 74). Coarse to pebbly, massive sandstone overlying shale from the previous sequence; the porous circular areas indicate poikilotopic cement dissolution. (4b; box 72). Horizontal and ripple drift cross-laminated sandstone (H, R) followed by shale (F); notice the basal contact of massive sandstone (B, red-colored). (4c; box 71). Top of massive sandstone (lower tract), which is overlain by shale and sandstone-shale rhythmites with graded bedding and bioturbation (S_1 upper tract).



ção cruzada e *drape* siltico; (b) ritmito delgado areno-argiloso ou siltico, com *spreiten* vertical formado a partir do topo da camada; (c) arenito e folhelho, com rara laminação ondulada truncante, freqüentemente bioturbado (fig. 5). O ritmito arenoso espesso apresenta alguma bioturbação para o topo do intervalo, próximo ao nível de conglomerado-siltito. Tais sucessões de afinamento ascendente indicam o gradual afogamento transgressivo de um lobo deltaico de suspensão.

O intervalo superior começa com arenito calcífero, fóssilífero, bioturbado, com vestígios de laminação e estratificação cruzadas, e que é recoberto abruptamente por folhelho. Tal folhelho forma a base de uma sucessão de engrossamento ascendente, formada por: (a) ritmito arenito-siltito-folhelho bioturbado, seguido de (b) ritmito de arenito e *drape* argiloso com bioturbação e *spreiten*, que se espessa para cima e mostra laminação cruzada retrabalhada por ondas, e final-



Figura 5 – Seqüência S_2 , trato inferior. Arenito com laminação cruzada clino-ascendente (R), recoberto por sucessão granocrescente de arenito maciço a laminado (raia esquerda), ritmito centimétrico/decimétrico de arenito, maciço a laminado, até folhelho, com *spreiten* vertical descendente a partir do topo da camada, e siltito bioturbado com lentes arenosas PP-11, caixas 66 e 65.

Figure 5 – Sequence S_2 , lower tract. Ripple drift cross-laminated sandstone (R), overlain by a fining-upwards succession of massive to laminated sandstone (left side), cm- to dm-scale sandstone-shale rhythmites with vertical *spreiten*, and bioturbated siltstone with sandstone lenses. PP-11, boxes 66 and 65.

mente (c) arenito médio com estratificação cruzada e *drapes* argilosos para o topo (fig. 6).

Observa-se, na fácies intermediária, a presença de *drape* duplo (*mud couplet*), reforçando a sugestão de influência de marés na sedimentação. Outro ciclo granocrescente, semelhante ao anterior, completa a unidade. Enquanto o arenito fóssilífero da base do intervalo indica ambiente marinho *shoreface*, as sucessões granocres-



Figura 6 – Sequência S_2 , trato inferior. Sucessão granocrescente, com ritmo arenito-folhelho, bioturbado (raia esquerda); arenito com laminação cruzada ou ondulada truncante, bioturbação e *spreiten* vertical, e *drapes* (D) de folhelho; ritmo mais arenoso, com laminação cruzada clino-ascendente (R) e *drapes* duplos de folhelho (*mud couplets*, terceira raia); arenito grosso com estratificação cruzada (X), passando no topo a arenito com laminação cruzada e *drapes* argilosos, e recobrimento final por folhelho. PP-11, caixas 62 e 61.

Figure 6 – Sequence S_2 , lower tract. Coarsening-upwards succession of bioturbated, sandstone-shale rhythmite (left side); bioturbated, truncated-undulate lamination sandstone with shale *drapes* (R); climbing ripple cross-laminated sandier rhythmite (R) with *mud couplets*; cross-bedded, coarse sandstone (X) passing upwards to cross-laminated sandstone with *mud drapes*, and finally to shale. PP-11, boxes 62 and 61.

Figura 7

Perfil faciológico do poço PP-10, com as sequências S_3 a S_5 da “transição Taciba-Triunfo”. Notar posição das figuras 8 a 12, à esquerda do perfil sedimentológico.

Figure 7

Facies log of PP-10 well, with sequences S_3 to S_5 from the “Taciba-Triunfo transition”. Notice position of figures 8 to 12 in the left hand side of the sedimentologic log.



Figura 8

Base da Seqüência S₃. Ritmito espesso ou delgado de arenito com estratificação convoluta (V) gradando a siltito maciço com pseudonódulos (P), intercalando-se com arenito a laminação cruzada clino-ascendente (R) ou laminação ondulada truncante (W). Arenito micáceo com laminação horizontal (raia direita). Poço PP-10, caixa 43.

Figure 8

Basal sequence S₃. Thick or thin sandstone rhythmite with convolute bedding (V) grading to massive siltstone with sandstone pseudonodules (P), intercalated with climbing ripple cross-laminated (R) or truncated undulate lamination (W) sandstones. Micaceous, horizontally laminated sandstone at far right. Well PP-10, box 43.



centes sugerem barras de marés. Deve-se lembrar que o arenito S₂ está restrito ao PP-11 (fig. 3).

O trato superior de S₂, descrito no poço PP-10 é formado por ritmito delgado de arenito e folhelho, com gradação textural e marcas de carga, intercalado com camadas espessas de siltito maciço, com pseudonódulos arenosos e aspecto liquefeito. Para o topo ocorrem intercalações de ritmitos delgados de arenito gradando a folhelho, com laminações onduladas truncantes (tempestitos). Assim, os depósitos de suspensão tornam-se mais rasos para cima, dando lugar a retrabalhamento por ondas de tempestade. Tal ambiente prodeltaico-marinho raso antecede os depósitos de frente deltaica do Membro Triunfo, que já pertencem à próxima seqüência.

seqüência S₃

Aqui aparecem os primeiros depósitos deltaicos do Membro Triunfo (trato inferior de S₃), que constituem um ciclo regressivo-transgressivo R-T (fig. 7).

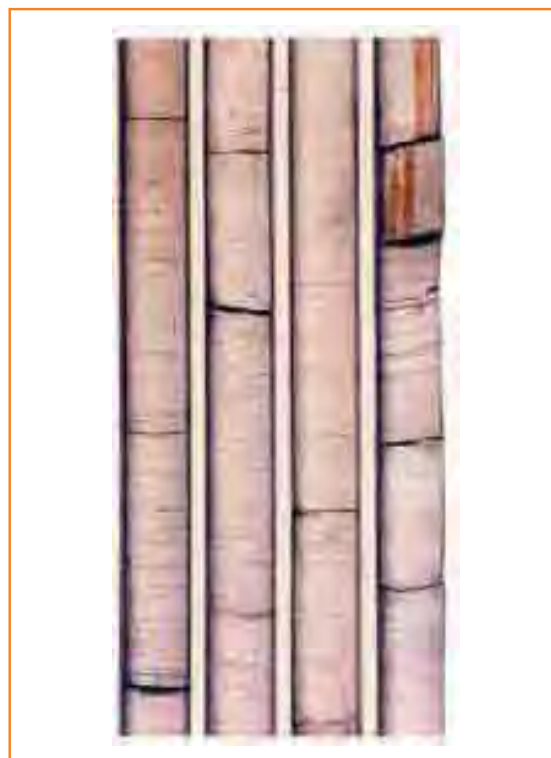


Figura 9 – Seqüência S₃, trato inferior. Arenitos com laminação horizontal (raia esquerda), laminação cruzada clino-ascendente, e estratificação cruzada com drapes argilosos (X, raia direita). Poço PP-10, caixa 42.

Figure 9 – BSequence S₃, lower tract. Sandstones displaying horizontal lamination (left side), ripple drift cross-lamination, and cross-bedding with mud drapes (X, far right). Well PP-10, box 42.

O ciclo inicia-se com delgado a espesso ritmito, formado por arenito muito fino com estratificação convoluta e siltito maciço com pseudonódulos arenosos (*slurry*), intercalado com arenito portando laminação cruzada clino-ascendente ou com laminação ondulada truncante (tempestito; fig. 8).

Tais depósitos de suspensão caracterizam uma frente deltaica medial, sobre a qual progradam arenitos com laminação horizontal, rico em lâminas micáceas na sua parte inferior (fig. 8), seguida de espesso intervalo de laminação cruzada clino-ascendente, e de estratificação cruzada, esta com *drapes* de folhelho intercalados nas lâminas inclinadas frontais (fig. 9).



Figura 10 – Sequência S_4 . Do lado esquerdo ocorre ritmito areno-argiloso com laminação ondulada truncante e, do lado direito, arenito com laminações horizontal e cruzada clino-ascendente (R), além de intraclastos e *drapes* silticos. Notar intercalações de ritmito arenito-siltito com pseudonódulos arenosos (P). A figura mostra 2 m contínuos de testemunho. PP-10, caixa 37/36.

Figure 10 – Sequence S_4 . In the left side sandstone-shale rhythmite occurs with truncated undulate lamination, and in the right side, horizontally-laminated and ripple drift cross-laminated (R) sandstone with silty intraclasts and drapes. Notice intercalations of sandstone-siltstone rhythmite with sandstone pseudonodules (P). The figure shows a two-meter section of core. PP-10, box 37/36.

Esses depósitos de “decantação seguida de tração” e de tração correspondem a uma frente deltaica proximal, progradando sobre os depósitos anteriores. Tal sucessão regressiva é sucedida por dois intervalos de arenito com laminação cruzada clino-ascendente e um corpo de folhelho com arenito intercalado semelhante ao anterior), correspondendo à fase transgressiva inicial do ciclo deltaico (fig. 7).



Figura 11

Sequência S_5 , trato inferior. Sucessão de deglaciação com 2 m de espessura: (1) conglomerado e arenito com laminação cruzada clino-ascendente (R), em contato abrupto com diamictito da sequência S_4 ; (2) arenitos com estratificação (X) e laminação cruzadas (R); (3) arenito micáceo com seixos esparsos e laminações horizontal e cruzada (R) e ritmito arenito-siltito com pseudonódulos arenosos (P); (4) ritmito arenito-folhelho com laminação ondulada truncante (W) e clasto caído (base da raia direita), intercalado com ritmito arenito-siltito com pseudonódulo arenoso (P); (5) arenito espesso com estratificação convoluta (V) a maciça, intraclastos. Poço PP-10, caixa 31.

Figure 11

Sequence S_5 , lower tract. A 2 m-thick deglaciation succession: (1) sequence S_4 diamictite abruptly overlain by conglomerate and ripple drift cross-laminated sandstone (R); (2) cross-bedded (X) and cross-laminated (R) sandstones; (3) horizontally and cross-laminated (R), micaceous sandstone with sparse pebbles, and sandstone-siltstone rhythmite with sandy pseudonodules; (4) sandstone-shale rhythmite with truncated wave laminations (W) and dropstone (base of far right side), intercalated with sandstone-siltstone rhythmite with sand pseudonodule (P); (5) thick, massive sandstone with basal convolute bedding (V) and intraclasts. Well PP-10, box 31.

Seguindo no poço PP-10, ocorre no trato superior da sequência S_3 um intervalo de diamictito com lentes arenosas, sobreposto por folhelho e interlaminação arenito-folhelho wavy, com rachaduras de sinerése (tempestito). Tal sucessão indica um afogamento transgressivo para a topo da sequência S_3 (fig. 7).

sequência S_4

O trato inferior da sequência S_4 começa com uma sucessão regressiva de arenito com laminação cruzada clino-ascendente gradando a siltito, e ritmito de arenito com estratificação convoluta gradando a siltito maciço (fig. 7). Segue-se uma fase transgressiva inicial, com ritmitos de arenito com laminação ondulada truncante e *drape* argiloso (tempestito), seguidos de ritmitos de arenito, com laminações paralela e cruzada clino-ascendente (em parte retrabalhado por ondas), e *drape* siltico; nessas duas fácies rítmicas de suspensão intercalam-se níveis de siltito maciço com pseudonódulos (fig. 10).

Em seguida desenvolve-se uma espessa sucessão de arenosidade crescente (*cleaning-up*), formada por arenitos muito finos, provavelmente menos argilosos para cima: (a) ritmitos espessos de arenito com estratificação convoluta e siltito maciço com pseudonódulos arenosos, (b) arenito com estratificação convoluta, (c) arenito com laminação cruzada clino-ascendente, alguma deformação convoluta e níveis sílticos, (d) arenito com estrutura em prato (*dish*), (e) arenito maciço a deformado por liquefação e com alguma laminação cruzada clino-ascendente.

Todo o trato inferior da seqüência S_4 , portanto, é do tipo lobo sigmoidal, dominado por material arenoso muito fino/fino, com matriz argilosa/micácea (processos de suspensão, ou *slurries*), tornando tal sucessão deltaica um reservatório relativamente pobre.

Um corpo de diamictito, com 4 m de espessura, representa o trato superior da seqüência (fig. 7). A passagem gradual do arenito com laminação cruzada clino-ascendente (trato inferior) para o diamictito é gradual e registra o episódio transgressivo representado por esta litologia (ver fig 12a).

seqüência S_5

A seqüência S_5 completa a “transição Taciba-Triunfo” na área e é bastante distinta das anteriores: enquanto S_3 e S_4 constituem sucessões deltaicas, S_5 registra dois ciclos R-T no PP-10, em contextos de deglaciação a marinho (ciclo basal), seguido de estuarino a marinho (ciclo do topo). Além disso, ao final da seqüência S_5 ocorrem arenitos marinhos de *shoreface* nos poços PP-11 e PP-9, e que se encontram erodidos no PP-12 e PP-10 devido à erosão pré-Triunfo “superior”.

O ciclo basal inicia-se com uma sucessão grãnodecrescente de deglaciação, sobreposta a diamictito da seqüência anterior (fig. 7). Em 2 m de testemunho, são nove litofácies agrupadas em cinco intervalos: (a) conglomerado seguido de arenito com laminação cruzada clino-ascendente, (b) arenito médio com estratificação cruzada seguida de laminação cruzada clino-ascendente, (c) arenito micáceo com laminações horizontal e cruzada clino-ascendente, seixos e grânulos esparsos, gradando a ritmito arenito-siltito maciço



Figura 12 – Seqüências S_4 e S_5 : transgressões graduais (A, B), e regressão brusca (C), no poço PP-10. (12a, caixa 32) Arenito com laminação cruzada clino-ascendente passando a diamictito (S_4). (12b, caixa 30) Arenito com estratificação cruzada e, no topo, com *drapes* argilosos, marcas de raiz e afinamento textural; segue ritmo areno-síltico bioturbado e areno-argiloso, e interlaminação arenito-folhelho com bioturbação (seqüência S_5 – trato superior, notar detalhe na figura à direita). (12c, caixa 29) contato “regressivo” brusco de folhelho (topo de S_5), com arenito maciço a laminado de frente deltaica proximal (Membro Triunfo “superior”).

Figure 12 – Sequences S_4 and S_5 : gradual transgressions (A, B) and sharp regression (C) in well PP-10. (12a, box 32) Rippled-drift cross laminated sandstone grading to diamictite (S_4). (12b, box 30). Cross-bedded sandstone appear at the top mud drapes, rootmarks and fining-upwards texture; bioturbated sandy-silty rhythmite, and bioturbated, sandstone-shale interlamination follow (S_5 , upper tract; see detail at right-hand side). (12c, box 29) abrupt, “regressive” contact of marine shale (top of S_5 , see figure 12b) with massive to laminated, proximal delta front sandstone (“upper” Triunfo).

com pseudonódulos, (d) ritmito arenito-folhelho com laminação ondulada truncante e seixo caído, (e) ritmito espesso de arenito, com estratificação convoluta, gradando a siltito com pseudonódulos arenosos (fig. 11). Tal sucessão granodecrescente, com depósitos de tração seguidos de suspensão, já exhibe sedimentos marinhos no quarto intervalo (d); a análise dos perfis confirma a evolução transgressiva da sucessão, que se torna mais marinha para o topo (fig. 7).

O ciclo do topo inicia-se com arenito médio portando estratificação cruzada e *flaser* de folhelho, além de intraclastos argilosos esparsos, de um ambiente flúvio-estuarino. Para o topo delinea-se um contexto transgressivo, com *flasers* mais freqüentes e estratos arenosos mais delgados, acompanhados de marcas de raiz; dando lugar a ritmitos areno-sílticos bioturbados e ritmitos areno-argilosos, e finalmente interlaminação arenito-folhelho com bioturbação (fig. 12b).

Nos poços PP-10 e PP-12, essa última litologia marinha da “transição Taciba-Triunfo” é sobreposta abruptamente por arenito maciço a laminado (fig. 12c), representando depósito de suspensão de frente deltaica do Membro Triunfo “superior”.

evolução cronoestratigráfica

A seção norte-sul da figura 13, com os poços PP-12 a PP-9, mostra a correlação das seqüências deposicionais S_0 a S_2 da Formação Taciba, e S_3 a S_5 do Membro Triunfo “inferior” (“transição Taciba-Triunfo”). Cabe destacar as variações significativas de espessura das duas unidades, entre poços distantes 20 km entre si (PP-11 a PP-10 e PP-11 a PP-9): para as seqüências superiores da Formação Taciba, de 50 m no PP-10 a 80 m no PP-11, e para a “transição Taciba-Triunfo”, de 50 m no PP-11 a 80 m no PP-9. No primeiro caso, isso se deve a variações dos tratos arenosos inferiores.

A **seqüência S_0** é formada de um trato arenoso inferior, Membro Rio Segredo e de um trato argiloso ou lamítico superior (fig. 2); deve-se ressaltar que somente este último trato é alcançado pelas sondagens PP-10 e PP-11, próximas a Maфра, e que o arenito Rio Segredo não ocorre nesta área (Weinschütz, 2001).

No poço PP-10, a parte superior de S_0 revelou ciclos de granocrescência com folhelho várvido, siltito ou “diamictito” (matriz síltica e seixos caídos sugerindo origem por “chuva de detritos”), e interlaminação arenito-folhelho com feições de escorregamento e raros clastos caídos. Nota-se assim uma influência glacial na deposição de S_0 na área do PP-10, contrastando com o ambiente marinho normal anteriormente caracterizado no PP-11 (fig. 3); ou seja, infere-se uma fonte de geleiras a sudeste da área, providas das cabeceiras do rio Hercílio ou Itajaí do Norte (Castro, 1999).

A **seqüência S_1** inicia com o trato arenoso inferior, com 11 m de arenito turbidítico no poço PP-11 (fig. 3). Outro corpo de turbidito, mais espesso (50 m), foi testemunhado na sondagem RB-1, 10 km a noroeste do PP-10; isso sugere uma origem similar para a “caixa” de arenito fino/médio do poço 1-CN-2-SC (fig. 2), anteriormente sugerida como fluvial (Schneider e Castro, 1975).

O poço PP-10 encontrou 4,5 m de arenito no trato inferior de S_1 , com indicação de um ambiente flúvio-estuarino em contexto de deglaciação. Já o trato superior consiste em uma sucessão granocrescente de folhelho, folhelho várvido e siltito com lâminas/lentes arenosas e estruturas de escorregamento; nessas litologias se observam laminações areno-argilosas muito regulares, semelhantes a varves e ocasionais clastos caídos. Assim permanece a proveniência glacial de sudeste, fundada na passagem do contexto marinho distal do PP-11, para o proximal e glaciomarinho, do PP-10 (fig. 13).

Talvez a maior evidência marinha normal do poço PP-11 encontra-se no trato arenoso inferior da **seqüência S_2** . Aqui, como já foi visto, dominam depósitos de suspensão modificados por bioturbação e sucessões de granocrescência com feições de marés; a lenticularidade do depósito, só encontrado no PP-11, sugere que se trata de um vale inciso preenchido por depósitos marinhos (figs. 3, 13).

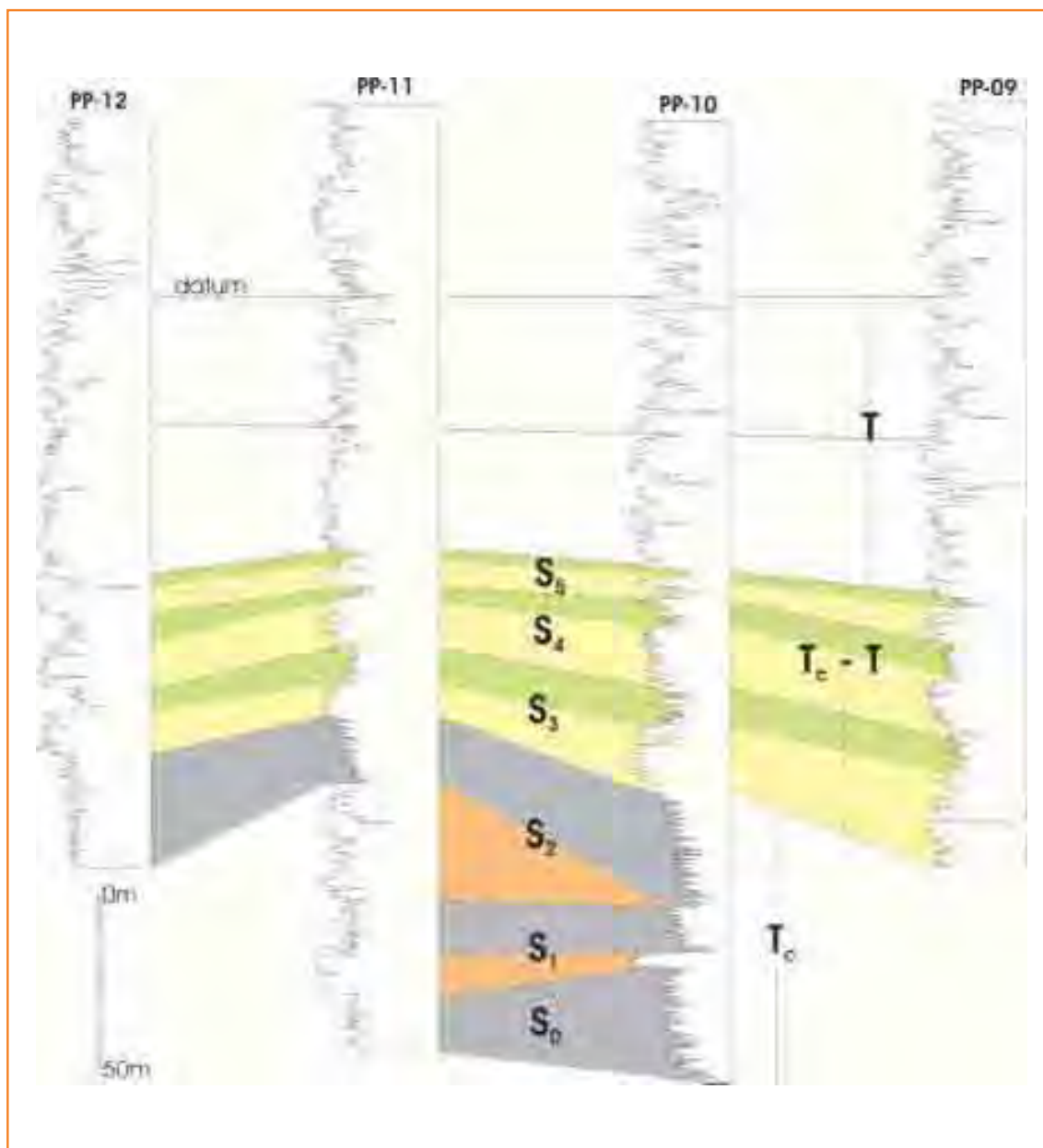
Em relação ao trato argiloso superior de S_2 , inclusive quanto à passagem para o Membro Triunfo, quase não há diferença entre o PP-10 e PP-11. O trato é representado por uma espessa suces-

Figura 13

Seção estratigráfica entre o PP-12 e o PP-9, com as seqüências S_0 a S_2 da Formação Taciba (T_c) e as seqüências S_3 a S_5 da "transição Taciba-Triunfo" (T_c-T). Datum no topo do Membro Triunfo (T).

Figure 13

Stratigraphic section between PP-12 and PP-9 wells, with Taciba (T_c) S_0 to S_2 sequences, and "Taciba-Triunfo transition" (T_c-T) S_3 to S_5 sequences. Datum at top of Triunfo Member (T).



são de argilidade decrescente (*cleaning up*), com folhelhos várvidos sucedidos por ritmitos delgados areno-argilosos e siltitos maciços de suspensão (turbiditos distais). Para o topo desenvolvem-se ritmitos, de pequeno porte, formados por arenito com estratificação convoluta e siltito com pseudonódulos arenosos (depósitos de suspensão tipo *slurry*), associados a ritmitos delgados de arenito e folhelho com laminações onduladas truncantes e aleitamento gradacional (tempestito

distal). Tal associação de depósitos finos de suspensão e de ondas de tempestade constituem um sistema prodeltaico a marinho raso.

Na base da **seqüência S_3** , ritmitos espessos de arenito com estratificação convoluta e siltito com pseudonódulos (*slurry*), associados a arenitos com laminação cruzada clino-ascendente, constituem depósitos de suspensão de frente deltaica medial. São sucedidos por arenitos maciços ou com laminação horizontal e cruzada clino-ascendente (sus-

ensão), e por arenitos com estratificação cruzada (tração), em um contexto de frente deltaica proximal (PP-11 e PP-10). Tal contexto regressivo mostra um sentido de progradação para sul, desde o PP-12, com fácies mais tracionais de planície deltaica, ao PP-9, de frente deltaica medial dominada por *slurries* de suspensão. Essa relação faciológica é refletida na isópaca da sigmóide deltaica, de 12 m no PP-12 para 26 m no PP-9 (fig. 13).

O trato superior da seqüência é formado por diamictito, com 12 m a 10 m de espessura (do PP-9 ao PP-11), e por folhelho seguido de interlaminação *wavy*/bioturbação (6 m de espessura), do poço PP-12 para o norte. Isso mostra a maior influência glacial a sul (PP-9). O perfil do PP-12 também mostra que o ciclo ou seqüência é basicamente R-T-R, como os ciclos-sequências da Formação Taciba: o trato arenoso deltaico-regressivo sofre retrabalhamento transgressivo na sua parte superior, que culmina com o folhelho da base do trato argiloso, e deste regredindo para a interlaminação *wavy*.

A seqüência S_4 é parecida com a S_3 quanto à estrutura básica de um ciclo deltaico R-T, com perfis granocrescente e granodecrescente (“funil” seguido de “sino”) nos poços PP-11 a PP-9. No PP-10, a espessura é maior (19 m) e os arenitos são finos/muito finos, micáceos, com liquefação intensa (*slurry*) e fluidização local (estrutura em prato), assim demonstrando um contexto de frente deltaica medial (figs. 7, 13). O PP-9 exhibe tempestitos na parte inferior do perfil, indicando condições mais distais ao sul. No outro extremo, o perfil do PP-12, com 13 m, é basicamente granodecrescente (em forma de sino), indicando condições mais proximais de uma planície deltaica e alimentação norte do sistema deltaico (fig. 13).

O trato superior de S_4 é representado regionalmente por corpo de diamictito, com 11 m a 8 m de espessura (PP-9 e PP-12); uma única exceção é o PP-11, com 3 m de interlaminação arenito-folhelho.

A seqüência S_5 , com espessura total de 14 m no PP-9 a 10 m no PP-12, mostra uma situação diferente para o trato inferior, com depósitos fluviiais no PP-12, e dois ciclos granodecrescentes, cada um passando de flúvio-estuarino a marinho, nos poços PP-11 e PP-9. Tais ciclos são dife-

rentes no PP-10, de deglaciação a marinho (abaixo) e flúvio-estuarino a marinho (acima). É digno de menção a presença de intercalação delgada (0,2 m) de ritmito várvido com clastos caídos, na fácies estuarina inferior do PP-9, mais uma vez atestando maior influência glacial a sul.

No trato superior, dominam regionalmente as fácies de folhelho e interlaminação *wavy*/bioturbado marinho. Uma diferença ocorre nos poços PP-12 e PP-10, onde tal sistema marinho é abruptamente sobreposto por arenito de frente deltaica da base do Triunfo “superior”, assim caracterizando uma discordância no limite de seqüência (fig. 7). Já nos poços PP-11 e PP-9 o sistema marinho é recoberto gradualmente por ritmito delgado de arenito a folhelho (tempestito distal) e arenito bioturbado/fossilífero de *shoreface*, e o contato Triunfo “superior”-“inferior” neste caso representa a concordância correlata à discordância (fig. 13).

A continuidade do arcabouço estratigráfico ora proposto, para norte do PP-12, pode ser vista em Castro (1999). Usando o poço PP-12 como referência comum aos dois trabalhos, nota-se que as seqüências “ S_4 ” e “ S_5 ” daquele autor, correspondendo aqui à S_1 e S_3+S_4 , prolongam-se ao norte-paranaense até os poços PP-13 e PP-14. A partir daí observa-se o progressivo truncamento das seqüências mais novas (“ S_5 ” ou S_3+S_4) pela discordância pré-Triunfo “superior”, de modo que a partir do PP-15 toda a “transição Taciba-Triunfo” desaparece, e a seqüência S_1 da Formação Taciba é recoberta discordantemente pelo Membro Triunfo.

conclusões

A Estratigrafia de Seqüências é adequada para o mapeamento cronoestratigráfico do intervalo entre a Formação Taciba, última unidade glacial do Grupo Itararé, e o Membro Triunfo da Formação Rio Bonito, com seus sistemas deltaicos, estuarinos e de deglaciação. Na margem leste da Bacia do Paraná, região de Mafra/SC, seis seqüências deposicionais são mapeadas em testemunhos/perfis de quatro poços rasos, numa extensão de 50 km.

Tais seqüências são estendidas aos poços profundos a oeste, onde se pode observar o Membro

Rio Segredo como trato inferior arenoso da seqüência S_0 , não alcançado nas sondagens rasas. Esta unidade arenosa de turbiditos mostra acunhamento de oeste para leste, e está ausente na faixa de afloramentos. Ainda na Formação Taciba, o trato inferior da seqüência S_1 é formado por arenitos turbidíticos a estuarinos, e o da seqüência S_2 é constituído de arenitos e folhelhos marinhos; nestas seqüências há grande variabilidade de espessura e os arenitos-reservatório provavelmente são canalizados, principalmente o de S_2 , só observado em um único poço (PP-11). Já o trato superior das três seqüências da Formação Taciba é formado por depósitos finos de suspensão, retrabalhados (S_0 e S_1) ou não (S_2) por bioturbação. Assim, apenas o Membro Rio Segredo, da seqüência basal S_0 , mostra-se atraente como reservatório de hidrocarbonetos.

As seqüências inferiores S_3 e S_4 do Membro Triunfo (ou “transição Taciba-Triunfo”) correspondem a ciclos R-T, com sistemas deltaicos prográdantes para sul, e depois sendo afogados por transgressão de sistemas gláciomarinheiros provinidos de sul. A seqüência S_5 mostra dois ciclos transgressivos, desde flúvio-estuarino até marinho, alimentados de sistema fluvial a norte (PP-12); localmente ocorre sistema de deglaciação no ciclo inferior (PP-10).

Estas seqüências de alta freqüência do Membro Triunfo, com tratos arenosos de mar baixo seguidos por tratos lamíticos e argilosos de mar alto, é interessante à geologia do petróleo, pois proporciona múltiplos reservatórios e selantes.

agradecimentos

Ao geólogo Almério B. França pela revisão do trabalho e sugestões apresentadas. Ao colega Ricardo Blaques e à Darlene Armbrust pela confecção das ilustrações.

referências bibliográficas

CASTRO, J.C. **A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Mb. Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná.** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1991. Tese (Doutorado).

CASTRO, J.C. **Estratigrafia de Seqüências das formações Campo Mourão (Parte superior) e Taciba, Grupo Itararé, leste da Bacia do Paraná.** Revista Brasileira de Geociências, v. 29, n. 2, p. 255-260, 1999.

CASTRO, M.R., PERINOTTO, J.A.J., CASTRO, J.C. **Fácies, análise estratigráfica e evolução pós-glacial do Membro Triunfo/Formação Rio Bonito, na faixa subaflorante do norte catarinense.** Revista Brasileira de Geociências, v. 29, n. 4, p. 533-538, 1999.

FRANÇA, A.B., POTTER, P.E. **Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1).** Boletim de Geociências da Petrobrás, v. 2, n.2/4, p.147-191, 1988.

GALLOWAY, W.E. **Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units.** American Assoc.of Petroleum Geologists Bull., v. 73, p. 125-142, 1989.

MITCHUM JR., R.M., VAN WAGONER, J.C. **High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles.** Sedimentary Geology, v. 70, p. 131-160, 1991.

SCHNEIDER, R.L., MÜHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F., NOGUEIRA, A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v. 1, p. 41-65.

SCHNEIDER, R.L., CASTRO, J.C. **Análise estratigráfica, sedimentologia e possibilidades petrolíferas da Formação Rio Bonito no sudeste da Bacia do Paraná.** Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX, 1975. Relatório Interno.

WEINSCHÜTZ, L.C. **Análise estratigráfica e faciológica do Grupo Itararé na região de Mafra/SC e Rio Negro/PR, borda leste da Bacia do Paraná.** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2001. Tese (Mestrado).

expanded abstract

This study focuses on the evolution of the Taciba Formation - Triunfo Member (Rio Bonito Formation) interval in the Mafra area, in northern Santa Catarina State. Four cored/logged, shallow wells provide the opportunity for vertical facies analysis along a north-south, 50 km-long cross-section from well PP-12 to PP-9. The main points to be investigated are the glacial setting of the Itararé Group, expressed by its upper, fining-upwards cycle (Taciba Formation), and the post-glacial deltaic setting of "lower" Triunfo Member (informally designated "Taciba-Triunfo transition"). The total thickness of the Taciba-Triunfo interval is more than 300 m in well 2-PUst-1-SC. The Triunfo Member has a depocenter in northern Santa Catarina State of which thickness (120 m) is comparable to the other depocenter located in the Rio do Sul outcrop area, central Santa Catarina State. In both areas the first, typical deltaic section is known as "Triunfo basal delta". Mafra basal delta (sequence S_3) is probably older than its Rio do Sul counterpart, as the basin depocenter has systematically migrated southward with time.

The sequence stratigraphic and the genetic sequence approaches have both proven to be very useful and concordant. Six depositional sequences were defined using the most complete, type-well PP-11 (300 m of cores, half of them from the focus interval). Each sequence is formed by a pair of systems tracts - a lower sandy tract and an upper shaly tract - that can be assigned respectively to lowstand and highstand settings. This framework can be compared to regressive-transgressive cycles typical of deltaic systems, as is the case of "lower" Triunfo (Taciba-Triunfo transition); sequences S_3 to S_5 are illustrated by vertical facies log and photographs of well PP-10. In the case of Taciba Formation, the R-T cycle must be added with another "regressive" component, which corresponds to the highstand, aggradational to progradational shallow marine deposits; then the cycle becomes R-T-R, in the same way as the structure of a depositional sequence. The vertical log profile and photographs of Taciba sequences, S_0 to S_2 , illustrate the unit in well PP-11, which holds the main marine rocks in the area.

The Taciba Formation has three sequences, S_0 to S_2 . Sequence S_0 has thick turbidite sandstone in the lower tract. The Rio Segredo Member, which stands above the Lontras Shale, is probably the best marker of the Itararé Group. The Rio Segredo turbidites pinch

out towards the eastern margin and even disappear in the Mafra outcrop area. The shaly upper tract of S_0 represents the thickest marine shale of the section. Sequence S_1 is the thickest and facies variations in its lower tract sandstones range from a thin fluvial-estuarine system to a thicker turbidite sandstone of a channelized fan system; S_1 upper shaly system tract, the same way as S_0 , shows shales and rare sandstones of a marine system in well PP-11, or a glacially-influenced marine system in well PP-10, located to the southeast. Sequence S_2 lower tract displays a thick sandstone and shale section of shallow marine origin, resulting from suspension processes modified by bioturbation and vertical spreiten; however this section is quite lenticular, restricted to only one well (PP-11). Its upper shaly tract is dominated by thin bedded, massive siltstones intercalated with thin, distal tempestites, also related to suspensions that are partly modified by storm processes.

The "lower" Triunfo Member (or "Taciba-Triunfo transition") begins with the arrival of deltaic clastics of sequence S_3 lower tract, in the form of a coarsening-up succession from medial- to proximal delta front. This succession is formed by (1) thick sandstone-siltstone rhythmites, with convolute bedding sandstone grading to massive siltstone with sand pseudonodules (slurry bedding) and ripple drift cross-laminated sandstones; which are partly reworked by storm waves, and (2) sandstone with horizontal lamination, ripple drift cross-lamination and cross-bedding. The upper fine system tract is represented by diamictite, which forms a tabular body (PP-11 to PP-9) but changes laterally to shale, northwards of well PP-12. A significant facies and thickness variation is noted in the sandy lower tract of sequence S_3 , from 12 m of delta plain sediments in well PP-12 to 26 m of medial delta front in well PP-9; this relationship reflects the sigmoidal deltaic geometry, thicker in central delta front and thinning updip to delta plain and downdip to prodelta. The diamictite thickness show little variation (12 m in PP-9 to 10 m in PP-11).

Sequence S_4 is quite similar to S_3 , as it shows sandstone progradation from north to south, as opposed to the southeast, glacially-sourced "transgressive" diamictites. Sequence S_5 consists of fluvial deposits at PP-12, and fluvial-estuarine or local deglaciation cycle from wells PP-11 to PP-9. In this case such deposits are a part of two transgressive cycles, from fluvial-estuarine to marine systems; well PP-10 is an exception, where the "lower" cycle has a 2 m-thick deglaciation succession that merges into a marine

section. The marine shale that represents the top of the “upper” cycle is representative of the upper tract of sequence S_5 .

The limit between “lower” and “upper” Triunfo is an unconformity or a correlative conformity: in the first case - wells PP-12 and PP-10 - fluvial or proximal delta front deposits sharply overlie the marine shale of S_5 upper tract. However, in wells PP-11 and PP-9 there is a gradational contact: marine shales are overlain by bioturbated and truncated undulate lamination sandstones and shales (micro-hummocky), which in turn grade to hummocky cross-stratified sandstones, resulting in a sandier, cleaning-up succession.

The “lower” Triunfo, or “Taciba-Triunfo transition” sequences (S_3 to S_5) extend northwards of the PP-12 well: at wells PP-13 and PP-14, sequence S_5 has been

eroded and only S_3 and S_4 occur, and at PP-15 and PP-16 these sequences have also been eroded by “lower” Triunfo unconformity in such a manner that in the later wells marine sequence S_2 (Taciba Formation) is directly overlain by “upper” Triunfo fluviodeltaic sandstones.

From a petroleum standpoint, the Rio Segredo Member of Taciba Formation (S_0 sequence) is the best reservoir as far as geometry and thickness are concerned. On the other hand, the variable facies and thicknesses of S_1 sandstone and the lenticular shape of S_2 sandstone turns them into poor reservoirs; besides, their geographical location near the basin margin is unfavorable. The high-frequency sequences of “lower” Triunfo Member are interesting, since they provide three conjugate systems of sheet reservoirs and seals.

autor author



Joel Carneiro de Castro

Universidade Estadual Paulista – UNESP

Campus de Rio Claro

e-mail: jocastro@rc.unesp.br

Joel C. de Castro é geólogo formado pela Escola de Minas de Ouro Preto (1965), e Doutor pela Universidade Estadual Paulista - UNESP (1991). Trabalhou durante 26 anos na Petrobras, entre o Departamento de Exploração (Depex) e o Centro de Pesquisas (Cenpes), aposentando-se ao final de 1991. Trabalha, desde então, na UNESP - Campus de Rio Claro, agora como professor-adjunto, onde ministra disciplinas e orienta alunos em pesquisas ligadas à Geologia do Petróleo, com ênfase em Rochas-reservatório e Estratigrafia de Seqüências.

III. SÍNTESE E CONCLUSÕES

Nesta terceira parte trataremos da Síntese Integratória dos resultados, através de quatro tópicos: agrupamento das Fácies e Associações Faciológicas constantes dos trabalhos publicados, propostas litocronoestratigráficas que embasaram a temática, Sistemas constituintes das seqüências deposicionais, e evolução das cinco Seqüências. Finalmente, as Conclusões da Tese.

Fácies e Associações Faciológicas

As principais Fácies e Associações Faciológicas encontradas nos poços da área de Rio Negro - Mafra, são agrupadas em sete classes: são cinco no Grupo Itararé, Arenito, Diamictito, Varvito, Siltito-Folhelho e Deglaciação, mais duas na Formação Rio Bonito/Membro Triunfo “inferior”, Arenito (deltaico) e Diamictito e/ou Folhelho (marinho transgressivo). Em cada linha há o código da fácies, identificação da seqüência, nome do poço e publicação de referência.

Gr. Itararé:

Arenito (inclui Conglomerado e Interestratificação Arenito-Folhelho)

1.	AS	CM-I	PM-6	REM-OP
2.	Ag-mf	CM-II	TC-4	GEOCIÊNCIAS
3.	CD*	CM-II	TC-4	GEOCIÊNCIAS
4.	Ag-f	CM-II	TC-4	GEOCIÊNCIAS
5.	Af-mf	CM-II	BR-5	GEOCIÊNCIAS
6.	Am-f	CM-II	BR-5	GEOCIÊNCIAS
7.	Amir,Aml,AmlrS	TC-II	RB-3	R.B.G.
8.	ASR	TC-I	VR-1	R.B.G.
9.	Am, AmbF	TC-II	PP-11	B.G.P.
10.	AmlbF	TC-II	PP-11	B.G.P.
11.	IArdbAx	TC-II	PP-11	B.G.P.
12.	Amxrlb	TC-II	PP-10	R.B.G.
13.	Sm,Iw;Aw,AcS	TC-II	PP-10	R.B.G.

Diamictito

14.	D	CM-I	PM-6	REM-OP
15.	Dm, DA	TC-I	VR-1	R.B.G.

Varvito

16.	Vv	CM-I	PM-6	REM-OP
-----	----	------	------	--------

Siltito-Folhelho

17.	F	CM-II	SL-2	R.B.G.
18.	Sv, Rv	TC-I	RB-3	R.B.G.
19.	SRe	TC-I	PP-10	R.B.G.
20.	FvRe	TC-II	PP-10	R.B.G.

Deglaciação

21.	AmfR, AsD	CM-II	TC-4	GEOCIÊNCIAS
22.	DR	CM-II	BR-5	GEOCIÊNCIAS

Mb.Triunfo “inferior”: Arenito

23.	Axlr,ArAoF	S3,S4	PP-10	B.G.P.
24.	AxroAcSp,AmIw	S5	PP-10	B.G.P.

Diamictito e/ou Folhelho

25.	D; F	S3,S4,S5	PP-10	B.G.P.
-----	------	----------	-------	--------

As propostas litocronoestratigráficas

O arcabouço estratigráfico de Ciclos ou Sequências Depositionais mostra-se bastante adequado para se compreender a complexa evolução do Grupo Itararé. Do mesmo modo, a existência de análogos glaciais do Quaternário facilita sobremaneira o entendimento cronoestratigráfico do Grupo, que basicamente compreende três estágios: glacial, deglacial e interglacial.

Muito facilitou para o entendimento das Sequências foram as propostas “litoestratigráficas” para a unidade, na verdade litocronoestratigráficas. Schneider *et al.* (1974) identificaram três formações, Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul, com base em mapeamentos de superfície das equipes da Petrobrás. França & Potter (1988) propuseram uma litoestratigrafia baseada em três grandes ciclos, que constituem o Grupo Itararé em subsuperfície da Bacia do Paraná; cada ciclo é formado por uma sucessão granodecrescente de conglomerado, arenito, diamictito, ritmito e siltito-folhelho, e tais ciclos foram nomeados como formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba.

Há uma convergência naquelas duas propostas, exceto pelo posicionamento estratigráfico do “Folhelho Lontras”, ou seja, no final do ciclo/Formação Campo Mourão (França & Potter), ou no início da Formação Rio do Sul (Schneider *et al.*). Entretanto, nota-se que tanto o Folhelho Lontras como o Arenito Rio Segredo (base da Formação Taciba) foram

ignorados em cartas subseqüentes, como a de França et al. (1996; ver figura I-1). Por outro lado, este último trabalho foi importante para o entendimento cronoestratigráfico da divisão inferior do Grupo Itararé: os autores correlacionaram a “Camada Roncador”, divisão siltico-argilosa do topo do ciclo/Formação Lagoa Azul, com a seção aflorante de varvitos e lamitos cor-de-chocolate da Formação Campo do Tenente. França et al. (1996) também caracterizaram os arenitos Lapa e Vila Velha, da base da Formação Campo Mourão, como um sistema de canal e lobo subaquoso, bem como sugeriram uma analogia de subsuperfície para essa situação: o poço 1-CS-2-PR encontrou 300m de arenito preenchendo uma feição sísmica de vale fortemente encaixado (*valley fill*), enquanto dois poços próximos, mas fora do “vale”, 2-CS-1-PR e 1-GB-1-PR, encontraram apenas lamitos e pelitos (Figura III.1A).

Detalhando-se a correlação de França et al., observa-se que o preenchimento do vale do poço 1-CS-2-PR é feito em dois ciclos distintos. O inferior, com 135 m, termina em um corpo de diamictito (~3350m), e é inteiramente esculpido no Devoniano; o ciclo superior, com 175 m, é entalhado na Formação Lagoa Azul/Camada Roncador (Figura III.1B). Esta espessura é a mesma da Camada Roncador nos poços vizinhos, e pouco difere dos 150 m encontrados no poço 9-Pi-6-PR, próximo a Campo do Tenente (Gonçalves & Tommasi, 1974; ver figura II-2).

Um provável análogo Quaternário de preenchimento de vale foi mapeado por sísmica no Mar do Norte, sendo interpretado como *tunnel valley* contendo depósitos subglaciais e proglaciais (Huuse & Lykke-Andersen, 2000; in Gibling, 2006) (Figura III.1C). Deve-se destacar o fato de que o canal apresentado na seção sísmica tem 3 km de largura e 300 m de profundidade, sendo este último valor comparável ao da espessura do canal mostrado no poço 1-CS-2-PR (Figuras III.1B e III.1C).

Weinschütz (2001) identificou três intervalos em cada uma das formações Mafra e Rio do Sul. Esses intervalos foram agrupados em pares, sendo cada par constituído de um componente arenoso e um lamítico-argiloso; a analogia desses pares com os ciclos maiores de França & Potter é visível, e o seu mérito principal foi o de fornecer as bases para as Sequências Depositionais formuladas nesta Tese (Tabela 2).

Schneider et al (1974)	França & Poffert (1988)	Weinschütz (2001)	Weinschütz & Castro (2004) W. & C.(GEOCIÊNCIAS)	Weinschütz & Castro(*RBG) Castro et al. (2005)
Fm. Rio Bonito Mb. Triunfo				Seq. RB/Triunfo inf. Trans. Taciba-Triunfo
Fm. Rio do Sul (RS)	Ciclo/Fm Taciba	RS sup.: siltito e folhelho	Seqüência Rio do Sul sup. / Rio do Sul med.	Seqüência Taciba TB-II
		RS med.: diamictito, arenito e siltito		Seqüência Taciba TB-I
Fm. Mafra (M)	Ciclo/Fm Campo Mourão	RS inf.: Folhelho "Lontras"	Seqüência Rio do Sul inf. / Mafra sup.	Seqüência Campo Mourão CM-II
		M sup.: arenito e diamictito		
		M med.: varvito, diamictito e arenito	Seqüência Mafra med./inf.	Seqüência Campo Mourão CM-I
		M inf.: arenito e diamictito		
Fm. Campo do Tenente (CT)	Ciclo/Fm Lagoa Azul	CT: Folhelho, varvito, diamictito marrom-avermelhado	Seqüência Campo do Tenente	Seqüência Lagoa Azul

(*) Publicação no prelo.

Tabela 2. Comparação entre os quadros cronoestratigráficos e as Seqüências desta Tese.

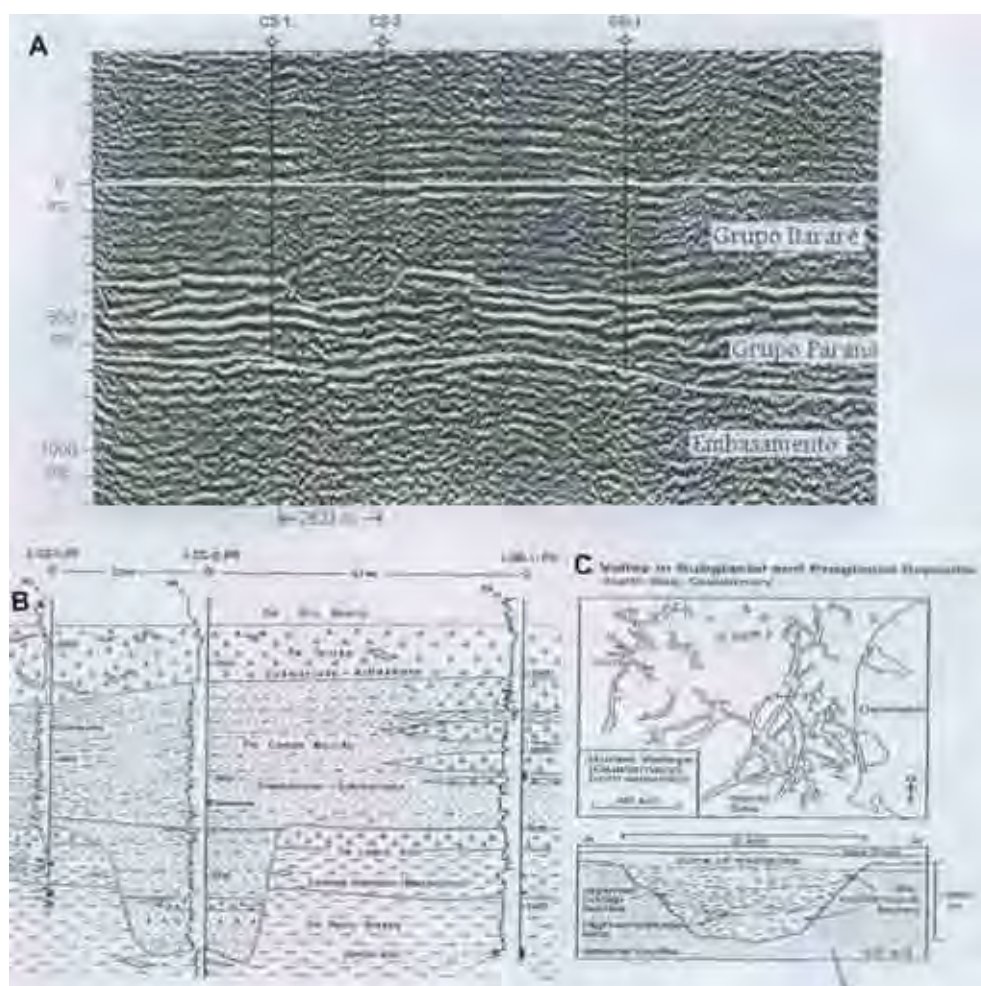


Figura III.1. (A) Seção sísmica e (B) Seção estratigráfica correlativa entre os poços 2-CS-1-PR e 1-GB-1-PR, mostrando a feição canalizada onde foi perfurado o poço 1-CS-2-PR. A escavação deste canal ocorreu em duas fases, a primeira esculpindo o Devoniano, e a segunda cortando a Formação Lagoa Azul-Camada Roncador (França et al. 1996). (C) Mapa de fundo do Mar do Norte mostrando paleovales do Quaternário, segundo a sísmica; na seção sísmica (AA'), o canal ilustrado tem 3km de largura e 300m de profundidade (Huuse & Lykke-Andersen, 2000; em Gibling, 2006).

Assim, tais contribuições litocronoestratigráficas embasam as cinco seqüências propostas para o Grupo Itararé na área da pesquisa: uma correspondendo à Formação Campo do Tenente (CT), duas à Formação Campo Mourão (CM-I, CM-II) e duas à Formação Taciba (TC-I, TC-II). A análise cronoestratigráfica se completa com três seqüências deposicionais, de alta frequência, representando a fase pós-glacial da Formação Rio Bonito, Membro Triunfo “inferior” ou “transição Taciba-Triunfo”; tais seqüências, S3 a S5, correspondem a três ciclos R-T, cada qual formado por arenito deltaico regressivo e diamictito e/ou folhelho marinho transgressivo (Castro et al. 2005).

Sistemas Depositionais

A identificação e o mapeamento de Sistemas Depositionais constituem a peça-chave na compreensão das Seqüências do Grupo Itararé.

Dois trabalhos contribuíram para esse tema, ambos abordando a Formação Rio do Sul. Gonçalves & Tommasi (1974), em trabalho de campo apoiado por perfurações rasas, apresentaram mapas e seção estratigráfica com cinco sistemas deposicionais de toda a margem aflorante catarinense (Incluindo o Folhelho Lontras, da porção inferior da Formação Rio do Sul).

Castro (1995) propôs um arcabouço cronoestratigráfico comparativo entre ciclos e seqüências deposicionais, com base em uma seção de poços interligando a faixa subaflorante do leste catarinense (poços PN-2 a 1-BN-1-SC) e o interior da Bacia a oeste (poços 1-MB-1-SC a 1-TV-2-SC) (Figura III.2). O autor identificou quatro sistemas deposicionais básicos, dispostos na forma de três ciclos de granocrescência ascendente (C1, C2, C3) ou de três seqüências (SI, SII, SIII); um quarto ciclo, C4, já envolve o delta basal do Membro Triunfo e o marco transgressivo que o sucede (ciclo regressivo-transgressivo; Castro, 1980; 1991).

Três dos sistemas de Castro (1995), Diamictito, Varvito e Folhelho+Ritmito (~turbidito delgado), respectivamente “3”, “1” e “2”, são os mesmos desta Tese, e o sistema Arenito+Diamictito (“4”) corresponde aos sistemas de Arenito e Deglaciação (Figura III.2). Deve-se destacar que o “Folhelho Lontras”, na faixa sub-aflorante a sul do BN-1, corresponde a um intervalo de poucos metros contendo conglomerado, arenito, diamictito, varvito e folhelho; esta sucessão litológica ocorre em *onlap* transgressivo contra o embasamento, refletindo a retração progressiva da geleira (deglaciação) no sentido sul (Figura III.2).

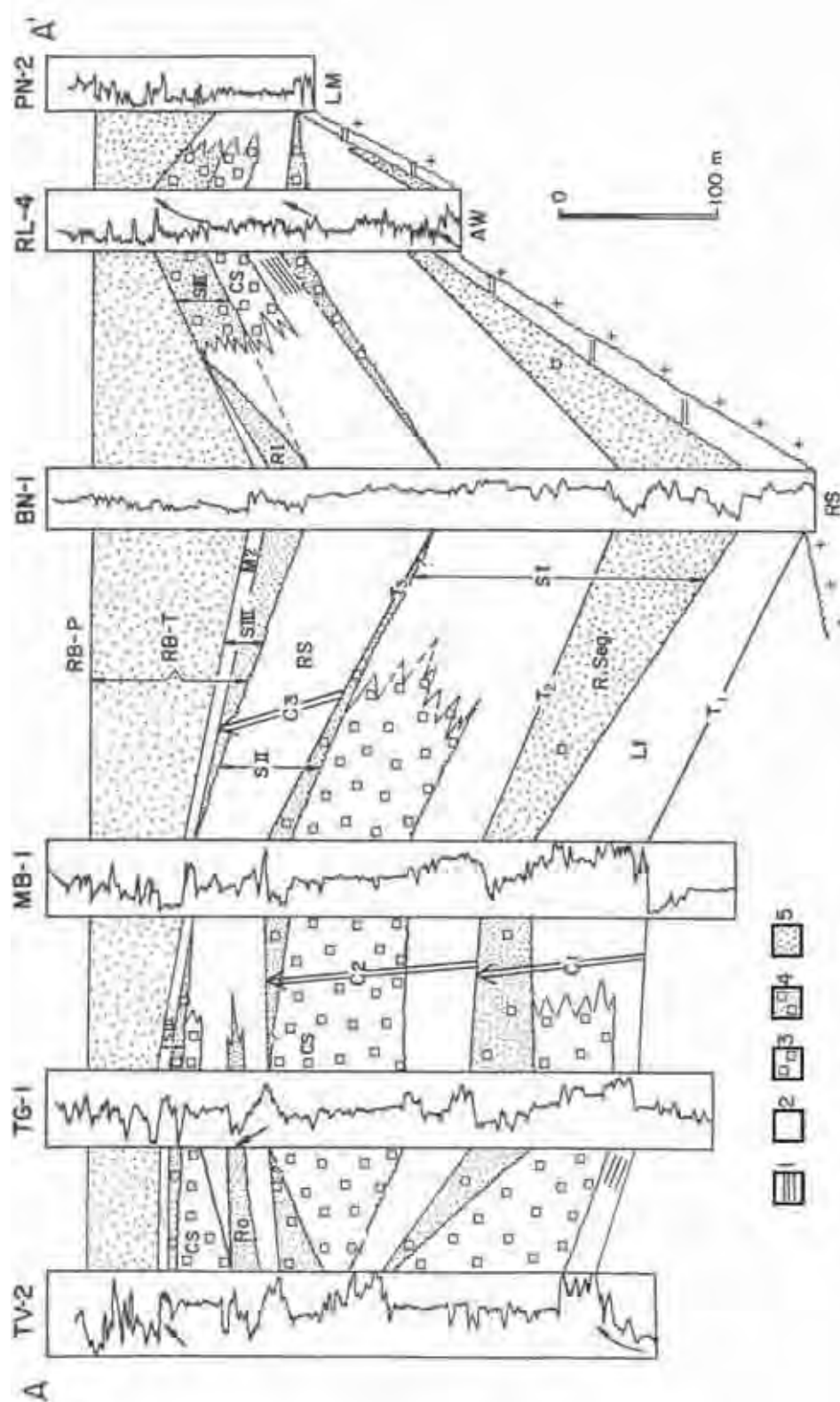


Figura III.2. Seção estratigráfica AA', com *datum* no topo do Membro Triunfo, mostrando **ciclos** (C1, C2, C3) delimitados por marcos transgressivos (T1, T2, T3, M2) e **seqüências deposicionais** (S1, SII, SIII) na Formação Taciba. Abreviações: RB, P, T (Formação Rio Bonito, membros Paraguaçu e Triunfo), Rseg, CS, RS (membros Ri o Segredo, Chapéu do Sol e Rio do Sul, da Formação Taciba). Símbolos: 1, varvito; 2, folhelho + rímilo fino; 3, diamictito; 4, arenito + diamictito; 5, arenito deltaico Triunfo. (Castro, 1995)

Nota-se que no poço RL-4, da “Província” de Alfredo Wagner, pode-se visualizar aqueles sistemas conectados a três seqüências “pós-Lontras” (Machado, 1989; Castro, 1991). A seqüência SI é de água profunda, com turbiditos arenosos proximais (~Membro Rio Segredo) sucedidos por turbiditos distais (sistemas “4” e “2” de Castro, 1995); a seqüência SII é constituída pela sucessão dos sistemas de deglaciação (“4”) e granocrescente varvito-diamictito (“1”-“3”), enquanto a última, SIII, só apresenta o sistema de deglaciação “4” (Figura III-2). Dois fatos merecem destaque: na seqüência SI o grande desenvolvimento de turbiditos arenosos canalizados, no BN-1 e rodovia Rio do Sul-Ituporanga (Membro Rio Segredo) ou finamente estratificados (*thin-bedded*, Membro Rio do Sul), e na seqüência SIII, o sistema de deglaciação de borda de bacia (Alfredo Wagner/RL-4), dando lugar ao sistema deltaico basal Triunfo para o centro de bacia (Rio do Sul/BN-1).

Para o interior da bacia, a oeste (pós-Lontras), observam-se três espessas seqüências constituídas por sistemas de diamictito, de deglaciação e de soerguimento isostático. A conexão entre as duas áreas, faixa sub-aflorante a leste e subsuperfície a oeste, é complexa, mas sugere dois padrões de seqüência deposicional: na primeira área, o limite de seqüências para a Formação Taciba estaria na base do turbidito canalizado Rio Segredo, enquanto a oeste estaria na base do diamictito Chapéu do Sol. Tal situação torna necessário um acréscimo à proposta de França & Potter (1988), ou seja, não necessariamente o Arenito Rio Segredo forma a base do ciclo/Formação Taciba.

Assim o problema da ausência do Arenito Rio Segredo nos poços 2-TG-1-SC e 1-TV-2-SC (Figura III.2) é semelhante ao que ocorre na área de Mafra, onde se propõe cinco sistemas deposicionais como base para a compreensão das seqüências: Arenito, Diamictito, Folhelho, Varvito-Diamictito e Deglaciação.

O Sistema Arenito ocorre na base das seqüências e mostra geometria lenticular a fortemente entalhada. Bons exemplos são o Arenito Lapa, na base da seqüência CM-I (espessura 90 m⁺; França et al. 1996), a seção arenosa do poço TC-4, na base de CM-II (esp. 66 m⁺, podendo alcançar 90 m), e o arenito de poços PP-10, PP-11 e RB-3, na base de TC-II (esp. 4 m, 11 m, 55 m). Nos dois primeiros casos, o preenchimento dos vales é por depósitos flúvio-deltaicos, em parte com influência glacial, enquanto nos poços PP-10 e RB-3 são sistemas estuarino a turbidítico; tais sistemas podem ser relacionados a um trato de nível de base baixo.

O Sistema Diamictito ocorre de modo expressivo na base da seqüência TC-I, com 65 m no perfil da pedreira S.Lourenço/poço SL-2. É de origem marinha plataformar (Diamictito de Chuva de Detritos, *rain-out diamictite*) e indicativo de trato de nível de base alto.

O Sistema Folhelho (+folhelho várvido) ocorre de modo significativo na parte superior das seqüências CM-II (Folhelho Lontras, com 50 m) e TC-II (Folhelho Rio do Sul ou “Passinho”, também com 50 m). Ocupa o centro de bacias marinhas, como equivalente distal do Sistema Diamictito e, portanto atribuído a trato de nível de base alto.

Varvitos ocorrem em duas situações, formando ciclo granocrescente com Diamictito, ou como parte do ciclo granodecrescente de deglaciação. O ciclo Varvito-Diamictito ocorre nas seqüências CT-I e CM-I (Weinschütz & Castro, 2004; 2005). Em CT-I é o equivalente proximal do sistema marinho “Camada Roncador” da Formação Lagoa Azul (França et al. 1996); assim, tal ciclo pode ser atribuído a um trato de sistemas de nível de base alto, em uma situação mais proximal, glácio-lacustre (note-se a presença desse ciclo no poço RL-4, seqüência SII - figura III.2). O sistema de Deglaciação está representado nas quatro seqüências CM-I, CM-II, TC-I e TC-II, e o seu ordenamento faciológico é semelhante ao dos grandes ciclos de França & Potter (1988), em se considerando o Ritmito (genérico) desses autores como equivalente a Varvito (específico).

A Evolução das Seqüências Depositionais

As oito seqüências deposicionais propostas nesta Tese (cinco no Grupo Itararé e três de alta freqüência no Membro Triunfo “inferior”/Formação Rio Bonito serão sumariadas a seguir.

Na seqüência Campo do Tenente – CT, foram encontrados dois sistemas granocrescentes de varvito-diamictito, com espessura de 150 m similar àquela dos poços do interior da Bacia, a noroeste (França et al., 1996). Devem-se mencionar também a presença de depósitos subglaciais recobrindo o embasamento, na rodovia BR-116 próximo a Campo do Tenente (Canuto, 1985). Assim, a seqüência CT provavelmente representa apenas o trato de sistemas de nível de base alto da última seqüência da Formação Lagoa Azul/Camada Roncador.

A seqüência CM-I tem início com o expressivo entalhamento do Arenito Lapa, correspondendo a um sistema subglacial (*tunnel valley*) de um trato de sistemas de nível de base baixo. Sucedem-no os dois sistemas de mais de uma litologia, inicialmente o sistema varvito-diamictito (trato gláciproximal, transgressivo sobre o sistema arenoso anterior) e depois o sistema de deglaciação; ao final deste ocorre a primeira ingressão marinha na bacia, representada pelo “Siltito Mafra” (Weinschütz & Castro, 2004).

O contato entre as seqüências CM-I e CM-II representa uma marcante quebra no registro glacial. No grande afloramento da Pedreira “Kartódromo”, os arenitos flúvio-deltaicos da base de CM-II cortam erosivamente o sistema de deglaciação do topo de CM-I, conforme

documentado em Weinschütz & Castro (2004) . A leste de Mafra (ponto 74 de Weinschütz, 2001), nota-se um contato por falha entre varvitos (CM-I) e arenitos (base de CM-II); afastando-se da falha, pode-se observar no bloco alto a sucessão completa de CM-I, incluindo o siltito marinho do topo (“camadas Mafra”).

A seqüência CM-II consiste de espessos depósitos arenosos (trato de nível de base baixo), sucedidos por sistemas de deglaciação (trato de sistemas transgressivo), e pelo “Folhelho Lontras”, este indicando uma ampla plataforma marinha que se desenvolve sob condições de nível de base alto. Deve-se destacar, na área de Mafra, uma importante ocorrência de folhelho preto fossilífero, com fósseis marinhos, que representa uma superfície de inundação máxima marcando o trato transgressivo de deglaciação. Em relação a CM-II, notam-se importantes mudanças de fácies: dois sistemas, glacial e de deglaciação, ocorrem a centro-leste da cidade de Mafra. O sistema glacial em parte é representado por seção de diamictito maciço a estratificado (Pontos 13 a 125), que passa lateralmente a depósitos de deglaciação (Pontos 12 e 124, e Cereagro, no cruzamento da BR-116 com BR-280; Weinschütz, 2001). Tais sistemas provavelmente correspondem lateralmente à parte dos sistemas analisados por Weinschütz & Castro (2005). Mais impressionante ainda é a fácies/sistema de arenito maciço-turbidito que ocorre no centro da cidade de Mafra, e que tem correspondência cronoestratigráfica (?) com o diamictito do centro-leste da cidade (Weinschütz, 2001); essas significativas mudanças faciológicas em CM-II ainda não puderam ser adequadamente avaliadas.

A passagem entre as seqüências CM-II (Folhelho Lontras) e TC-I (“Diamictito” Chapéu do Sol) é bem documentada no poço SL-2 e pedreiras da região (Figura III.3). No SL-2 nota-se uma textura de siltito arenoso tanto em delgados turbiditos do Lontras como no “diamictito” sobrejacente, indicando para este último uma origem comum com os primeiros (Weinschütz & Castro, 2005). Ou seja, o “diamictito” da parte inferior de CM-II representa depósitos finos de suspensão, só que agora recebendo clastos caídos de geleiras flutuantes; tal mudança é brusca, indicando a chegada de nova fase glacial na bacia. Na pedreira ilustrada na figura III.3 o contato é marcante: o corpo de diamictito recorta, como uma feição de cisalhamento, o substrato de folhelho com turbiditos (“Folhelho Lontras”). Tal situação evoca o trabalho de Canuto et al. (2001), que sugere superfícies estriadas como limites de seqüências deposicionais, causadas por abrasão glacial durante avanços de geleiras sob condições aterradas. O trabalho, desenvolvido na mesma área da presente Tese e tendo como base o perfil levantado por Medeiros (1971) na rodovia BR-116, sugere seis seqüências para o Grupo

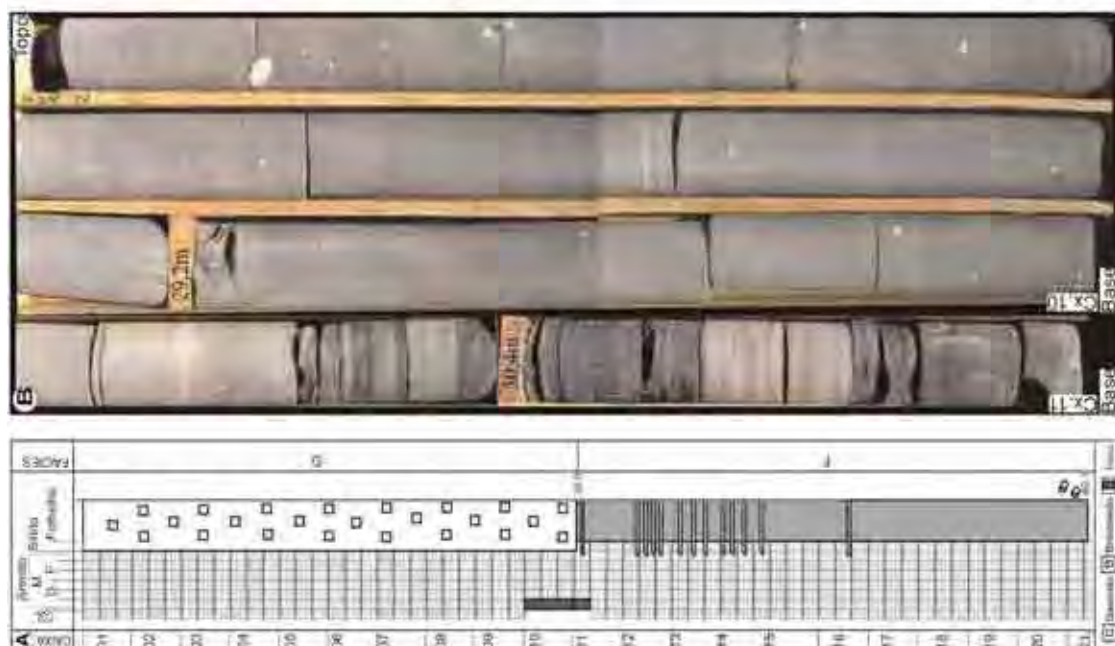


Figura III.3. Fácies Diamictito maciço (Dm), poço SL-2/ponto 60.

A. Perfil litofaciológico do poço SL-2
 B. Porção inferior do Diamictito, em contato com o Folhelho Lontras (caixa 11, a 30.2m).
 C. Pedreira de Diamictito (ponto 60), em cujo piso foi perfurado o poço SL-2. Notar alguma estratificação espessa.
 D, E. Detalhe do contato do Diamictito sobre Turbiditos (pedreira km 13, Weinschütz, 2001).

Itararé, com distribuição e limites que não coincidem com os das unidades litocronoestratigráficas/seqüências deste trabalho. No caso do contato CM-II/TC-1, acima discutido, não se pode descartar a possibilidade de ocorrer superfície estriada nessa interface (o afloramento não expõe tal contato). Mas esse é o único contato sobreposto por diamictito que ocorre na área, exceto o contato de CT com o embasamento e o de algum sistema de deglaciação. Deve-se mencionar que Canuto et al. (2001) reconhecem uma fase de Reajuste Isostático como um quarto constituinte de seu modelo de Seqüência deposicional.

A seqüência TC-I começa com o espesso diamictito (65 m) acima mencionado, ao qual se sucede um sistema de deglaciação seguido de possível ciclo deltaico de folhelho a arenito, relacionado a soerguimento isostático (*rebound*); para o topo ocorrem depósitos marinhos (pelo menos 35m documentados no PP-10; Weinschütz & Castro, no prelo). Aqui torna-se complexo explicar o término da seqüência TC-I, enfrentando-se as mesmas dificuldades de Castro (1995).

A seqüência TC-II demonstra a complexidade anterior, só que agora com os arenitos basais do seu trato de nível de base baixo (A1 a A4; Weinschütz & Castro, no prelo), incluindo o arenito basal do PP-11, analisado por Castro et al. (2005). Tais arenitos provavelmente são canalizados, com fácies e espessuras variando entre 4 m (flúvio-estuarino com influência glacial, no PP-10), 11 m (turbidito maciço do PP-11) e 55 m (turbidito do RB-3). Neste poço, o turbidito passa acima a diamictito e a arenito/siltitoossilífero, sugerindo uma sucessão transgressiva de deglaciação, seguida do folhelho plataformar Rio do Sul/"Passinho", que certamente corresponde a um trato de nível de base alto.

O Folhelho Rio do Sul/"Passinho" passa gradacionalmente à sucessão deltaica pós-glacial do Membro Triunfo-"inferior" (Formação Rio Bonito), formando o primeiro ciclo R-T dos três ciclos regressivo-transgressivos, ou seqüências de alta frequência (S3 a S5; Castro *et al.* 2005). Tal "transição Taciba-Triunfo", mapeada entre os poços PP-09 a PP-12 (entre Rio Negro e Itaiópolis) torna a área bastante promissora como bacia-escola, pelo seu registro sedimentar e paleontológico bastante completo.

CONCLUSÕES

A Estratigrafia de Sequências do Grupo Itararé se apóia fundamentalmente em cinco Sistemas Depositionais. Três deles constituem espessos intervalos litológicos (Arenito, Diamictito, Folhelho), e os outros dois são formados de sucessões granocrescente (Varvito-Diamictito) ou granodecrescente (Deglaciação: Arenito, Diamictito, Varvito, Folhelho). Um sexto tipo, encontrado na Formação Taciba, é formado de progradação folhelho-arenito, de origem deltaica; assemelha-se a uma fase de soerguimento isostático.

A sequência Campo do Tenente, CT, é formada por dois ciclos com os sistemas Varvito e Diamictito, refletindo, dentro de um trato de mar alto, um contexto/ambiente glácio-lacustre de margem de bacia, crono-equivalente ao contexto/ambiente marinho da “Camada Roncador” da Formação Lagoa Azul, encontrado em subsuperfície mais ao norte (França et al. 1996).

As sequências Campo Mourão, CM-I e CM-II, são bem organizadas, com poucas mas substanciais diferenças entre si. CM-I mostra quatro sistemas: arenito espesso com lamito subordinado (trato de mar baixo), varvito-diamictito de origem glaciolacustre semelhante ao da sequência CT (trato de mar alto?), conglomerado-arenito-diamictito-varvito de deglaciação (trato transgressivo de uma nova sequência?), e siltito fossilífero pouco espesso (“Camadas Mafra”; trato de mar alto). CM-2 mostra uma organização mais simples, com arenitos espessos de mar baixo, conglomerado até varvito de deglaciação (trato transgressivo), e “Folhelho Lontras”, de mar alto e grande extensão na bacia.

As sequências Taciba, TC-I e TC-II, revelam características algo comparáveis às da Formação Campo Mourão. TC-I começa com espesso diamictito, devido a ausência do Arenito Rio Segredo na base da Formação Taciba (França & Potter, 1988). Sucedem-se sistemas de deglaciação e deltaico (reajuste isostático?), e glácio-marinho. TC-II mostra grande variedade de espessuras e ambientes em seu arenito basal, que se apresenta de forma canalizada. Há duas tendências de sucessão vertical, a do poço RB-3 com espessa seção turbidítica (trato de mar baixo) sucedida por diamictito, “ritmito” areno-argiloso e siltito fossilífero (sistema de deglaciação), e este por espesso folhelho marinho plataformar de trato de mar alto (“Folhelho Passinho”); nos poços PP-10 e PP-11, arenitos flúvio-estuarino e turbidítico (trato de mar baixo), são sucedidos diretamente por folhelho marinho plataformar de mar alto.

Três sequências de alta frequência, S3, S4 e S5, caracterizam a sedimentação pós-glacial do Membro Triunfo “inferior”, ou “transição Taciba-Triunfo”: na verdade tais sequências seriam melhor descritas como ciclos regressivo (arenito deltaico) – transgressivos (diamictito ou folhelho marinhos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canuto, J.R. 1985 Origem dos diamictitos e de rochas associadas do Subgrupo Itararé, no sul do Estado do Paraná e norte do Estado de Santa Catarina. S. Paulo: IG-USP, 1985, 187p. (Dissertação de Mestrado)

Canuto, J.R.; Santos, P.R.; Rocha-Campos, A.C. Estratigrafia de Seqüências do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico) no leste da Bacia do Paraná, nas regiões sul do Paraná e norte de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, n.1, p. 107-116, 2001.

Castro, J.C. 1980 Fácies, ambientes e seqüências deposicionais das formações Rio do Sul e Rio Bonito, leste de Santa Catarina. In: Cong. Brasileiro de Geologia, 31, Balneário Camboriú, 1980. *Anais...Balneário Camboriú*, S. B. G., 1980, v. 1, p. 283-299.

Castro, J.C. 1991 A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Membro Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná. Rio Claro: Unesp-IGCE, 1991, 146p. (Tese de Doutorado).

Castro, J.C. Ciclos ou Seqüências no arcabouço cronoestratigráfico da sucessão Itararé (Formação Taciba) – Rio Bonito (Membro Triunfo), Bacia do Paraná. In: Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, 2, Porto Alegre. Boletim de Resumos Expandidos...ILEA/UFRGS, P. 66-70, 1995.

Castro, J.C.; Weinschütz, L.C.; Castro, M.R. Estratigrafia de Seqüências das formações Taciba e Rio Bonito (Membro Triunfo) na região de Mafra/SC, leste da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.13, n.1, p. 27-42, 2005.

Castro, M.R. Fácies e evolução estratigráfica das formações Rio do Sul e Rio Bonito (Membro Triunfo) no vale do Rio Hercílio, SC. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 113p.+anexos, 1998.

França, A.B. & Potter, P.E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatórios do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v. 2, p. 147-191, 1988.

França, A.B.; Winter, W.R.; Assine, M.L. Arenitos Lapa-Vila Velha: um modelo de trato de sistemas subaquosos canal-lobos sob influência glacial, Grupo Itararé (C-P), Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, v.26, n.1, p. 43-56, 1996.

Gibling, M.R. Width and thickness of fluvial channel bodies and valley fills in the geological record: a literature compilation and classification. *Journal of Sedimentary Research*, v. 76, p. 731-770, 2006.

Gonçalves, A. & Tommasi, E. Mapeamento faciológico do Grupo Itararé no Estado de Sta. Catarina. Petrobrás, Relatório Desul 437, Ponta Grossa, 1974.

Machado, L.C. Fácies e arcabouço estratigráfico do Grupo Itararé em Alfredo Wagner (SC) – sedimentação periglacial. Ouro Preto, UFOP, Dissertação de Mestrado, 161p, 1989.

Medeiros, R.A. Excursão no. 2, Bacia do Paraná. In: XXV Cong. Brasileiro de Geologia. S.B.G., Núcleo S.Paulo, Boletim Especial n. 2, p.15-25, 1971.

Schneider, R.L.; Mühlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.F.; Nogueira, A.A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS. Anais...S.B.G., v.1, p. 41-65, 1974.

Weinschütz, L.C. Análise faciológica e estratigráfica do Grupo Itararé (Permocarbonífero) na região de Rio Negro-Mafra, borda leste da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 59p., 2001.

Weinschütz, L.C. & Castro, J.C. Arcabouço cronoestratigráfico da Formação Mafra (intervalo médio) na região de Rio Negro/PR-Mafra/SC, borda leste da bacia do Paraná. *REM: Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 57, n.3, p. 151-156, 2004.

Weinschütz, L.C. & Castro, J.C. A sequência Mafra superior\Rio do Sul inferior (Grupo Itararé, Permocarbonífero) em sondagens testemunhadas da região de Mafra (SC), margem leste da Bacia do Paraná. S.Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 24, n. 2, p.131-141, 2005.

Weinschütz, L.C. & Castro, J.C. Sequências deposicionais da Formação Taciba (Grupo Itararé, Neocarbonífero a Eopermiano) na região de Mafra (SC), Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*.