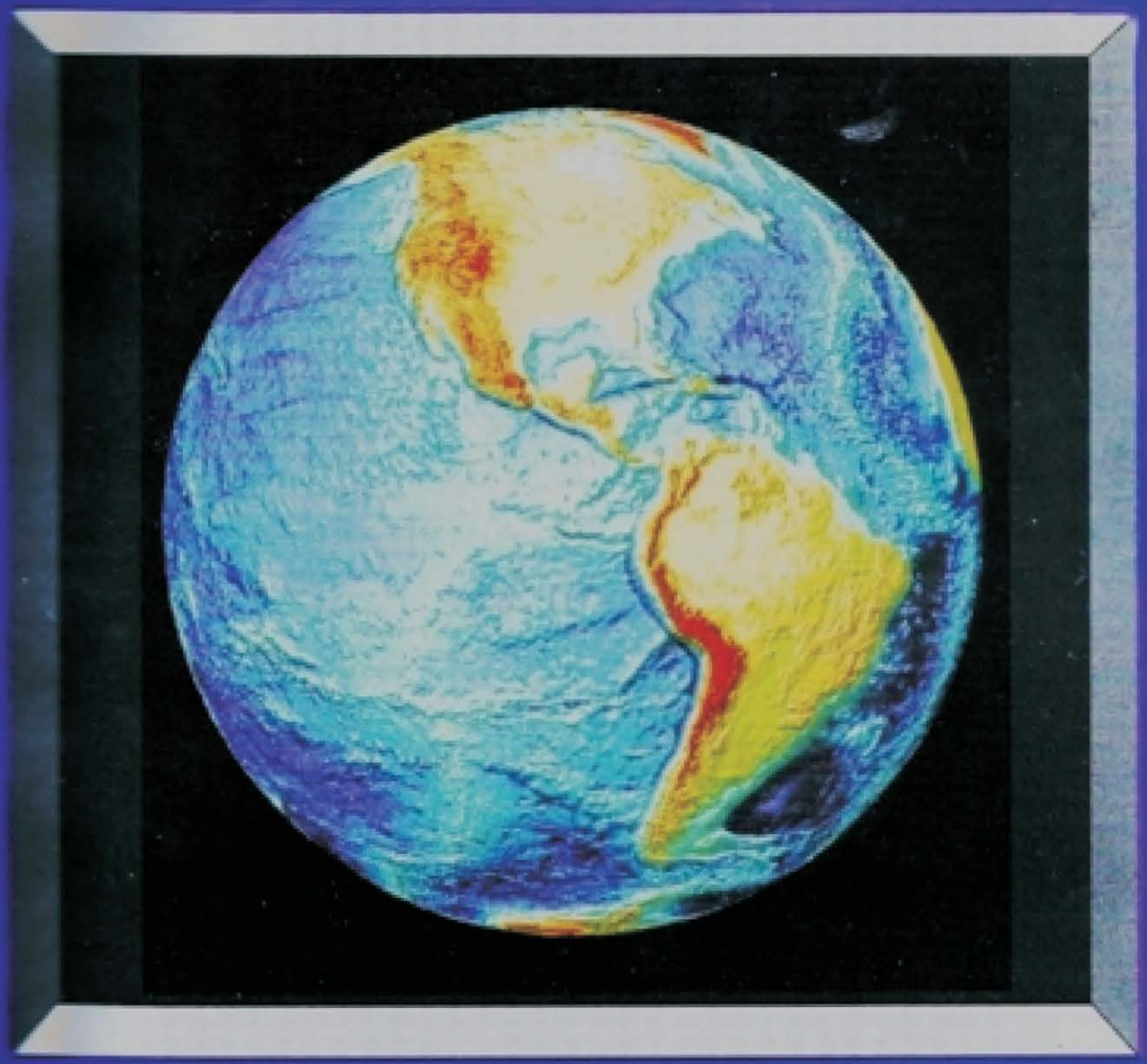
UFRGS



Programa de Pós-Graduação em Geociências

Mestrado e Doutorado - Porto Alegre

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ESTRATIGRAFIA

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DO INTERVALO EO-PERMIANO DA BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO DE CACHOEIRA DO SUL - RS, BRASIL

ROBERTO BERGMANN CARLUCCI

Orientador: Prof. Dr. Michael Holz

Comissão Examinadora: Prof. Dr. César Cainelli
Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer
Prof. Dr. Nilo Chagas de Azambuja Filho

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Geociências

Ano de conclusão: 1999

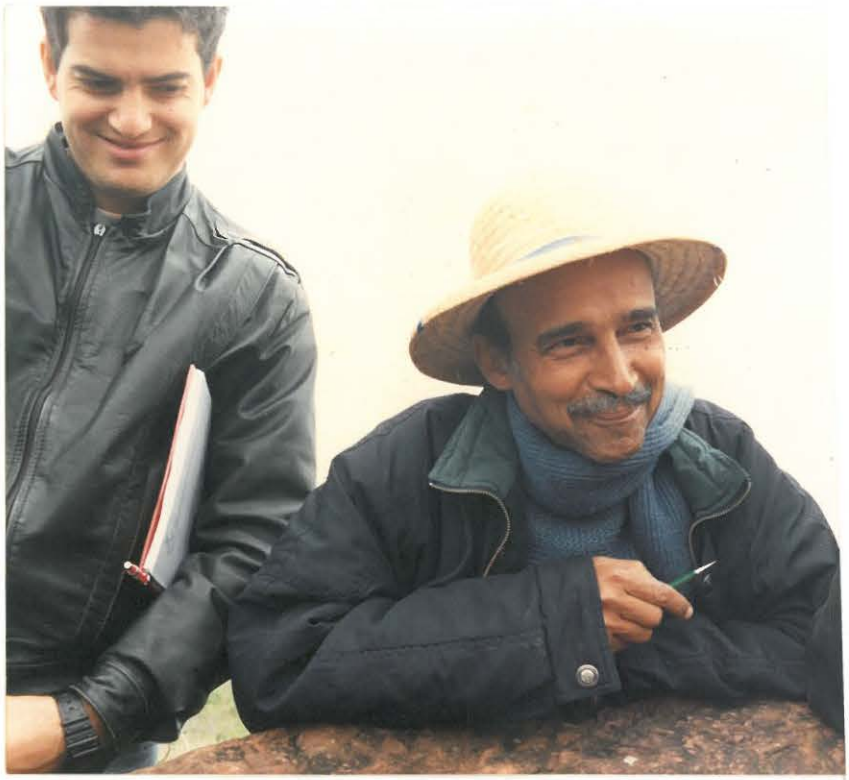
Carlucci, Roberto Bergmann
Análise estratigrafica do intervalo Eo-Permiano da Bacia do Paraná na Região de Cachoeira do Sul - RS, Brasil. / Roberto Bergmann Carlucci - Porto Alegre : UFRGS, 1999.
171 f. il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 1999.

1. Estratigrafia. 2. Permiano. 3. Estratigrafia de Seqüências 4. Bacia do Paraná. 5. Icnologia. I. Título.

Catalogação na Publicação
Renata Cristina Grün CRB10/1113

IN MEMORIAN



Professor Rodi era uma pessoa capaz de cativar aos que tiveram oportunidade de conhecê-lo, porque apesar da importância que tinha para o mundo acadêmico, principalmente nas áreas da geologia sedimentar e estratigrafia, comportava-se sempre com simplicidade e amizade.

Este amigo, muitas vezes suportou a dor, para estar com os alunos ou colegas em diferentes ocasiões, como: numa sala de aula, no campo, num restaurante ou num bar, pela tão admirável valorização que dava ao meio geológico e tudo o que o circunda.

Porém, minha grande admiração provém da convivência que tive com este Mestre. Suas idéias a respeito das relações que deveriam nortear a convivência entre professores e alunos dentro de uma universidade, sendo os "Mestres" preocupados numa primeira instância, no ato de ensinar; e seu grande amor pela Geologia Sedimentar, tendo um conhecimento quase que inigualável do território de nosso país, constituem as características mais marcantes desta nobre pessoa.

Rodi, é tido por mim como o professor que mais me ensinou em toda a minha vida acadêmica. Isto resume muita coisa.

Por esta convivência curta mas inesquecível, dedico esta dissertação ao saudoso Professor Rodi Ávila Medeiros.

Observar, abstrair, imaginar, intuir...
Viajar com o pensamento, o raciocínio e o conhecimento às origens da Terra e nesta ida ao passado, ler nas entrelinhas da natureza seus segredos mais recônditos.

Inês Bergmann Carlucci

Dedico
aos meus filhos
Juliano, Isabela,
Bruno e Rafael, pelo
amor e carinho de
sempre.

Aos meus pais e irmãos,
com os quais pude viver num ambiente
de amor maternal, paternal e fraternal,
o que sem dúvida deve ser a razão
de hoje ser uma pessoa amada
e que sabe amar.

À Vó Jade,
pelo carinho de sempre.

À família Carlucci,
pelo incentivo.

ÍNDICE

RESUMO iii

ABSTRACT v

AGRADECIMENTOS vii

LISTA DE FIGURAS ix

INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 1: LOCALIZAÇÃO, OBJETIVOS E METODOLOGIA 3
1.1 - Localização 3
1.2 - Objetivos 3
1.3 - Contexto Geológico e Geotectônico 6
1.4 - Metodologia 7
1.5 - Convenções Adotadas 10

CAPÍTULO 2: EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS 15
2.1 - Litoestratigrafia Formal 15
2.2 - Trabalhos com abordagem através da Estratigrafia de Seqüências 18

CAPÍTULO 3: ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES 28
3.1 - Associação de Fácies I 29
3.1.1 - Descrição 29
3.1.2 - Interpretação 29
3.2 - Associação de Fácies II 34
3.2.1 - Descrição 34
3.2.2 - Interpretação 39
3.3 - Associação de Fácies III 40
3.3.1 - Descrição 40
3.3.2 - Interpretação 40
3.4 - Associação de Fácies IV 42
3.4.1 - Descrição 42
3.4.2 - Interpretação 44
3.5 - Associação de Fácies V 48
3.5.1 - Descrição 48
3.5.2 - Interpretação 48
3.6 - Associação de Fácies VI 49
3.6.1 - Descrição 49
3.6.2 - Interpretação 50
3.7 - Associação de Fácies VII 58
3.7.1 - Descrição 58
3.7.2 - Interpretação 64

3.8 - Associação de Fácies VIII 69
3.8.1 - Descrição 69
3.8.2 - Interpretação 72
3.9 - Associação de Fácies IX 73
3.9.1 - Descrição 73
3.9.2 - Interpretação 75
3.10 - Conclusões 75

CAPÍTULO 4: ANÁLISE ICNOLÓGICA 79
4.1 - Revisão Conceitual 79
4.1.1 - O conceito de icnofácies 81
4.1.1.1 - Icnofácies *Skolithos* 83
4.1.1.2 - Icnofácies *Cruziana* 85
4.1.1.3 - Icnofácies *Glossifungites* 87
4.1.2 - Contribuição para a interpretação paleoambiental 89
4.1.3 - A contribuição da icnologia no estabelecimento de um arcabouço cronoestratigráfico 90
4.2 - Breve revisão dos principais trabalhos com enfoque icnológico realizados na área 92
4.3 - Dados colhidos neste trabalho 93
4.4 - Principais conclusões 108

CAPÍTULO 5: ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS 110
5.1 - Superfícies-Chave 111
5.2 - Arcabouço Cronoestratigráfico 120
5.3 - Hierarquia das seqüências mapeadas 120
5.4 - Caracterização das seqüências mapeadas 126
5.4.1 - Seqüência 1 127
5.4.1.1 - Trato de Sistemas de Mar Baixo 1 (TSMB1) 127
5.4.1.2 - Trato de Sistemas Transgressivo 1 (TST1) 127
5.4.1.3 - Trato de Sistemas de Mar Alto 1 (TSMA1) 132
5.4.2 - Seqüência 2 132
5.4.2.1 - Trato de Sistemas de Mar Baixo 2 (TSMB2) 133
5.4.2.2 - Trato de Sistemas Transgressivo 2 (TST2) 139
5.4.3 - Seqüência 3 140
5.4.3.1 - Trato de Sistemas de Mar Baixo 3 (TSMB3) 147
5.4.3.2 - Trato de Sistemas Transgressivo 3 (TST3) 149
5.4.3.3 - Trato de Sistemas de Mar Alto 3 (TSMA3) 149
5.5 - Síntese Paleogeográfica 150
5.6 - Fatores controladores da sedimentação 153
5.7 - Correlação com áreas vizinhas 155

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES 157

CAPÍTULO 7: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 161

RESUMO

A estratigrafia das rochas sedimentares da região de Cachoeira do Sul no estado do Rio Grande do Sul, pertencentes à Bacia do Paraná, no seu intervalo Eo-Permiano, foi analisada com utilização do arcabouço conceitual da Estratigrafia de Seqüências e através do estudo dos icnofósseis identificados.

Abrangendo uma área de 2.592 Km^2, o trabalho utilizou como fonte de dados: vinte furos de sondagens, com seus respectivos perfis descritivos, geofísicos (raios-gama) e testemunhos; pertencentes à Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). Também foram estudados seis afloramentos, assim denominados: Mina do Iruí, Mina da Cascatinha, Fazenda N. Sª das Graças, Mina do Capané, Cerro Coroado e Barrocada.

A faciologia da área correspondente às unidades litoestratigráficas Itararé, Rio Bonito e Palermo, foi dividida nas associações de fácies de 1 a 9, assim interpretadas: Arenitos Fluviais, Diamictitos e Conglomerados de Leques Aluviais; Diamictitos e Turbiditos; Pelitos e Arenitos Finos Marinhos; Carvão, Pelitos e Arenitos Flúvio-Deltaicos e Estuarinos; Carvão, Pelitos e Arenitos de Planície Costeira; Arenitos Marinhos Rasos (Ilhas de Barreiras ou Cordões Litorâneos); Arenitos e Pelitos de Planícies de Maré; Pelitos e Arenitos de Costa-Afora; e Arenitos Finos e Siltitos com *Teichichnus*.

O estudo dos icnofósseis acrescentou informações importantes para um melhor entendimento da distribuição física dos paleoambientes deposicionais. Assim, as principais contribuições se deram para a interpretação das associações de fácies VII, VIII e IX, as quais apresentam os graus de bioturbação mais significativos da faciologia descrita. O condicionamento de ocorrência das icnofácies (*Skolithos*, *Skolithos*/*Cruziana*), com relação à intercalação dos subambientes de uma planície de maré; a icnofácies *Glossifungites* aparecendo, na maioria das vezes, demarcando o topo de ciclos de raseamento para o topo (parasseqüências); e a presença predominante do icnofóssil tipo *Teichichnus*, na Associação de Fácies IX, aliado a evidências como a pouca quantidade de matéria orgânica e altos níveis de energia do ambiente, indicando um meio agitado e com maiores taxas de sedimentação.

Após a análise faciológica e icnológica, terminou-se o trabalho com o estabelecimento do arcabouço estratigráfico formado por três seqüências de terceira ordem. As superfícies limítrofes destas seqüências, são caracterizadas como discordâncias resultantes de movimentos positivos do embasamento, os quais causariam quedas do nível relativo do mar. Estas quedas pontuariam uma elevação contínua do nível marinho, resultante, primeiramente, do degelo ocorrido após a glaciação Neo-Carbonífera/Eo-Permiana e, após, da interação entre tectônica e eustasia; os quais imprimem um caráter transgressivo para a maior parte do pacote sedimentar estudado.

ABSTRACT

The stratigraphy of the sedimentary rocks of the area of Cachoeira do Sul in the state of Rio Grande do Sul, belonging to the Early Permian interval of the Paraná Basin, was analyzed with use of the conceptual framework of Sequence Stratigraphy and through the study of the identified icnofossils.

Including an area of 2.592 Km^2, the work used as source of data: twenty entirely cored well logs, with its respective descriptive and geophysical profiles (gamma-ray); belonging to the Brazilian agency CPRM. And additional six outcrops were studied: Mina do Iruí, Mina da Cascatinha, Fazenda N. Sª das Graças, Mina do Capané, Cerro Coroado and Barrocada.

The faciological framework of the area, corresponding to the lithostratigraphic units Itararé, Rio Bonito and Palermo, as divided into 9 facies associations: Fluvial Sandstones, Diamictites and Conglomerates of Alluvial Fans; Diamictites and Turbidites; Mudstones and Marines Fines Sandstones; Coal, Mudstones and Fluviatile and Estuarines Sandstones; Coal, Mudstones and Sandstones of Coastal Plain; Shallow Marines Sandstones (Barriers Islands); Sandstones and Mudstones of Tidal Flats; Mudstones and Sandstones of Offshore; and Fine Sandstones and Siltstones with *Teichichnus*; respectively.

The study of the icnofossils resulted in important information for a better understanding of the physical distribution of the depositional paleoenvironmental, mainly for the interpretation of the facies associations VII, VIII and IX, which present the degrees of more significant bioturbation of the described facies. The conditioning of occurrence of the icnofacies (*Skolithos*, *Skolithos*/*Cruziana*), with relationship to the intercalation of the sub-environmental of a tidal flat; the icnofacies *Glossifungites* appearing, most of the time, demarcating the top of upward-shoaling cycles (parassequences); and the predominant presence of the icnofossil type *Teichichnus*, in Facies Association IX, allied to evidences as the little amount of organic matter and high levels of energy of the environment, indicating an agitated environment with higher sedimentation rates.

After the the faciological and icnological analysis, the work concluded with the construction of the stratigraphic framework formed by three sequences of third order. The boundaries surfaces of these sequences are characterized as unconformities resulting of uplift movements of the embasament, which would cause falls of the relative sea level. These falls would punctuate a continuous elevation of the marine level, resultant, firstly, of the deglaciation that has ocurred after the Late-Carboníferous/Early-Permian glaciation and, after, of the interaction among tectonic and eustasy; which imprints a transgressive character to most of the studied sedimentary package.

AGRADECIMENTOS

Durante a realização deste trabalho, o auxílio e o companheirismo de algumas pessoas foi tão importante para mim, que penso ser esta uma questão que deve ser realçada neste momento, pois como foi bom ter o privilégio de conviver com pessoas agradáveis e bem-intencionadas.

Pessoas como o meu orientador Prof. Dr. Michael Holz, figura ímpar, sempre disponível e muito atencioso, conseguindo me manter sempre estimulado. Posso dizer com todas as palavras que em todas as etapas superadas, realizou com muita propriedade o verdadeiro papel de um orientador.

Pessoas como o Prof. Gerson Terra e o Prof. Dr. Luiz Jozé Tomazzeli, aos quais devo o meu reconhecimento pelo alto nível que deram ao Curso de Pós-Graduação na área da Estratigrafia, coordenando, escolhendo um corpo docente altamente qualificado, além de possibilitar a realização de cursos ministrados por ícones mundiais da Estratigrafia.

Pessoas como o geólogo João Marcelo Medina Ketzer, grande colega e amigo, companheiro das saídas de campo. As discussões técnicas que tivemos em frente a afloramentos, com certeza foram de grande importância, bem como na etapa de correlação dos perfis geofísicos. Suas opiniões foram sempre respeitadas.

Pessoas como os colegas da turma de 1996 do pós-graduação em Estratigrafia, como: Paulo, Mônica, Saulo, Mariela, Álvaro, Henz, Bonora, Otaviano, Marjorie e Chico. Grandes amigos. As aulas que tivemos juntos e, principalmente, as viagens, estarão sempre em minha memória.

Pessoas como os funcionários do Convênio UFRGS/PETROBRAS, principalmente Carlinhos e Lisandro, sempre dispostos a ajudar e grandes responsáveis pelo ótimo ambiente de trabalho.

Pessoas como os funcionários da Secretaria do Pós-Graduação em Geociências, Hugo, Carlos e Robertinho, também sempre muito acessíveis.

Não posso deixar de fazer um agradecimento especial à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, grande responsável pela minha formação acadêmica e, também, por mais esta etapa de formação superada.

Um agradecimento especial, também, à PETROBRAS pelo patrocínio desta pesquisa através do Convênio UFRGS/PETROBRAS, e à CPRM pela liberação dos dados requeridos, em especial ao Geológo Ricardo da Cunha Lopes.

Finalmente, agradeço aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. César Cainelli, Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer e Prof. Dr. Nilo Chagas de Azambuja Filho, por terem aceitado darem suas contribuições e avaliarem o presente trabalho.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1:

Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo e distribuição das respectivas Folhas 1:50.000. (p. 4)
Fig. 2 - Mapa de localização dos furos de sondagens utilizados e principais vias de acesso usadas nos trabalhos de campo. (p. 5)
Fig. 3 - Mapa de localização dos afloramentos descritos. (p. 9)
Fig. 4 - Mapa de localização das seções de correlação estudadas. (p. 11)
Fig. 5 - Tempo de duração das ordens proposto por Vail *et. al*. (1991). (p. 12)
Fig. 6 - Escala de tempo linear do Paleozóico segundo Harland *et. al*. (1989). (p. 12)
Fig. 7 - Legenda das simbologias utilizadas nas figuras que apresentam análise descritiva de testemunhos e afloramentos. (p. 13)
Fig. 8 - Coluna estratigráfica proposta por Schneider *et. al*. (1974). (p. 14)

CAPÍTULO 2:

Fig. 9 - Quadro Espaço-Tempo mostrando as seqüências permianas de Candiota (RS) por Menezes (1994). Geocronologia e idades das unidades litoestratigráficas de Milani *et. al*. (1994). Curva de 1ª ordem conforme Vail *et. al*. (1977). (p. 21)
Fig. 10 - Quadro Espaço-Tempo apresentado por Lopes (1995) para o intervalo "Rio Bonito-Palermo" na região entre Butiá e São Sepé. Curva de 1ª ordem para o Permiano segundo Vail *et. al*. (1991), geocronologia segundo Marques-Toigo (1988) e escala de tempo geológico segundo Haq & Van Eysinga (1987). (p. 24)
Fig. 11 - Quadro-resumo mostrando geocronologia, bioestratigrafia e Estratigrafia de Seqüências do intervalo estudado por Holz (1995). (p. 24)

CAPÍTULO 3:

Fig. 12 - Exemplo da Associação de Fácies I no furo IR-153. a) Vista geral das litofácies que compõem a associação, onde visualizam-se ciclos de granodecrescência ascendente, com arenitos grossos passando a médios e finos. b) Detalhe da litofácies de arenitos conglomeráticos com imaturidade textural e laminação cruzada acanalada, e da litofácies de arenitos finos com laminação cruzada cavalgante (*climbing ripples*). (p. 30)
Fig. 13 - Pavimentos estriados com sentido N-S descritos nos tilitos basais do afloramento localizado no Cerro Coroado. (p. 31)
Fig. 14 - Tilito de alojamento mostrando matacão granítico amarrotando o sedimento a sua frente. Localização: afloramento do Cerro do Coroado. (p. 31)
Fig. 15 - Ritmitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados da Associação de Fácies II no furo CA-72 (profs. 350,40 a 322,00). (p. 35)
Fig. 16 - Estrutura física secundária do tipo fluidização, descrita no furo IR-153 nos depósitos da Associação de Fácies II. (p. 36)
Fig. 17 - Exemplo de clastos pingados nos ritmitos da Associação de Fácies II. Descrição no furo IR-153. (p. 37)
Fig. 18 - Detalhe do nível de conglomerado grão-suportado, pertencente à Associação de Fácies II, com clastos de composição polimítica. Descrição no furo CA-72. (p. 38)
Fig. 19 - Exemplo da Associação de Fácies III no furo CA-72. a) Pelitos e siltitos cinza-escuros, geralmente sem estruturas reconhecíveis ou com laminação plano-paralela incipiente. b) Detalhe do nível de calcáreo com estrutura *cone-in-cone*. (p. 41)
Fig. 20 - Exemplo da Associação de Fácies IV no furo IR-153 (profs. 399,80 a 378,10). a) Vista geral das litofácies que compõem a associação. b) Detalhe da litofácies de arenitos conglomeráticos e ortoconglomerados com base erosiva, imaturidade textural e laminação cruzada acanalada. (p. 43)
Fig. 21 - Foto mostrando modo de ocorrência da Litofácies de pelitos com *wavy-linsen* da Associação de Fácies IV. Localização: furo IB-137 (prof. 484,00 a 476,60). (p. 45)
Fig. 22 - Mapa de isópacas mostrando as espessuras, em metros, da Associação de Fácies IV. Nota-se que estes depósitos, orientados SW-NE, encontram-se ainda condicionados pela paleodepressão existente na porção oeste da área. (p. 46)
Fig. 23 - Arenitos finos cinza-claros, micáceos, com microgradação normal nas lâminas e laminação cruzada *hummocky* (HCS). Notar no canto superior esquerdo da foto um nível

de intraclastos e no centro abaixo um contato erosivo entre dois ciclos tempestíticos. (p.51)

Fig. 24 - Valvas desarticuladas de lingulídeos. a) Visualização do modo de ocorrência no furo de sondagem CA-72 (prof. 181,00). b) Detalhe de uma valva não fragmentada, com contorno oval e alongado, e com linhas de crescimento concêntricas. (p. 52)

Fig. 25 - Litofácies de arenitos finos a médios, bem selecionados, cinza-claros a brancos da Associação de Fácies VI. a) Verifica-se no furo CA-73 uma sucessão de fácies comum nesta associação, com arenitos bem selecionados intercalados a camadas carbonosas (profs. 362,36 a 346,55). b) Detalhe de um nível conglomerático com intraclastos oxidados (cx. 53). (p.53)

Fig. 26 - Exemplo da Associação de Fácies VI no furo IR-03 (profs. 80,00 a 73,00). a) Assim como exemplificado na figura anterior, visualiza-se a litofácies de arenitos finos a médios, bem selecionados, cinza-claros a brancos; camada carbonosa; e, no canto superior direito, contato com a associação de fácies seguinte. b) Detalhe de um nível de seixos de quartzo discóides. (p. 54)

Fig. 27 - Exemplo dos arenitos com *flasers* e *drapes* pelíticos da Associação de Fácies VI no furo IR-03 (profs. 89,75 a 86,00). Nota-se eventual nível com laminação cruzada cavalgante (*climbing ripples*). a) Verifica-se no canto superior desta foto, uma porção de pelíticos pretos com *wavy* e *linsen* milimétricos. (b) Detalhe das marcas de *syneresis* em *drapes* pelíticos. (p. 55)

Fig. 28 - Distribuição dos tipos de linhas de praia com respeito à variação da amplitude de marés, subdivididas nos grupos: dominados por ondas (*wave-dominated*), dominados por ondas e marés (*mixed wave-tide*), e dominados por marés (*tide-dominated*); conforme Hayes (1975, 1979) *apud* Reading (1986). (p.57)

Fig. 29 - Perfil físico do ambiente de praia com os respectivos subambientes: dunas costeiras (*aeolian dunes*), pós-praia (*backshore*), antepraia (*foreshore*), face da praia (*shoreface*) e costa-afora (*offshore*); conforme Walker & Plint (1992). (p. 57)

Fig. 30 - Empilhamento vertical das litofácies, com as respectivas estruturas sedimentares, e padrão da curva de raio-gama para a Associação de Fácies VII, descrita no furo de sondagem CA-73. (p. 59)

Fig. 31 - (a) Exemplo no afloramento da Mina Palermo da litofácies pertencente à Associação de Fácies VII, caracterizada pelo interacamadamento entre arenitos finos a médios, cinza-claros, com pelitos pretos. (b) Detalhe da litofácies descrita acima. (p. 61)

Fig. 32 - Foto mostrando modo de ocorrência da litofácies pertencente à Associação de Fácies VII, caracterizada pelo interacamadamento arenitos finos a médios, cinza-claros, com pelitos pretos. Localização: furo CA-73 (prof. 347,55 a 345,00). (p. 62)

Fig. 33 - Litofácies da Associação de Fácies VII descritas no afloramento da Barrocada. a) Paredão com arenitos médios a grossos de coloração alaranjada e laminação cruzada tangencial e acanalada de médio a pequeno porte. b) Detalhe dos *drapes* de argila (*mud drapes*) entre os *foresets* das camadas. c) Detalhe da camada de arenito médio com laminação cruzada acanalada de médio porte na base e, no restante, com laminação cruzada de baixo ângulo, descrita no topo do afloramento. (p. 63)

Fig. 34 - Litofácies da Associação de Fácies VII descritas no afloramento da Mina da Cascatinha. a) Exemplo de uma camada de arenito médio a grosso, cinza-acastanhado e quartzoso, com laminação cruzada tabular a tangencial na base. b) Exemplo da superfície ferruginosa que pode se apresentar bioturbada e com marcas de ondas no topo das camadas de arenitos. Verifica-se, também, internamente a cada *set*, a presença de cruzadas de pequeno porte. c) Nota-se que as camadas de arenitos médios a grossos cinza-acastanhados, quartzosos, lateralmente apresentam um afinamento gradual, vindo a formar wavys e linsens nos pelitos circundantes. d) Perfil descritivo mostrando a sucessão vertical das litofácies. (p. 65)

Fig. 35 - Figura ilustrando uma planície de maré, com as estruturas sedimentares refletindo uma diminuição das velocidades de corrente em direção ao continente, e os estratos cruzados depositados na porção inferior dos *sand flats* e nos canais de maré adjacentes, apresentando-se comumente orientados paralelamente à linha de costa (Darymple, 1992). (p. 66)

Fig. 36 - Exemplo da litofácies de arenitos finos interacamadados com pelitos pretos da Associação de Fácies VIII. A coloração amarelada ocorre devido à alteração em afloramentos, já que a mesma litofácies em testemunho de sondagem apresenta-se cinza-escura a esverdeada. Localização: Mina do Iruí. (p. 70)

Fig. 37 - Detalhe dos arenitos finos cinza-esverdeados com *hummockys* (HCS) da Associação de Fácies VIII. Descrição no furo IR-153 (prof. 255,00). (p. 71)

Fig. 38 - Exemplo de camada centimétrica de arenito médio a grosso quartzoso da Associação de Fácies VIII, maciço, com base erosiva e com intraclastos tamanho seixo de pelitos. A coloração esbranquiçada sugere cimento carbonático. Descrição no furo CA-68 (prof. 112,50). (p. 71)

Fig. 39 - Foto mostrando a principal litofácies da Associação de Fácies IX, a qual caracteriza-se por siltitos e pelitos com alto grau e tipo de bioturbação característico. Nota-se um interacamadamento entre siltitos e pelitos, nos quais descreve-se laminação ondulada de baixa amplitude e truncamentos suaves, ou, ainda, laminação plano-paralela. Localização: furo IR-153 (prof. 198,00). (p. 74)
Fig. 40 - Quadro-resumo mostrando a distribuição espacial das associações de fácies na área estudada. (p. 76)
Fig. 41 - Perfil descritivo dos testemunhos do furo de sondagem IR-153, acompanhando perfil geofísico (raios-gama). Grande parte das litofácies identificadas no trabalho estão presentes neste furo, o que o tornam um bom exemplo da maneira como se sucedem os diferentes tipos de depósitos sedimentares na área de estudo. (p. 78)

CAPÍTULO 4:

Fig. 42 - Classificação toponômica das estruturas de bioturbação por Martinsson (1965, 1970) *in*: Pemberton *et. al*. (1992a), mostrando diferentes posições destas estruturas com referência às camadas bioturbadas. (p. 82)
Fig. 43 - Classificação etológica dos traços fósseis. Modificado de Frey & Pemberton (1985) *in*: Pemberton *et. al*. (1992a). (p. 82)
Fig. 44 - Diferentes tipos de substrato mostrando quais icnofácies cada tipo pode apresentar. Pode-se observar que as icnofácies que ocorrem em substrato inconsolidado (*softground*) são diferenciadas por fatores ambientais; enquanto que as de substrato compactado (*firmground*), endurecido (*hardground*) ou de madeira (*woodground*), diferenciam-se somente pelo tipo e consistência do mesmo. Fonte: Pemberton *et. al*. (1992a). (p. 84)
Fig. 45 - Associação de traços fósseis característica da icnofácies *Skolithos* por Pemberton *et. al*. (1992a). (p. 84)
Fig. 46 - Associação de traços fósseis característica da icnofácies *Cruziana*, conforme Pemberton *et. al*. (1992a). (p. 86)
Fig. 47 - Associação de traços fósseis característica da icnofácies *Glossifungites* por Pemberton *et. al*. (1992a). (p. 88)

Fig. 48 - Desenvolvimento esquemático mostrando o estabelecimento de uma descontinuidade erosional com posterior bioturbação, caracterizando a icnofácies *Glossifungites*. Como se vê na figura, são quatro os passos para a formação desta icnofácies, os quais descreve-se a seguir. 1) substrato lamoso com pouca quantidade de água e com um certo grau de compactação; 2) a camada de lama é erosionalmente exumada, resultando no desenvolvimento de um substrato firme (*firmground*); 3) colonização da superfície de descontinuidade por organismos produtores de traços da icnofácies *Glossifungites*, abaixo de condições marinhas e durante um hiato deposicional; e 4) as estruturas são passivamente preenchidas durante um episódio deposicional sucedente. Fonte: MacEachern *et. al*. (1992a). (p. 88)

Fig. 49 - Área média ocupada pela bioturbação nas formações Palermo e Rio Bonito, conforme Netto (1995). Notar que a área média ocupada pela bioturbação na Formação Palermo, que tem sua equivalência na parte superior da Associação de Fácies VII, Associação de Fácies VIII e Associação de Fácies IX, descritas na área; é bem maior que a ocupada na Formação Rio Bonito (Associação de Fácies IV, V, VI e base da Associação de Fácies VII). (p. 94)

Fig. 50 - Perfil descritivo do furo de sondagem IR-153, onde além de se poder visualizar o empilhamento vertical das fácies sedimentares, pode-se analisar o modo como se sucedem as icnofácies. (p. 96)

Fig. 51 - Perfil descritivo do furo de sondagem CA-73, ilustrando o empilhamento vertical das fácies sedimentares, bem como os icnofósseis presentes. Também visualiza-se a maneira como se sucedem as icnofácies nesta porção da seqüência. (p. 97)

Fig. 52 - Icnofósseis descritos na base da Associação de Fácies III. Estruturas de escape, *Teichichnus*, *Skolithos* e *Diplocraterion*; com localização no furo de sondagem IR-153 (prof. 423,70). (p. 98)

Fig. 53 - Estrutura de escape identificada nos arenitos com laminação cruzada *hummocky* da Associação de Fácies VI no furo de sondagem CA-72 (prof. 181,45). Esta estrutura evidencia altas taxas de energia para o ambiente. (p. 100)

Fig. 54 - Icnofósseis descritos na Associação de Fácies VII. Nos arenitos interacamadados com pelitos, nota-se a predominância das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*, respectivamente. a) Furo de sondagem CA-72. b) Furo de sondagem CA-73. (p. 101)

Fig. 55 - Exemplo do icnofóssil *Diplocraterion* pertencente à icnofácies *Skolithos*, descrito nos arenitos de planície arenosa (*sand flat*) da Associação de Fácies VII. Localização: furo de sondagem CA-73 (prof. 332,00). (p. 102)
Fig. 56 - Exemplo da icnofácies *Glossifungites* nos pelitos com *wavy* e *linsen* descritos na Mina da Cascatinha. (p. 103)
Fig. 57 - Exemplo de um "*hardground*" bioturbado (Netto, 1995), com destaque para escavações de tendência horizontal, realizadas provavelmente pelo icnogênero *Palaeophycus*. Localização: Mina da Cascatinha. (p. 105)
Fig. 58 - Exemplo da icnofácies *Glossifungites* descrita na base da Associação de Fácies VIII no furo de sondagem IR-153 (prof. 244,20 a 244,55). (p. 106)
Fig. 59 - Exemplo de ocorrência do icnogênero *Teichichnus* na Associação de Fácies IX. a) Visão geral da litofácies de arenitos finos e pelitos da Associação de Fácies IX, com alto grau de bioturbação por *Teichichnus*. b) Detalhe dos *spreiten* retrusivos em abundância, significativos de um domínio das taxas de sedimentação sobre erosão. (p. 107)

CAPÍTULO 5:

Fig. 60 - Representação das Superfícies-Chaves identificadas na seção de correlação *Dip* 1. (p. 112)
Fig. 61 - Representação das Superfícies-Chaves identificadas na seção de correlação *Dip* 2. (p. 113)
Fig. 62 - Representação das Superfícies-Chaves identificadas na seção de correlação *Dip* 3. (p. 114)
Fig. 63 - Representação das Superfícies-Chaves identificadas na seção de correlação *Strike* 1. (p. 115)
Fig. 64 - Representação das Superfícies-Chaves identificadas na seção de correlação *Strike* 2. (p. 116)
Fig. 65 - Na foto acima, pode-se visualizar um exemplo de ocorrência do Limite de Seqüência 1 (LS1), através do contato discordante entre os tilitos basais da Associação de Fácies I e os sedimentitos eo-paleozóicos da Bacia do Camaquã, no Cerro Coroado. (p. 118)

Fig. 66 - Na foto ao lado, verifica-se um exemplo do Limite de Seqüência 2 (LS2) de fácil identificação pelo visível contraste litológico, onde os arenitos flúvio-deltaicos da Associação de Fácies IV, estão sobrepostos com caráter erosivo nos pelitos e arenitos finos da Associação de Fácies III. Localização: Furo de Sondagem IR-153 (prof. 407,00). (p. 118)
Fig. 67 - Seção de correlação *Dip* 1, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistema. (p. 121)
Fig. 68 - Seção de correlação *Dip* 2, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistema. (p. 122)
Fig. 69 - Seção de correlação *Dip* 3, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistema. (p. 123)
Fig. 70 - Seção de correlação *Strike* 1, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistema. (p. 124)
Fig. 71 - Seção de correlação *Strike* 2, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistema. (p. 125)
Fig. 72 - Seqüência 1 na seção de correlação *Dip* 1. (p. 128)
Fig. 73 - Seqüência 1 na seção de correlação *Strike* 1. (p. 129)
Fig. 74 - Seqüência 1 na seção de correlação *Strike* 2. (p. 130)
Fig. 75 - Mapa de isópacas mostrando a espessura em metros da Seqüência I. Notar o condicionamento imposto pela depressão localizada na porção Oeste da área, interpretada como um paleovale glacial. (p. 131)
Fig. 76 - Seqüência 2 na seção de correlação *Dip* 1. (p. 134)
Fig. 77 - Seqüência 2 na seção de correlação *Dip* 2. (p. 135)
Fig. 78 - Seqüência 2 na seção de correlação *Dip* 3. (p. 136)
Fig. 79 - Seqüência 2 na seção de correlação *Strike* 1. (p. 137)
Fig. 80 - Seqüência 2 na seção de correlação *Strike* 2. (p. 138)

Fig. 81 - Mapas de isópacas mostrando as espessuras, em metros, dos arenitos de shoreface da Associação de Fácies VI nas parasseqüências 1 a 6 do trato de sistemas transgressivo da Seqüência 2 (TST2). (p. 141)
Fig. 82 - Seqüência 3 na seção de correlação *Dip* 1. (p. 142)
Fig. 83 - Seqüência 3 na seção de correlação *Dip* 2. (p. 143)
Fig. 84 - Seqüência 3 na seção de correlação *Dip* 3. (p. 144)
Fig. 85 - Seqüência 3 na seção de correlação *Strike* 1. (p. 145)
Fig. 86 - Seqüência 3 na seção de correlação *Strike* 2. (p. 146)
Fig. 87 - Exemplo dos arenitos flúvio-deltaicos da Associação de Fácies IV pertencentes ao TSMB3. Descrição no furo IR-153. a) Arenitos médios a grossos de composição quartzo-feldspática e coloração cinza-clara, com contatos erosivos basais, bolas de argila e nódulos de sulfetos. b) Detalhe destes arenitos. (p. 148)
Fig. 88 - Quadro-resumo do arcabouço estratigráfico do intervalo estudado para a região de Cachoeira do Sul. Geocronologia segundo Harland *et. al.* (1989), litoestratigrafia segundo Milani *et. al.* (1994), e seqüências de 2ª ordem: 1 - segundo Sloss (1963) e 2 - segundo Milani (1997). (p. 151)

INTRODUÇÃO

Esta dissertação apresenta os resultados da análise estratigráfica empreendida para as rochas sedimentares do Eo-Permiano da Bacia do Paraná, equivalentes às unidades litoestratigráficas: Itararé, Rio Bonito e Palermo; na região de Cachoeira do Sul no estado do Rio Grande do Sul - Brasil.

Os pressupostos teóricos que serão utilizados fazem parte do arcabouço conceitual que vigora na moderna estratigrafia, onde os fatos relevantes dizem respeito à dinâmica sedimentar, com a gênese dos estratos sendo discutida, bem como as quebras no registro, materializadas pelas superfícies de descontinuidades. Estas premissas levarão ao conhecimento do arranjo espacial e temporal dos estratos analisados.

O tipo da bacia em rampa de antemão coloca uma situação especial para a aplicação dos conceitos da Estratigrafia de Seqüências. O menor espaço para acomodação dos sedimentos resulta, como será visto, em seqüências pouco espessas, além da pouca expressão dos depósitos de nível de mar baixo.

Outro fator relevante diz respeito ao degelo das geleiras que ocupavam as paisagens entre o Carbonífero e o Permiano, provocado pelo aumento das temperaturas resultante do distanciamento do continente Gondwana da calota polar. Este fato coloca-se como um fator de grande importância, tornando-se um dos grande responsáveis pelos tipos de ambientes e sistemas deposicionais que se sucedem durante o Eo-Permiano.

Dentro deste contexto, as particularidades apresentadas não se opõem ao emprego integrado das disciplinas Sedimentologia, Icnologia e Estratigrafia de Seqüências; pelo contrário resulta em interpretações coerentes e embasadas, contribuindo, no final, para a avaliação da história estratigráfica-paleogeográfica da Bacia do Paraná no estado do Rio Grande do Sul.

Colocadas estas considerações preliminares reveladoras do que pretende esta pesquisa, apresenta-se a forma como foi estruturado o texto para que se chegasse aos objetivos propostos.

O Capítulo 1 inicia localizando a área de estudo, após apresenta os principais objetivos, segue dando uma idéia do contexto geológico e geotectônico, onde insere-se

tal estudo; finalizando com a apresentação de todos os passos cumpridos para a execução da pesquisa, não esquecendo de realçar as convenções adotadas.

O Capítulo 2 faz breves considerações, relembrando pontos importantes dos trabalhos antecedentes, também apresentando um enfoque moderno da estratigrafia, sobretudo aplicando os conceitos da Estratigrafia de Seqüências, da Cicloestratigrafia e da Bioestratigrafia.

O Capítulo 3 apresenta a faciologia sedimentar, apresentando descrições litológicas em afloramento e testemunho, e as respectivas interpretações, ilustrando os ambientes geológicos e seus sistemas deposicionais principais.

O Capítulo 4 utiliza-se dos icnofósseis identificados, principalmente da porção intermediária para o topo da seqüência sedimentar estudada, equivalente às formações Rio Bonito e Palermo, para empreender um estudo dos fatores dinâmicos ambientais, evidenciados pela interpretação dos traços de organismos viventes em tais paleoambientes, auxiliando para um melhor entendimento paleoambiental.

O Capítulo 5, já com o embasamento dado pelos dois capítulos anteriores, desenvolve todo um raciocínio no sentido de construir um arcabouço estratigráfico para a área em questão, utilizando-se das seções estratigráficas feitas com base na correlação de perfis de raios-gama dos furos de sondagens escolhidos. As superfícies de tempo são mostradas, bem como seqüências e tratos de sistemas. É discutida a hierarquia destas seqüências, bem como a idéia de evolução paleogeográfica. Finalmente, disserta-se sobre os possíveis controladores da sedimentação, e discute-se sobre a possibilidade de correlação com áreas vizinhas.

Os capítulo 6 e 7 finalizam o trabalho, apresentando, respectivamente, as principais conclusões e recomendações para estudos futuros, e as referências bibliográficas citadas no transcorrer do texto.

CAPÍTULO 1

LOCALIZAÇÃO, OBJETIVOS E METODOLOGIA

1.1 - Localização

A área localiza-se na unidade geomorfológica conhecida como Depressão Periférica (Fig. 1), onde encontram-se rochas sedimentares da bacia intracratônica do Paraná. Abrange as Folhas, na escala 1:25.000, de Cachoeira do Sul (SH.22-Y-A-III), de Barro Vermelho (SH.22-Y-A-II), de Cerro Manoel Prates (SH.22-Y-A-V), de Capané (SH.22-Y-A-VI), totalizando uma área de aproximadamente 2.592 Km^2, entre as coordenadas UTM NS 6680000 e 6624000 e EW 284000 e 332000.

As principais vias de acesso são a BR290, a BR153 e vias secundárias (Fig. 2).

Na área localizam-se as minas de carvão inativas da Cascatinha, Iruí e a mineração ainda ativa da Mina Capané pertencente à Carbonífera Palermo.

1.2 - Objetivos

Esta pesquisa procura como resultado maior a proposição de um arcabouço cronoestratigráfico de terceira ordem, através do reconhecimento e mapeamento de superfícies cronoestratigraficamente significativas. Intrínsecas ao estudo que será realizado em vistas de atingir o objetivo mencionado acima, estarão a análise de fácies sedimentares e de icnofósseis, que associadas permitem a reconstituição da evolução paleofisiográfica e paleoambiental ocorridas. Outro objetivo será contribuir com a discussão acerca dos fatores que controlam a sedimentação (clima, eustasia e tectônica).

Finalmente, procura-se correlacionar o arcabouço cronoestratigráfico e integrar os dados faciológicos com aqueles existentes em Candiota e na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, contribuindo com o mapeamento da borda Sul da Bacia do Paraná no estado.

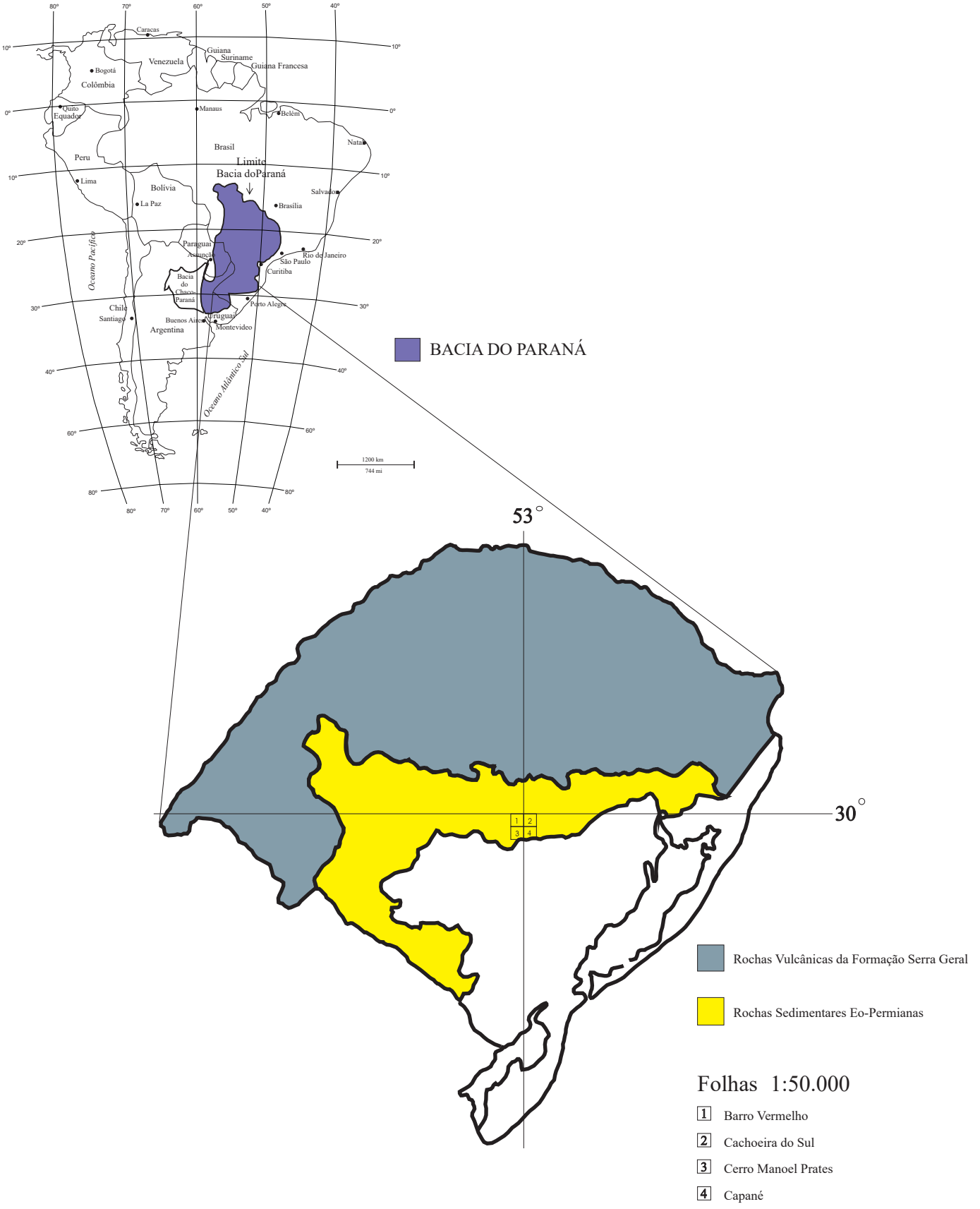


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo e distribuição das respectivas Folhas 1:50.000.

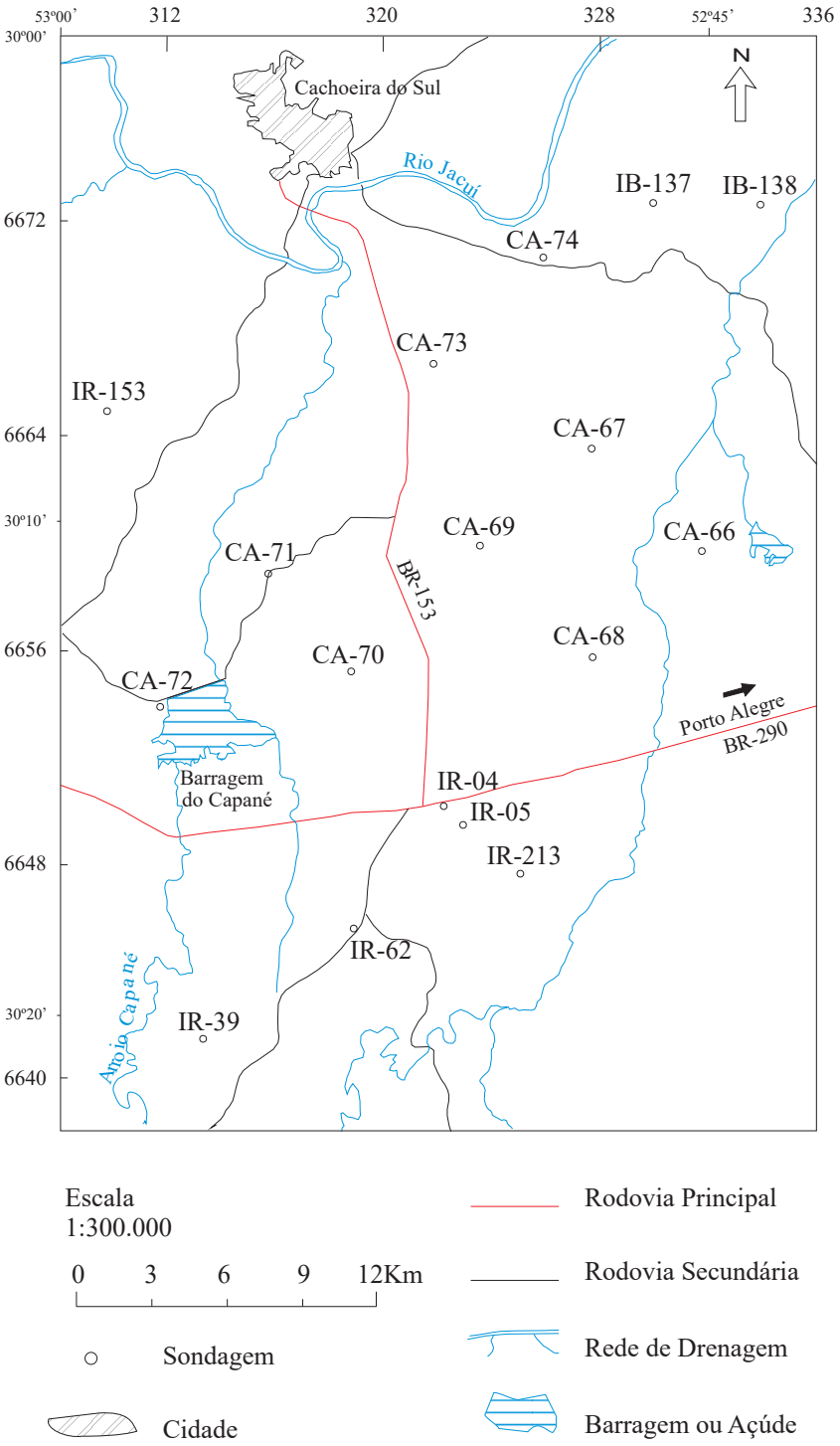


Fig. 2 - Mapa de localização dos furos de sondagens utilizados e principais vias de acesso usadas nos trabalhos de campo.

1.3 - Contexto Geológico e Geotectônico

O local estudado representa uma parte da borda sul da Bacia do Paraná, uma bacia intracratônica sul-americana, desenvolvida completamente sobre crosta continental, e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cujas idades variam entre o Siluriano e o Cretáceo (Zalán, *et al*. 1990). Sua extensão areal é de aproximadamente 1.400.000 Km^2, ocupando parte dos territórios de Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina (Fig. 1).

Na área estudada as rochas sedimentares gonduânicas assentam-se discordantemente sobre o embasamento, podendo, também, ser notado um gradual afinamento por erosão destes sedimentos em direção ao Escudo Sul-rio-grandense, configurando o atual limite da bacia neste local.

O embasamento da bacia, segundo Zalán *et. al*. (*op.cit*.) e Cordani *et al*. (1984) *in*: Milani (1997), é composto por núcleos cratônicos (terrenos granulíticos e de granitos), circundados por cinturões móveis orogênicos (rochas metassedimentares dobradas e empurradas, e granitos), e eventualmente cobertos por sedimentos remanescentes de bacias de ante-país, de natureza molássica, todos formados durante o ciclo Brasiliano (Neo-Proterozóico a Ordoviciano).

O arcabouço estratigráfico da bacia é representado por estratos que se formaram do Neo-Ordoviciano (aproximadamente 450 M.a) ao Neo-Cretáceo (aproximadamente 65 M.a). Uma série de colunas estratigráficas para a bacia já foram utilizadas, podendo-se citar como exemplo, as do trabalho de Zalán *et al*. (1990) e Milani *et al*. (1994). Para uma melhor caracterização deste arcabouço estratigráfico escolheu-se a proposta de Milani (1997). Segundo este autor, o arcabouço da bacia é composto por seis superseqüências, seguindo denominação da hierarquia utilizada por Vail *et al*. (1977). Estas superseqüências foram denominadas como: Superseqüência Rio Ivaí (Caradociano - Laudoveriano), Superseqüência Paraná (Lockoviano - Frasniano), Superseqüência Gondwana I (Westphaliano - Scythiano), que compreende o intervalo de tempo estudado nesta dissertação, Superseqüência Gondwana II (Neo-Anisiano - Eo-Noriano), Superseqüência Gondwana III (Neo-Jurássico - Berriasiano) e Superseqüência Baurú (Aptiano - Maastrichtiano). Conforme Milani (*op. cit.*), as três unidades inferiores compreendem grandes ciclos transgressivo-regressivos paleozóicos, enquanto os demais são representados por unidades continentais mesozóicas e rochas ígneas associadas.

1.4 - Metodologia

Após a escolha da área alvo da pesquisa a ser empreendida, foi avaliado o potencial de dados existentes. Feito isto, verificou-se a existência de uma grande quantidade de furos de sondagens com seus respectivos perfis raios-gama, resistividade e SP, realizados pelo convênio DNPM/CPRM durante execução do Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná, na década de 80.

A escolha dos furos de sondagens a serem utilizados, levou em conta: (1) a qualidade dos perfis, um número suficiente de furos que recobrisse a área para o detalhe pretendido compondo uma malha de aproximadamente 3 por 3 km, (2) a existência de testemunhos, (3) a abrangência no intervalo estratigráfico a ser pesquisado e (4) o fato de ter atingido ou não o embasamento, para uma posterior análise paleotopográfica. Esta etapa do trabalho foi realizada na biblioteca da CPRM - Superintendência Porto Alegre, tendo como furos de sondagens escolhidos os relacionados abaixo (distribuição na área conforme figura 2):

5 - CA - 66 - RS (UTM N - 6660000.00 e UTM E - 332000.00)
5 - CA - 67 - RS (UTM N - 6663880.00 e UTM E - 327830.00)
5 - CA - 68 - RS (UTM N - 6656000.00 e UTM E - 328000.00)
5 - CA - 69 - RS (UTM N - 6660157.00 e UTM E - 323814.00)
5 - CA - 70 - RS (UTM N - 6655355.00 e UTM E - 319100.00)
5 - CA - 71 - RS (UTM N - 6659000.00 e UTM E - 316000.00)
5 - CA - 72 - RS (UTM N - 6654000.00 e UTM E - 312170.00)
5 - CA - 73 - RS (UTM N - 6667000.00 e UTM E - 322000.00)
5 - CA - 74 - RS (UTM N - 6671000.00 e UTM E - 326000.00)
IB - 137 – RS (UTM N - 6673100.00 e UTM E - 330000.00)
IB - 138 – RS (UTM N - 6673098.00 e UTM E - 333490.00)
IR - 03 - RS (UTM N - 6649810.94 e UTM E - 322087.18)
IR - 04 - RS (UTM N - 6650338.42 e UTM E - 322562.21)
IR - 05 - RS (UTM N - 6649640.70 e UTM E - 323327.86)
IR - 39 - RS (UTM N - 6641490.30 e UTM E - 313995.15)
IR - 62 - RS (UTM N - 6645757.51 e UTM E - 319370.67)
IR - 213 – RS (UTM N - 6647889.19 e UTM E - 325431.92)
IR - 153 - RS (UTM N - 6665010.07 e UTM E - 309952.10)
AC - 73 - RS (UTM N - 6639050.42 e UTM E - 295276.11)
AC - 75 – RS (UTM N - 6644750.00 e UTM E - 305500.00)

A seqüência do trabalho deu-se com a digitalização dos vinte perfis raios gama correspondentes a estes furos em microcomputador com o aplicativo PETROMAP

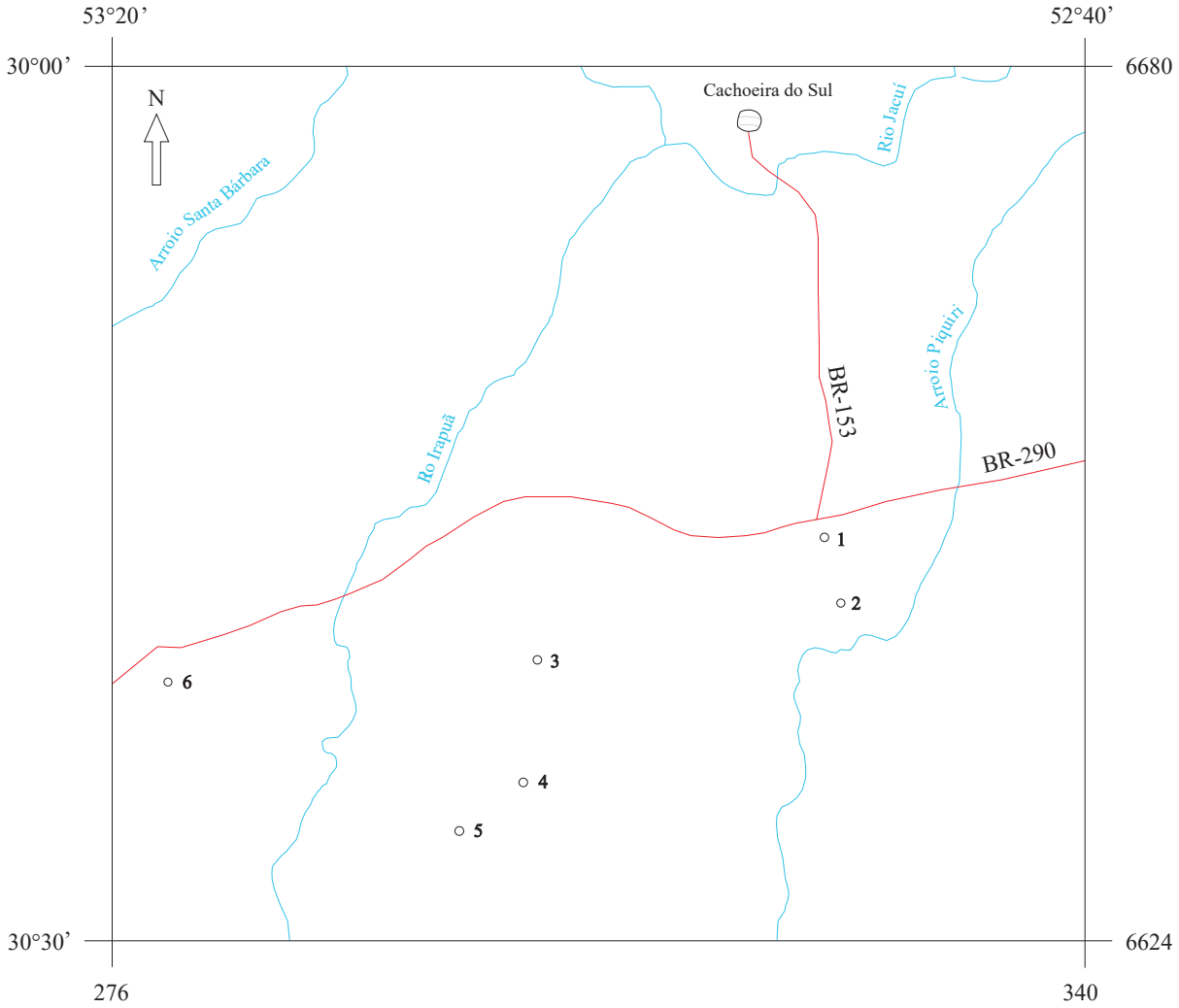
(versão 1.0), de propriedade da PETROBRAS e à disposição no convênio UFRGS/PETROBRAS. Escolheu-se a escala de 1:200 para o trabalho prático com os perfis e de 1:500 para as seções de correlação. Aliado a esta etapa, fez-se um apanhado de toda a bibliografia disponível que estivesse relacionada com o assunto ora abordado e com a área em questão, colocando-se a par da evolução e do nível atual dos conhecimentos da bacia.

A etapa de trabalho seguinte envolveu a descrição e interpretação faciológica dos seguintes testemunhos de sondagem: IR-03-RS, IR-153-RS, IR-213-RS, IB-137-RS, 5-CA-67-RS, 5-CA-68-RS, 5-CA-72-RS, 5-CA-73-RS e 5-CA-74-RS. Descreveu-se tanto as diferentes fácies sedimentares caracterizadas pela litologia, textura, estruturas e contatos; como os diferentes padrões de bioturbação, tentando descrever os icnofósseis a nível de icnofácies, incluindo documentação fotográfica.

O estudo dos afloramentos da área (Fig. 3) teve como objetivo aumentar o entendimento da sucessão de fácies e, numa complementação ao estudo dos testemunhos, visualizar a variação lateral de fácies. Foram feitos cinco perfis geológicos de campo, com medição das espessuras das camadas, análise de litologia, estruturas e relações de contato, medições de paleocorrentes, e foram fotografados vista geral dos afloramentos, bem como detalhes importantes dos mesmos. A análise da bioturbação em afloramento deu-se, principalmente, na Mina da Cascatinha, quando da realização da excursão de campo do programa do *Workshop* em Paleoicnologia realizado pela UNISINOS em 1997.

Uma das principais etapas para a análise estratigráfica empreendida foram a observação dos padrões de perfis raios-gama, bem como a elaboração de seções de correlação, servindo-se da malha de sondagem desenvolvida pelo convênio DNPM/CPRM, utilizando os dados em malha de aproximadamente 3km por 3km.

Os perfis de raios-gama, que medem emissões de radioatividade natural das camadas penetradas pelos furos de sondagem, constituíram-se na perfilagem geofísica mais favorável, pela boa resposta que dão quando se analisa litologias ou para os trabalhos de correlação. Pode-se citar, como exemplo da qualidade de visualização e interpretação destes perfis, a resposta característica com que os tratos de sistemas se apresentam, demonstrado por Vail & Wornardt (1990), e as formas mais comuns apresentadas pelas curvas da perfilagem, com suas possíveis correspondências com diferentes depósitos sedimentares, apresentados em Cant (1992).



Afloramentos:

1 - Mina do Iruí	UTM N 6650000.00	UTM E 322000.00
2 - Mina da Cascatinha	6645974.00	323815.00
3 - Fazenda N.Sª das Graças	6642200.00	303500.00
4 - Mina do Capané	6633798.00	303110.00
5 - Cerro Coroado	6630910.00	298972.00
6 - Barrocada	6640600.00	280200.00

Legenda:

Cidade

Rodovia Principal

Rede de Drenagem

Fig. 3 - Mapa de localização dos afloramentos descritos.

Para a elaboração das seções de correlação procurou-se nas feições das curvas de raios-gama identificar um *datum* para o posicionamento relativo dos dados das sondagens. Após a escolha deste *datum*, que tem os motivos para sua escolha discutidos no Capítulo 5 da presente dissertação, começou-se a procura por feições e formas semelhantes nas curvas de raios-gama que apresentassem uma resposta coerente em termos de fácies e ambiente deposicional, tornando possível a correlação de superfícies limítrofes de seqüências e tratos de sistemas. Deste procedimento, resultaram duas seções de correlação aproximadamente W-E (*strike*) e três orientadas segundo SE-NW (*dip*) (Fig. 4).

1.5 - Convenções Adotadas

Na presente dissertação estará ausente o item que desenvolve uma revisão conceitual de trabalhos como o de Vail *et al*. (1991) que abordam a Estratigrafia de Seqüências. O autor entende ser este um item já exaustivamente abordado pelos autores de teses e dissertações feitas nos últimos anos (e.g. Holz, 1995). Por outro lado, é importante salientar que utilizar-se-á a terminologia da Estratigrafia de Seqüências, conforme Van Wagoner *et al*. (1988) e Van Wagoner *et al*. (1991), para as superfícies, seqüências e tratos de sistemas. Foi utilizado o tempo de duração das ordens, que serviram de base para a hierarquia das seqüências, proposto por Vail *et al*. (1991) (Fig. 5). A escala geocronológica adotada foi a de Harland *et al*. (1989) (Fig. 6).

Para a elaboração de uma legenda com as simbologias utilizadas para representar tipos de contatos, estruturas físicas primárias, estruturas físicas secundárias, estruturas biogênicas, feições diagenéticas e outras, descritas em afloramentos e testemunhos, consultou-se um manual de simbologias convencionadas e utilizadas pela PETROBRAS, bem como procurou-se adotar as simbologias mais comumente utilizadas pelos diversos autores, resultando na legenda mostrada na fig. 7.

A coluna estratigráfica proposta por Schneider *et al*. (1974) mostrada na figura 8 serviu de base para citar as unidades litoestratigráficas temporalmente relacionadas com o intervalo estudado.

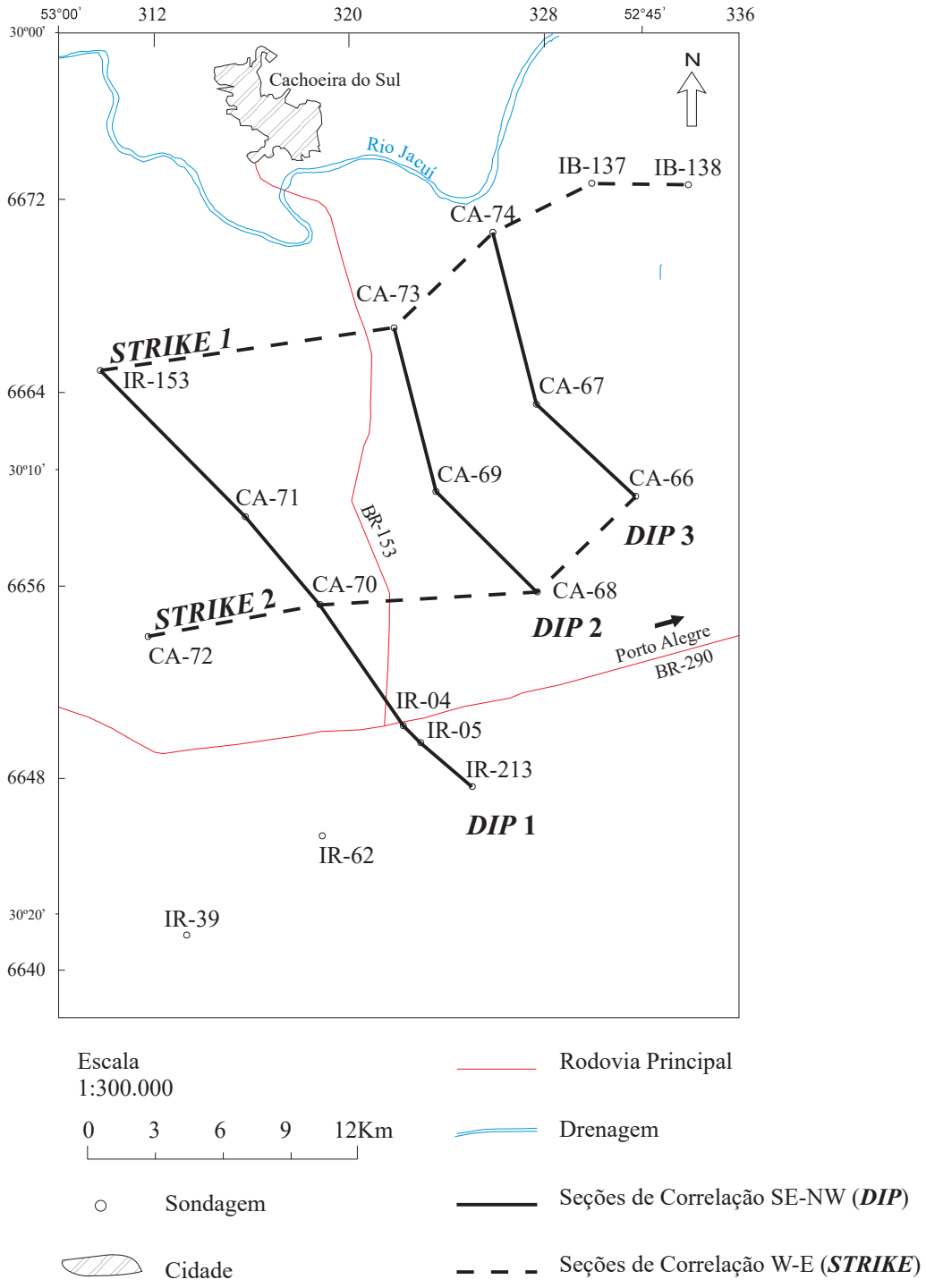


Fig. 4 - Mapa de localização das seções de correlação estudadas.

Order	Duration
1	50+Ma
2	3–50 Ma
3	0.5–3 Ma
4	0.08–0.5 Ma
5	0.03–0.08 Ma
6	0.01–0.03 Ma

Fig. 5 - Tempo de duração das ordens proposto por Vail *et. al.* (1991).

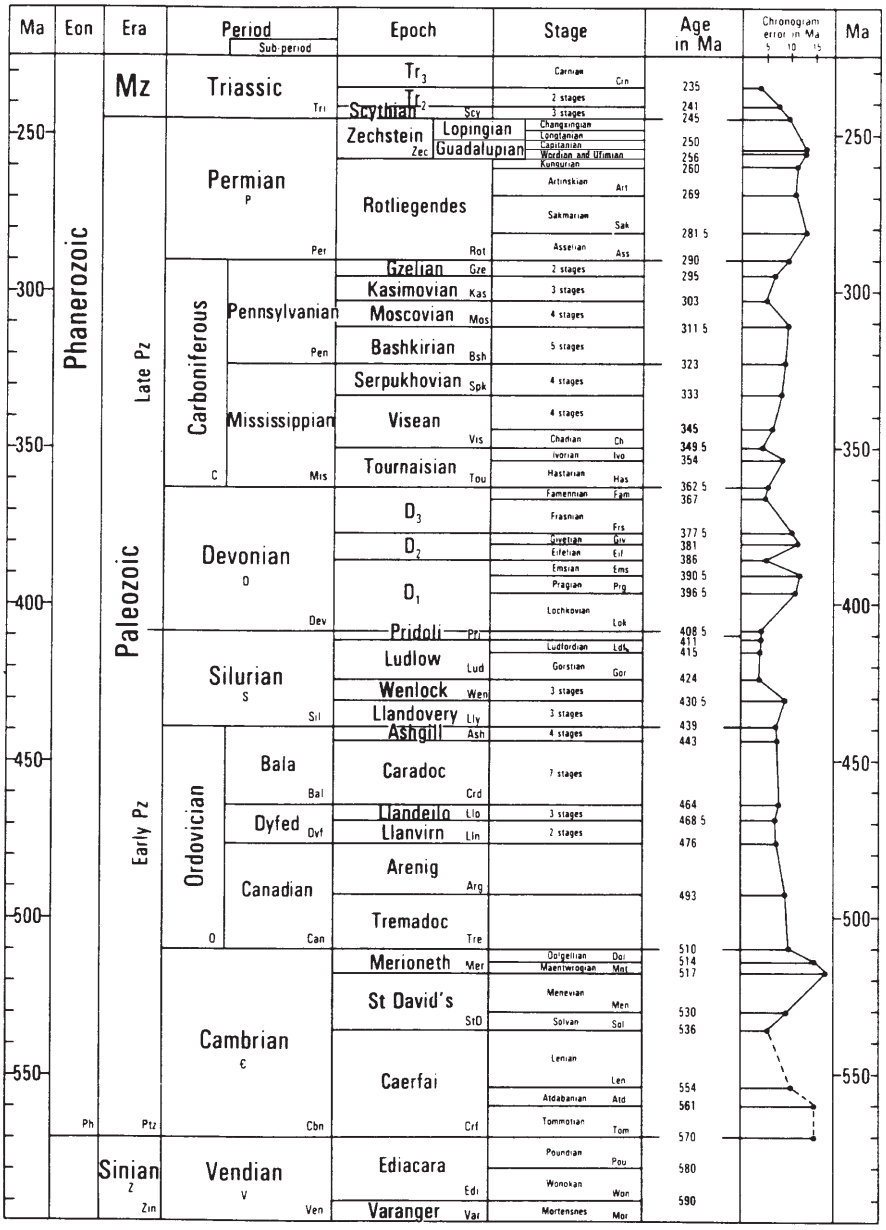


Fig. 6 - Escala de tempo linear do Paleozóico segundo Harland *et. al.* (1989).

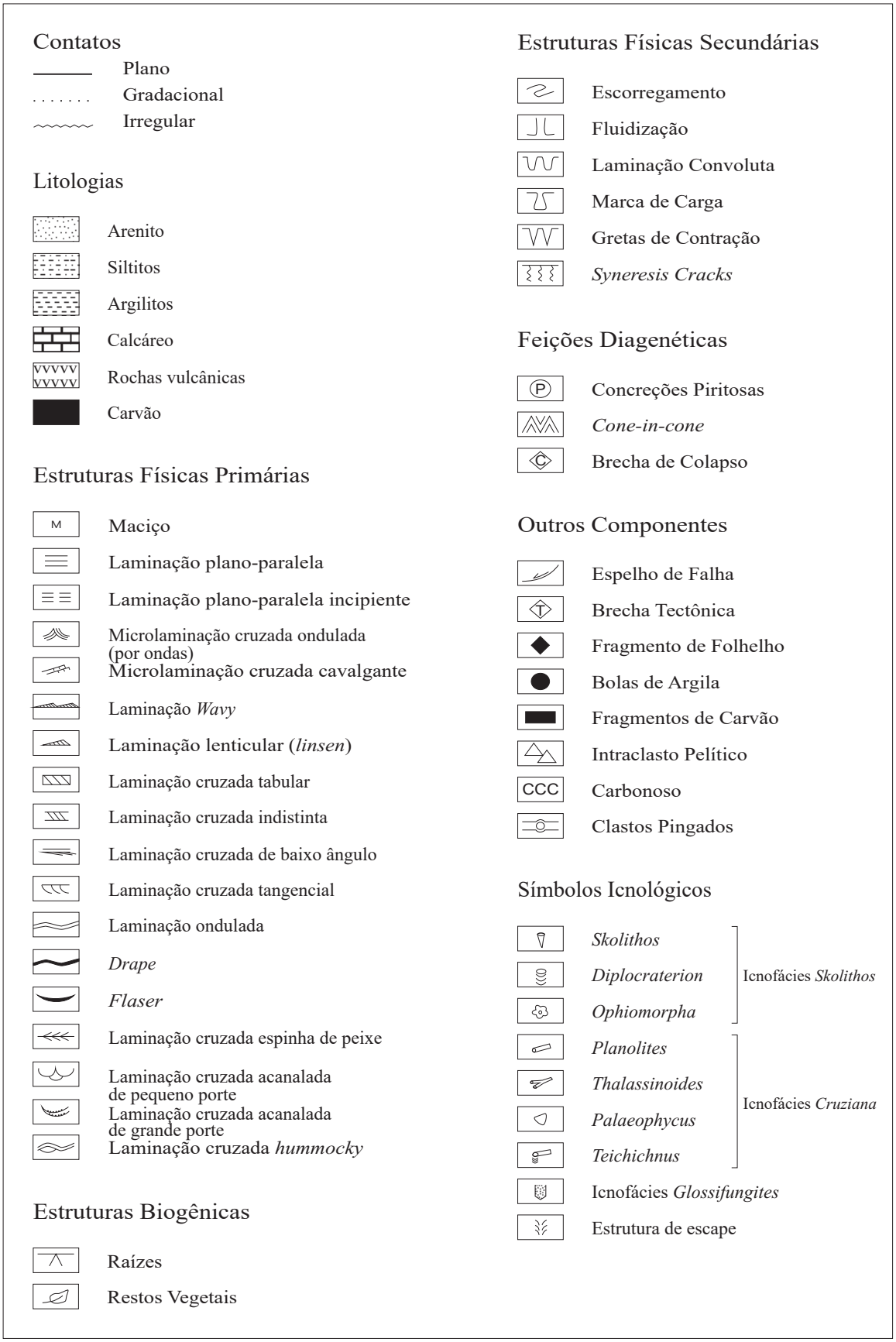


Fig. 7 - Legenda das simbologias utilizadas nas figuras que apresentam análise descritiva de testemunhos e afloramentos.

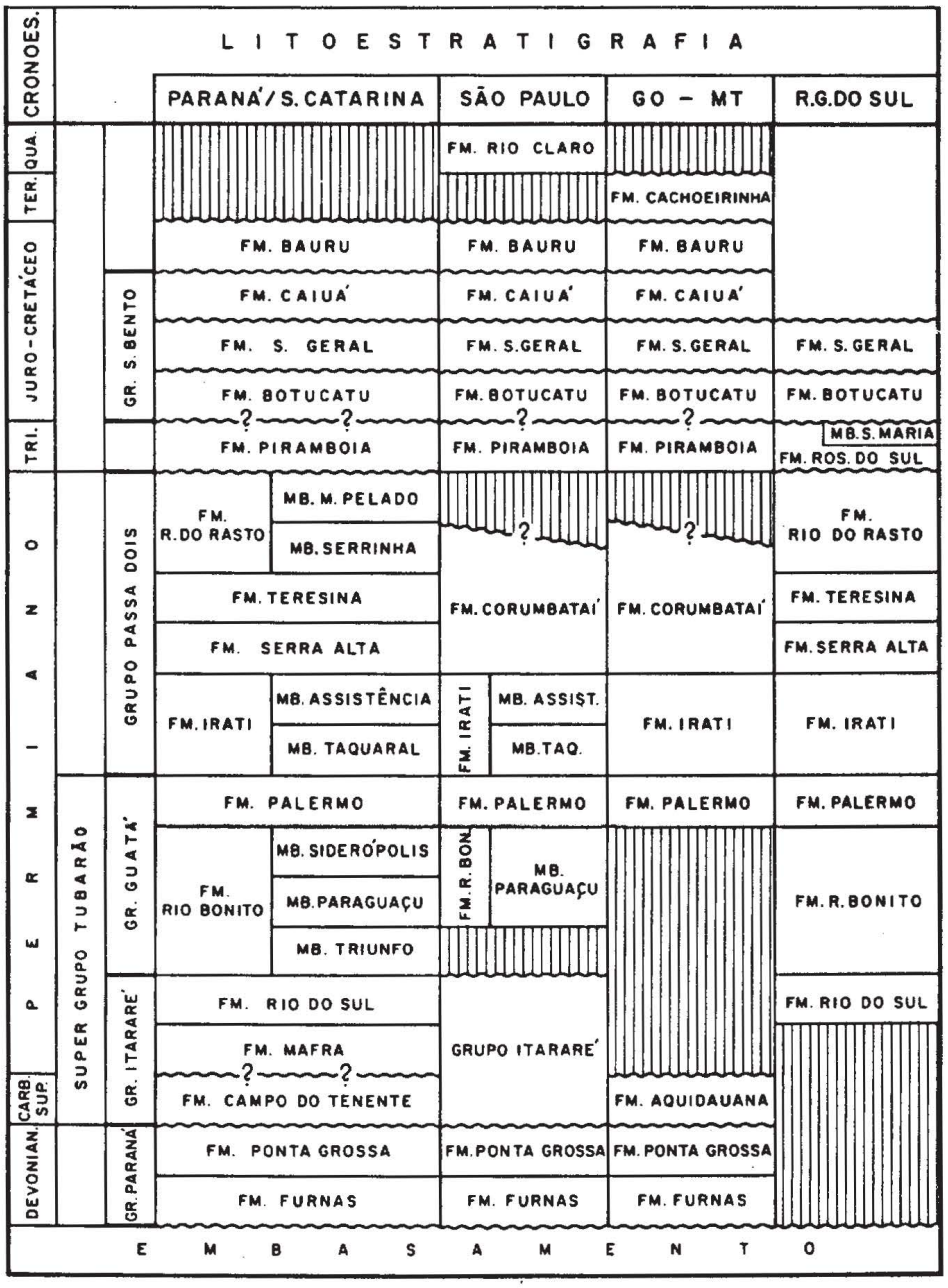


Fig. 8 - Coluna estratigráfica proposta por Schneider *et. al*. (1974).

CAPÍTULO 2

EVOLUÇÃO DOS CONHECIMENTOS

Este item tem o objetivo de trazer ao leitor, através de uma breve apresentação, os trabalhos que ao longo dos últimos anos mostraram a evolução dos conhecimentos estratigráficos relativos à Bacia do Paraná. Embora este trabalho já esteja inserido na metodologia e técnica da Estratigrafia de Seqüências, não se subestima a importância daqueles trabalhos baseados em litoestratigrafia, bioestratigrafia e cronoestratigrafia, pois somente pela existência dos mesmos, é que se tem um bom conhecimento de faciologia e de evolução da bacia. Partindo-se disto, inicialmente faz-se uma abordagem dos diversos trabalhos que enfocaram as rochas sedimentares Eo-Permianas pertencentes ao Supergrupo Tubarão no ponto de vista litoestratigráfico, apresentando as principais unidades sedimentares pertencentes ao intervalo de tempo estudado. Estes trabalhos foram, principalmente, realizados por pesquisadores de órgãos governamentais, como: CPRM, DNPM e PETROBRAS; universidades federais e particulares, como: UFRGS, UFPR e UNISINOS, entre outras. Após, apresenta-se os trabalhos que, assim como este, estão calcados no paradigma da Estratigrafia de Seqüências.

2.1 - Litoestratigrafia Formal

Grupo Itararé

No Rio Grande do Sul, o Grupo Itararé pode ser considerado como indiviso, por não apresentar correlação litológica e de idades com as formações Campo do Tenente, Aquidauana, Mafra e Rio do Sul, unidades estas mapeadas principalmente nos estados de Santa Catarina e sul do Paraná, embora fosse colocado por Schneider *et al*. (1974) que a Formação Rio do Sul teria ocorrência no estado. Conforme os dados de palinologia de Guerra-Sommer *et al*. (1979) e paleobotânica de Corrêa da Silva & Arrondo (1977), as rochas do Itararé no estado pertencem ao Sakmariano-Artinskiano.

As rochas sedimentares do Grupo Itararé fazem contato erosivo (discordante) com rochas do embasamento cristalino, ou com rochas sedimentares Eopaleozóicas da Bacia do Camaquã. O contato superior (com a unidade Rio Bonito), na concepção litoestratigráfica vigente até meados dos anos oitenta é concordante (*e.g.*, Northfleet *et al*. ,1969; Schneider *et al*.,1974; Ferreira *et al*.,1978; Holz & Dias-Flor,1984; Piccoli *et al*.,1985).

Com o decorrer dos anos, alguns trabalhos tiveram suma importância, como o de Delaney & Goni (1963), onde individualizou-se duas fácies litológicas dentro do "Grupo" Itararé: "Fácies Suspiro", com tilitos, varvitos e depósitos flúvio-glaciais e "Fácies Budó" com siltitos fossilíferos arenosos e marinhos. Esta concepção foi consolidada no artigo de Piccoli (1989), quando reconheceu-se um Itararé Inferior e um Superior, relacionados às "Fácies Suspiro e Budó", respectivamente; atribuindo um ambiente lacustre continental com influência glacial ao Suspiro, conforme dados litofaciológicos e a presença de algas do gênero *Botryococcus* (Guerra-Sommer *et al*., 1985), e ambiente marinho raso ao Budó, devido a ocorrência de arenitos e siltitos com marcas de ondas e de fósseis de demospongiários e pectinídeos com conchas orientadas.

A origem glacial para alguns depósitos conglomeráticos do Itararé Inferior que já vinha sendo sugerida desde trabalhos de Carvalho (1932) e Leinz (1937), foi fortalecida por Tomazelli & Soliani Jr. (1982) que apresentaram estudo em afloramentos de Cachoeira do Sul e Pinheiro Machado com litologias e feições associadas a processos glaciais, como: pavimentos estriados, seixos e blocos polidos, facetados e estriados e associações de fácies comuns em ambientes glaciais (diamictitos e ritmitos com clastos pingados).

Associados a estes ritmitos ocorrem diamictitos, com matriz fina argilosa ou síltico-argilosa, de cor cinza médio-escuro a preto. Os clastos são angulosos, com tamanhos desde grânulos até seixos e composição polimítica, com predomínio de rochas granitóides em relação às metamórficas (xistos, gnaisses) e vulcânicas. Também ocorrem pelitos cinza-escuros maciços, ou com estruturas milimétricas do tipo *wavy* e *linsen*, de origem marinha.

Grupo Guatá

O Grupo Guatá que representa os sedimentos que abrangem desde o topo do Grupo Itararé até a base da Formação Irati, foi proposto por Gordon Jr. (1947) quando estudava os sedimentos aflorantes na região de Guatá em Santa Catarina. O Grupo é dividido nas formações Rio Bonito e Palermo.

A Formação Rio Bonito apresenta-se no estado com espessura média de 70 m, podendo alcançar 100 m em algumas áreas (Piccoli *et al*., 1986), com importantes afloramentos nas regiões de Cachoeira do Sul, São Sepé, São Gabriel e Bagé, além de furos de sondagens espalhados em toda a depressão periférica do Rio Grande do Sul.

O contato Rio Bonito/Palermo é concordante, havendo uma tendência em delimitar o topo da Formação Rio Bonito no último leito de arenito abaixo dos siltitos cinza-esverdeados da Fm Palermo, embora no artigo de Lavina *et al*. (1985), com uma análise paleoambiental, os autores prefiram considerar como Rio Bonito apenas as fácies continentais e de transição (fluvial, deltaico, lagunar e ilha de barreira), sendo as de origem marinha (barras de marés) colocadas na Formação Palermo. Este ponto de vista é problemático dentro de uma análise litoestratigráfica, já que litoestratigrafia tem caráter puramente descritivo, não sendo possível colocar as areias ora numa formação, ora noutra.

A Formação Rio Bonito é indivisa no estado do Rio Grande do Sul, não sendo possível individualizar os três membros: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis, proposto por Schneider *et al*. (1974) nos estados de Santa Catarina e Paraná. A formação tem sido estudada exaustivamente desde a década de 40 por conter camadas de carvão economicamente importantes, com vinte e dois bilhões de toneladas de reservas estimadas, da qual grande parte com ocorrência no estado, principalmente nas jazidas carboníferas de Candiota, Gravataí-Morungava, Charqueadas-Santa Rita, Chico-Lomã, Santa Terezinha e Leão-Butiá. Estas camadas estão associadas a pelitos cinza-escuros a pretos, carbonosos ou com restos vegetais.

Quanto à idade, Bortoluzzi *et al.* (1980) situaram os sedimentos da Formação Rio Bonito no estado nos andares Artinskiano-Kunguriano, com base em informações palinológicas e paleobotânicas.

A Formação Palermo completa o Grupo Guatá. Descrita primeiramente por White (1908), com seção tipo na localidade de Palermo, município de Lauro Müller

(SC), apresenta-se com siltitos e siltitos arenosos acinzentados, ou de coloração amarelo-esverdeada, como resultado de alteração, característica sempre visível em afloramentos. A freqüente intercalação de arenitos finos, freqüentes estruturas tipo *hummocky cross stratification*, flaser, ondulada (*wavy*) e lenticular (*linsen*) indicam ambiente deposicional de *shoreface* e plataforma marinha para a Formação Palermo.

O contato superior é marcado na passagem dos siltitos cinza-esverdeados para os folhelhos e argilitos pretos da Formação Irati; e quanto à datação, segundo Daemon & Quadros (1970), os dados palinológicos indicam idade Permiana (Kunguriano/Kazaniano) para a Formação Palermo.

Conclusões

O que se verifica nestes trabalhos é uma boa caracterização litológica, sendo discutido pelos autores: tipos de contatos entre as unidades sedimentares, bem como uma denominação formal, respeitando as normas do código estratigráfico para grupo, formação ou membro. Estes autores, além da contribuição dada pela riqueza nas descrições litológicas e fossilíferas, as quais permitiram um conhecimento das idades aproximadas de algumas unidades sedimentares identificadas; encaminharam um conhecimento a respeito de paleoambientes deposicionais, com interpretações que se derivaram da análise das estruturas sedimentares e dos fósseis descobertos.

2.2 - Trabalhos com abordagem através da Estratigrafia de Seqüências

Neste item desenvolve-se, como colocado no início deste capítulo, as idéias principais de alguns trabalhos importantes que apresentam a Estratigrafia de Seqüências como ferramenta de trabalho.

Gama Jr. & Perinotto (1992) a partir da correlação de perfis geofísicos de poços profundos e da análise de fácies, entendem a seqüência Permo-Carbonífera da Bacia do Paraná como correspondente a um ciclo de variação global do nível do mar de segunda ordem de grandeza. Assim, com base no modelo teórico de Vail *et al*. (1987), os autores colocam os sedimentos do Grupo Itararé em um trato de sistemas de mar baixo. Os sistemas deltaicos, costeiros e plataformais que compõem a parte superior do Grupo

Itararé e as formações Rio Bonito e Palermo, constituem o trato de sistemas transgressivo, o qual é acompanhado por uma transgressão responsável pela deposição da parte superior da Formação Palermo e da Formação Irati, que pela abrangência de ocorrência na bacia atesta um afogamento geral, ou seja, estaria demarcada uma superfície de inundação máxima.

Após, segundo os autores, numa paisagem marcada por relativa estabilidade do nível do mar, o golfo Irati é assoreado por sedimentos plataformais, deltaicos e costeiros, compondo um trato de sistemas de mar alto, incluindo, com exceção da Formação Irati, os sedimentos do Grupo Passa Dois. Este trato tem fim com a continentalização da bacia e instalação de um limite de seqüência do tipo 1, encerrando o ciclo deposicional Permo-Carbonífero.

Ribeiro *et al*. (1993) em estudo realizado na Mina de Carvão da Cascatinha, aplicaram os conceitos da Estratigrafia de Seqüências para o intervalo da passagem da Formação Rio Bonito para a Formação Palermo. Os autores realizaram uma análise faciológica do afloramento e descreveram o testemunho de sondagem IR-213-RS, bem como utilizaram-se de perfis geofísicos (raios gama) de poços próximos ao local estudado, chegando as seguintes conclusões: após a deposição dos sedimentos glaciais do Grupo Itararé, a deposição da Formação Rio Bonito iniciou quando a taxa de subida relativa do nível de base estava começando a crescer, tendo associadas a cada pulso de subida, sucessivas camadas de carvão num empilhamento retrogradacional. Na transição Rio Bonito/Palermo, uma sucessão de s*and waves* afogadas representam um conjunto de parasseqüências retrogradacionais. Posteriormente, o sistema costeiro Rio Bonito teria sido afogado através de uma taxa maior de subida relativa do nível de base, momento em que se depositou a Formação Palermo.

Os autores concluem o estudo colocando as formações Rio Bonito e Palermo em uma parte de um trato de sistemas transgressivo, onde a segunda estaria situada próxima ao ponto de inflexão de subida da curva eustática. Esta transgressão atingiria seu apogeu na Formação Irati, onde para os autores a bacia teria atingido a sua máxima expressão areal.

No trabalho de Chaves *et al*. (1994), estudou-se os padrões de ciclicidade observados em perfis geofísicos de furos de sondagem da região de Candiota, utilizando o modelo de ciclos agradacionais pontuados PAC's (*Pontuacted Agradational Cycles*) de Goodwin e Anderson (1985). Os PAC's identificados nos perfis (escala 1:100) correspondem a ciclos com periodicidade de 100.000 anos e 400.000 anos, ambos com relação às variações da excentricidade orbital. Os ciclos menores relacionados a precessão, com periodicidade de 21.000 anos, são observados nos afloramentos e testemunhos, ou em perfis na escala 1:200. Com isso, os autores estimam o tempo de deposição entre a base da Formação Rio Bonito e a superfície de inundação máxima localizada na Formação Palermo, na ordem de quatro milhões de anos, com uma taxa de subsidência de 125 metros no mesmo período de tempo.

Menezes (1994) elaborou um arcabouço cronoestratigráfico, para a região de Candiota, composto de quatro seqüências de segunda ordem (5-50 M.a) e cinco seqüências de terceira ordem (0,5-5 M.a) incluídas na sua Seqüência 2 de segunda ordem (Fig. 9).

As seqüências de segunda ordem, fazendo uma correspondência com as unidades litoestratigráficas, ficam compostas da seguinte maneira: a Seqüência 1 compreende o Grupo Itararé, com limite superior através de uma discordância erosiva separando rochas pelíticas contendo acritarcas, abaixo, de arenitos fluviais da Formação Rio Bonito, acima; a Seqüência 2 apresenta as formações Rio Bonito, Palermo, com uma superfície de inundação máxima localizada no seu terço inferior, e Irati, cujo limite superior está na base de camadas métricas de rochas pelítico-arenosas de cores oxidadas; a Seqüência 3 compreende as formações Serra Alta e Teresina; e, por fim, a Seqüência 4 é composta pela Formação Rio do Rasto. Estas seqüências teriam seus limites relacionados a variações eustáticas do nível do mar.

As seqüências de terceira ordem, como dito acima, estão incluídas na Seqüência 2 e foram designadas por 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5, sendo que a Seqüência 2.1 corresponde à Formação Rio Bonito e equivale à Seqüência Alfa de Alves *et al*. (1996), apresentada a seguir.

Della Fávera *et al*. (1994) em estudo realizado também na região de Candiota, procuraram estabelecer um arcabouço estratigráfico para a área. A partir disto, determinaram uma seqüência de segunda ordem, compreendida em grande parte por

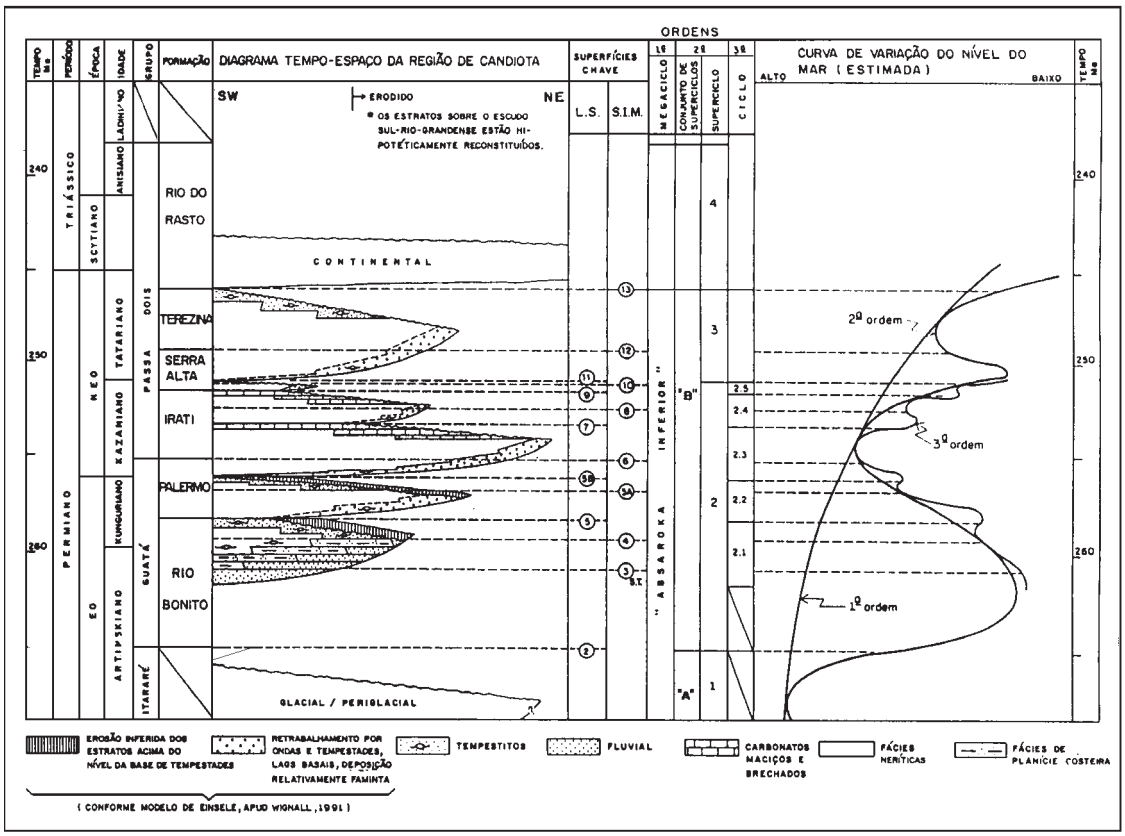


Fig. 9 - Quadro Espaço-Tempo mostrando as seqüências permianas de Candiota (RS) por Menezes (1994). Geocronologia e idades das unidades litoestratigráficas de Milani *et. al*. (1994). Curva de 1ª ordem conforme Vail *et. al*. (1977).

sedimentitos do Grupo Itararé e das formações Rio Bonito e Palermo, culminando com os sedimentitos da Formação Irati. Esta seqüência é formada por um trato de sistemas de mar baixo, correspondente ao Grupo Itararé e parte inferior da Formação Rio Bonito, e por um trato de sistemas transgressivo, composto pelo restante da Formação Rio Bonito e parte inferior da Formação Palermo. O trato de sistemas de mar alto vem logo após uma superfície de inundação máxima localizada dentro da Formação Palermo.

Machado (1994) estudou o paleovale de Candiota situado na borda sudeste da Bacia do Paraná, recobrindo uma área de 1500 Km^2, desde a cidade de Candiota no Rio Grande do Sul até a fronteira com o Uruguai. O preenchimento sedimentar do paleovale abrange desde o substrato até o Carvão Candiota, sendo assim o autor o dividiu em quatro associações de fácies. Uma Associação de Fácies I, basal, correspondente aos tilitos de alojamento, seguida pela Associação de Fácies II constituída por depósitos de fluxos gravitacionais, após uma Associação de Fácies III com sedimentos de origem glácio-lacustre e, por fim, uma Associação de Fácies IV composta por depósitos de um complexo flúvio-deltaico. Com estas associações faciológicas descritas foi possível identificar um padrão clássico de recuo de geleira, ao mesmo tempo em que ocorriam movimentos de blocos falhados do embasamento. A aplicação do modelo da Estratigrafia de Seqüências obteve sucesso para este ambiente glacial em borda de bacia intracratônica, pois foram reconhecidos os elementos conceituais e o padrão de estratos varia conforme a eustasia, relacionada com suprimento sedimentar e tectônica. Sendo assim, identificou-se duas seqüências deposicionais incompletas, uma apresentando um trato de sistemas de mar baixo e um transgressivo e, outra, sucessiva a esta, com um trato de sistemas de mar baixo e um trato de sistemas de mar alto. O trato de sistemas de mar baixo é constituído por tilitos e por depósitos de fluxos gravitacionais. O trato de sistemas transgressivo compreende ritmitos, e o trato de sistemas de mar alto depósitos flúvio-deltaicos.

Lopes (1995) após estudar as formações Rio Bonito e Palermo entre Butiá e São Sepé, analisando afloramentos, testemunhos e perfis de furos de sondagem, identificou cinco superfícies erosivas, caracterizando-as como limites de seqüências do tipo 1. Estas superfícies delimitam quatro seqüências com registro sedimentar incompleto (Fig. 10), e estão relacionadas às movimentações tectônicas que reativaram antigas zonas de fraqueza do Escudo Sul-rio-grandense, causando quedas relativas do nível do mar, fazendo com que houvesse recuos da linha de costa bacia adentro e incisão de vales na área plataformal exposta. Conforme o autor, estes recuos da linha de costa são interpretados como regressões forçadas, de acordo com denominação feita por Posamentier *et al*. (1992). Nas

seqüências individualizadas são identificadas, nas suas palavras, “superfícies de afogamento de maior envergadura do que as que delimitam o topo da maioria das parasseqüências”, e o padrão de empilhamento das parasseqüências é dominantemente retrogradacional, compondo em terceira ordem com exceção de sua seqüência “C”, apenas tratos de sistemas transgressivos, pois não é identificado alteração no padrão de empilhamento das parasseqüências que possibilitasse a delimitação de superfícies de inundação máxima.

A seqüência “C” identificada pelo autor, está constituída por duas seqüências de quarta ordem, caracterizadas por um padrão progradacional e de caráter local no paleovale de Capané e agradacional em Minas do Leão. Esta seqüência é a única que não apresenta as superfícies transgressivas coincidentes com as superfícies erosivas basais.

As quatro seqüências agrupadas fazem parte de um Trato de Sistemas de Mar Baixo e de um Trato de Sistemas Transgressivo na segunda ordem de grandeza, caracterizando um progressivo afogamento e expansão da bacia, podendo ser resultado da subsidência associada ao aumento do volume d’água na bacia, causado pelo degelo após a glaciação do Eocarbonífero/Neopermiano. A superfície de inundação máxima na segunda ordem, conforme sugestão do autor, está posicionada nos folhelhos betuminosos da Formação Irati.

Holz (1995) em estudo realizado na região nordeste do estado, abrangendo cidades como Porto Alegre, Gravataí, Osório e Tramandaí, estabeleceu um arcabouço cronoestratigráfico (Fig. 11) e fez uma tentativa de reconstituição da evolução paleoambiental da área, separando o intervalo Itararé até a base do Irati, em oito associações faciológicas, assim sendo: AF-I com fácies lacustrina (ritmitos síltico-argilosos de origem turbidítica), AF-II com fácies marinha (argilitos maciços ou com laminação wavy e linsen), AF-III com fácies flúvio-deltaica e estuarina (conglomerados, arenitos laminados e carvão), AF-IV com fácies lagunar/paludal (pelitos com laminação wavy-linsen, arenitos finos e carvão), AF-V com fácies de shoreface (arenitos com HCS, linsen, wavy e bioturbações), AF-VI com fácies de supramarés (arenitos brechados, pelitos com *birdseyes* e tempestitos), AF-VII com fácies de offshore marinho (pelitos e arenitos finos com HCS), e AFVIII com fácies marinha restrita (margas e pelitos negros).

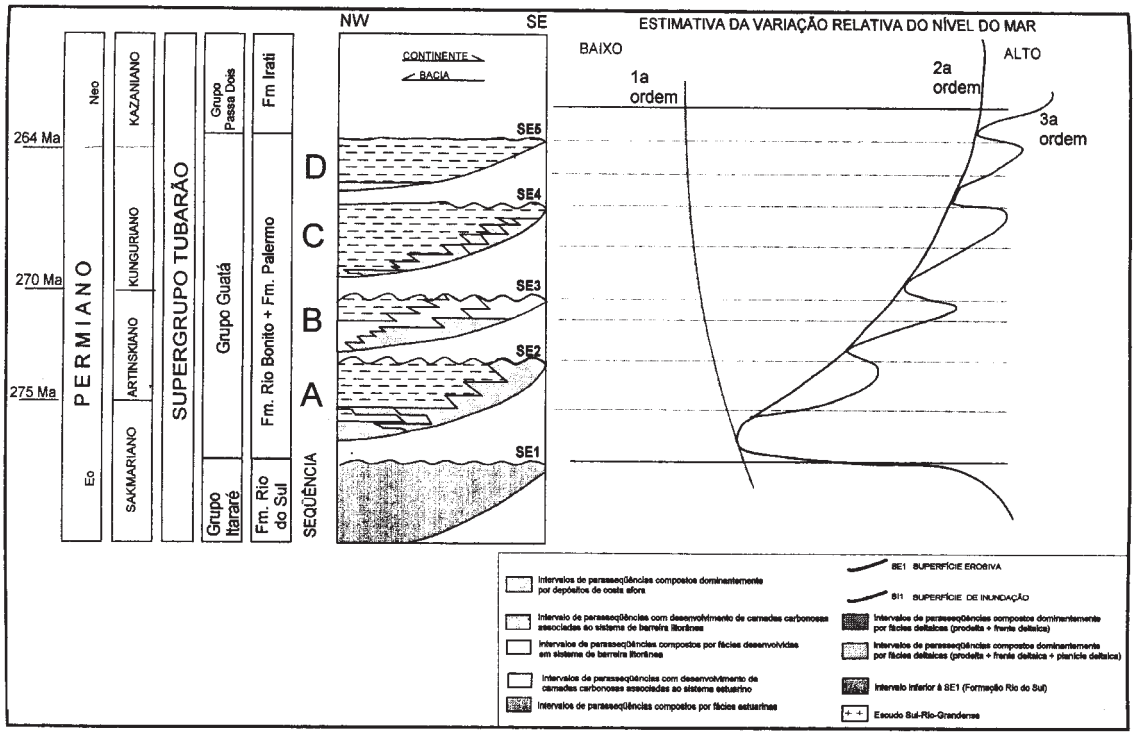


Fig. 10 - Quadro Espaço-Tempo apresentado por Lopes (1995) para o intervalo "Rio Bonito-Palermo" na região entre Butiá e São Sepé. Curva de 1ª ordem para o Permiano segundo Vail *et. al* (1991), geocronologia segundo Marques-Toigo (1988) e escala de tempo geológico segundo Haq & Van Eysinga (1987).

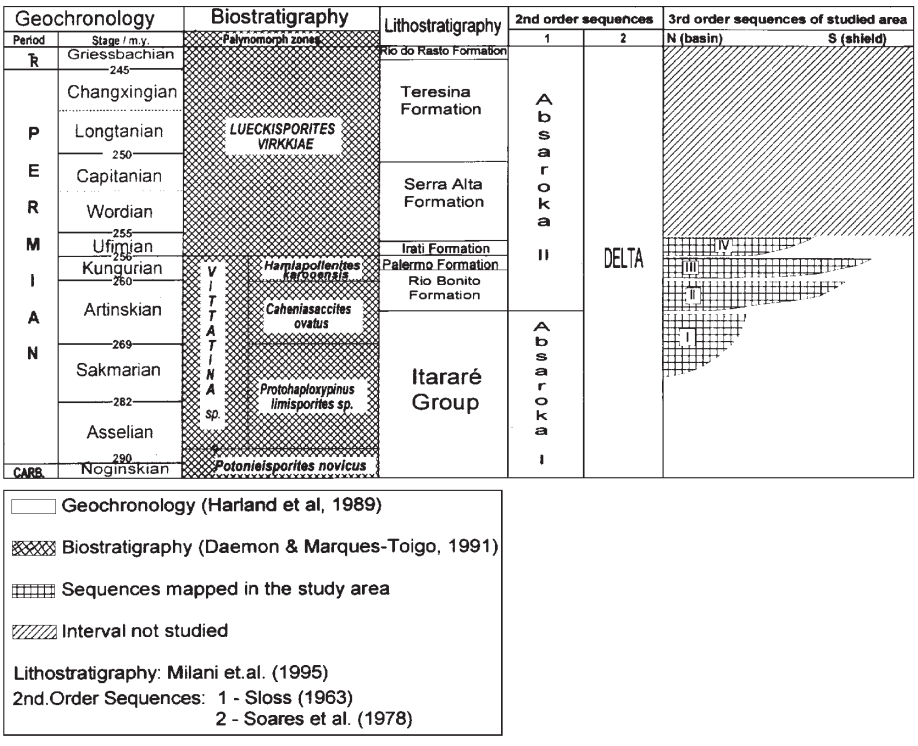


Fig. 11 - Quadro-resumo mostrando geocronologia, bioestratigrafia e Estratigrafia de Seqüências do intervalo estudado por Holz (1995).

Neste trabalho, arranjou-se estas associações faciológicas em tratos de sistemas, construindo um arcabouço cronoestratigráfico com quatro seqüências deposicionais de terceira ordem, limitadas por discordâncias do tipo 1 (entre as seqüências I e II) e do tipo 2 (entre as seqüências II/III e III e IV).

Holz constata um lento mas persistente aumento relativo do nível do mar, pontuado por três quedas relativas indicadas no registro sedimentar pela ocorrência de arenitos fluviais da AF-III, brechas e *birdseyes* da AF-VI e brechas da AF-VIII. O intervalo de tempo estudado vai do Sakmariano ao Wordiano, compreendendo aproximadamente 27 M.a (conforme Harland *et. al*., 1989 *in*: Holz, 1995), que permitiu a subdivisão do pacote em quatro seqüências de terceira ordem.

Alves *et al*. (1996) estudaram o Eo-Permiano (Artinskiano/Kunguriano) na porção sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente na região de Candiota, e numa tentativa de entender a evolução paleoambiental dos sistemas deposicionais, identificaram seis parasseqüências de quarta ordem (0,1-1M.a) designadas em ordem alfabética (A para F), da mais antiga para a mais nova. Estas parasseqüências estão contidas em uma seqüência de terceira ordem denominada Seqüência α, a qual apresenta os tratos de sistemas de mar baixo, transgressivo e de mar alto.

O Trato de Sistemas de Mar Baixo (TSMB) está representado pela Parasseqüência A, a qual tem no seu limite superior uma superfície transgressiva que representa o limite entre este trato e o Trato de Sistemas Transgressivo (TST) seguinte.

O TST é composto por um conjunto de parasseqüências com um padrão retrogradacional, compreendendo as parasseqüências B, C, D e E. A Parasseqüência E apresenta no seu topo uma superfície de inundação máxima, seguida pelo conseqüente Trato de Sistemas de Mar Alto (TSMA) representado pela Parasseqüência F.

Um ponto importante deste trabalho diz respeito ao limite superior da Seqüência α, que representa, para os autores, uma discordância com um considerável hiato separando esta, da seqüência seguinte denominada Seqüência β. Este limite de seqüência é entendido como um limite do tipo 2, por não ter sido observado um abaixamento do nível de base, com um conseqüente deslocamento de fácies para a bacia e nem incisão de vales incisos. Esta discordância, na concepção litoestratigráfica, corresponderia ao limite entre as formações Rio Bonito e Palermo.

A interpretação destes autores é semelhante a feita por Holz (1995), trabalho mostrado acima, que apresenta para o topo de sua seqüência 2 (AF-VI), um limite de seqüência do tipo 2 materializado por uma superfície com evidências de erosão e retrabalhamento (brechas, intraclastos e "*birdseyes*").

Etgeton (1997) ao analisar uma área situada na borda da Bacia do Paraná, propôs um arcabouço cronoestratigráfico para as rochas sedimentares com idades compreendidas entre o Westphaliano (Eo-Carbonífero) e o Ladiniano (Eotriássico), representando as unidades litoestratigráficas do Grupo Itararé, Grupo Guatá (formações Rio Bonito e Palermo) e Grupo Passa Dois (formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto). Este arcabouço cronoestratigráfico é composto por quatro seqüências deposicionais de terceira ordem: SD1, SD2, SD3, e SD4, e duas seqüências de quarta ordem SD2.1 e SD2.2, subdivisões da SD2, composta pelos sedimentos correspondentes às formações Rio Bonito, Palermo e Irati, residindo, neste ponto, um problema de interpretação, já que o intervalo de tempo aproximado de 15 M.a incluído nesta seqüência, estaria bem maior que o previsto para uma seqüência de terceira ordem que é de 0,5 a 3 M.a conforme Vail *et al*. (1991).

Milani (1997) desenvolveu em sua tese de doutorado um estudo abrangente, a nível de bacia, portanto não local, tentando entender a história tectono-sedimentar estabelecida. Resultaram deste estudo, a proposição de seis superseqüências ou unidades estratigráficas em escala regional limitadas por superfícies de discordância que materializam significativas interrupções na sedimentação. Estas superseqüências estão citadas no item 1.2 (Contexto Geológico e Geotectônico) do capítulo anterior.

Para uma análise de subsidência, o autor utilizou quatro áreas do contexto meridional do Gondwana como referência, correspondentes a bacias de antepaís evoluídas em diferentes intervalos temporais. Assim, o mesmo coloca: "repetidas vezes durante a história da bacia, episódios orogênicos deixariam sua marca na forma de ciclos de aceleração da subsidência da Bacia do Paraná".

Outro importante ponto deste trabalho, é a percepção de que o arcabouço estratigráfico com seu registro sedimentar analisado do ponto de vista das oscilações eustáticas associadas com os grandes ciclos de subsidência do Gondwana Sul-ocidental, apresenta um relacionamento íntimo com a geodinâmica do bloco continental sobre o qual desenvolveu-se, não sendo observada uma correspondência nem a nível de segunda ordem, com os máximos eustáticos da Curva de Vail.

Para análise estratigráfica, o autor salienta a presença na Formação Palermo de um horizonte, denominado “marco K”, que possui atributos litológicos, geofísicos, geoquímicos e bioestratigráficos que o caracterizam como uma superfície de máxima inundação dentro do ciclo tectono-sedimentar Carbonífero-Eotriássico da Bacia do Paraná, podendo constituir um *datum* dentro da Superseqüência Gondwana I.

Conclusões

Os trabalhos apresentados acima iniciaram uma discussão a respeito da gênese dos estratos e mecanismos controladores da sedimentação. Assim demonstraram, com seus estudos, uma bacia com o tipo e geometria de seu preenchimento resultado das variações do nível do mar, bem como da influência da tectônica.

De um modo geral, os autores, com pequenas variações no arcabouço cronoestratigráfico que apresentaram, principalmente a nível de terceira ordem, concordam que o intervalo Eo-Permiano da Bacia do Paraná compreende uma seqüência de 2ª ordem formada por um trato de sistemas de mar baixo, correspondente ao Grupo Itararé e parte inferior da Formação Rio Bonito, e por um trato de sistemas transgressivo composto pelo restante da Formação Rio Bonito e parte inferior da Formação Palermo. Esta seqüência terminaria com um trato de sistemas de mar alto seguinte a uma superfície de inundação máxima localizada dentro da Formação Palermo.

Os autores também reconheceram um contínuo afogamento da bacia pontuada por episódios regressivos, responsáveis, por exemplo, pela colocação de um sistema flúvio-deltaico na porção da seqüência equivalente à base da Formação Rio Bonito, o qual inicia-se após um limite de seqüência identificado em quase todos os trabalhos, caracterizado por uma discordância erosiva, resultado de uma queda eustática.

Finalmente, o reconhecimento de parasseqüências, constituintes de camadas de carvão, com um padrão retrogradacional na sua maioria, também foi destacada, concluindo-se um ambiente formador destas camadas caracteristicamente transgressivo.

CAPÍTULO 3

ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES

Entendendo uma litofácies como uma unidade de rocha sedimentar, caracterizada por aspectos texturais, estruturais e composicionais, aspectos estes, considerados como os mais importantes na individualização de cada uma; nota-se que uma litofácies analisada individualmente tem um valor interpretativo muito pequeno. A complexidade de um ambiente sedimentar, ou em outras palavras, de um sistema deposicional, como por exemplo: Sistema Deposicional Costeiro, envolve variações litológicas, condições diferenciadas de processos, dinâmicas de subambientes distintas, entre outros fatores.

Partindo-se desta premissa adotou-se o método de associar as litofácies em associações de fácies, conforme a cogeneticidade existente e a relação espacial e temporal num mesmo contexto sedimentar.

Conforme Reading (1986), “O conhecimento do contexto de uma fácies é essencial antes que se proponha uma interpretação ambiental” e “A associação de fácies proporciona evidências adicionais que tornam mais fácil a interpretação ambiental, do que quando consideramos cada fácies isoladamente”.

Assim, procurou-se agrupar em cada associação, as litofácies que pertencessem a um mesmo sistema deposicional, visando facilitar as interpretações e uma melhor visualização da sucessão sedimentar. Por outro lado, esta metodologia torna possível a recorrência de um mesmo tipo de litofácies em associações de fácies diferentes, como por exemplo os arenitos finos interacamadados com pelitos formados em uma planície de maré e a mesma litofácies, formada em face da praia, colocadas neste trabalho em associações de fácies diferentes. Embora ocorra este problema, pensa-se que é contemplado o objetivo de facilitar a interpretação.

Ciente desta limitação, fruto da recorrência de litofácies em diferentes sistemas deposicionais, apresenta-se neste capítulo as associações de fácies com descrições e interpretações a respeito dos prováveis sistemas deposicionais formadores.

3.1 - Associação de Fácies I

3.1.1 - Descrição

A Associação de Fácies I foi identificada na base do furo IR-153 (Fig. 12) e no afloramento do Cerro Coroado (Figs. 13 e 14), sendo composta por arenitos finos, médios e grossos, cinza claros, de composição quartzo-feldspática e laminação cruzada tangencial, tabular ou acanalada, e por diamictitos matriz-suportados de matriz síltico-argilosa, com clastos de tamanho grânulo a seixo e composição polimítica, predominando clastos graníticos e em menor quantidade, metamórficos e vulcânicos.

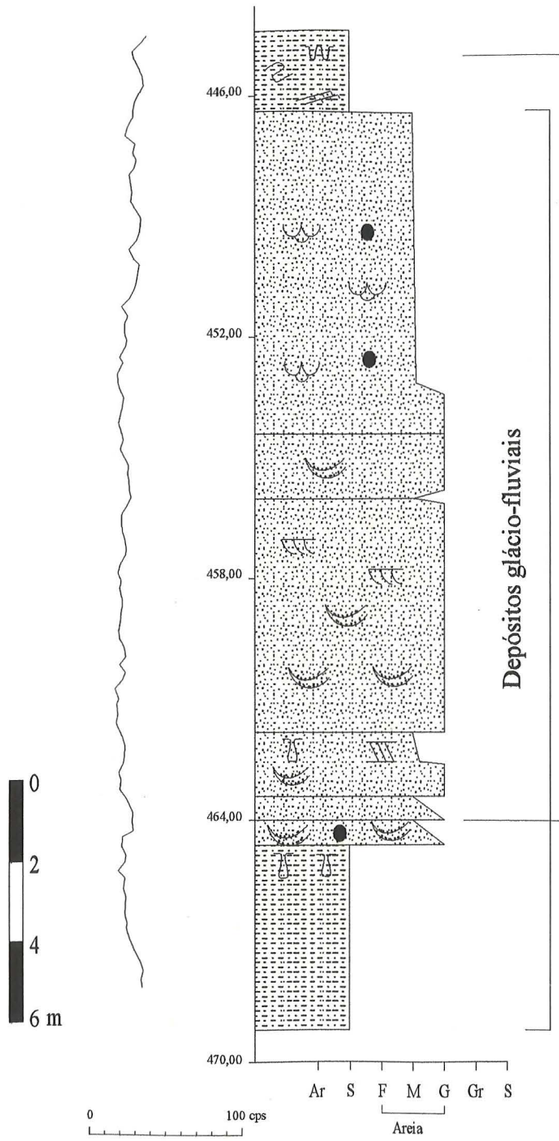
Nos arenitos descritos no furo IR-153 visualizam-se ciclos de granodecrescência ascendente, onde arenitos grossos passam a arenitos médios e finos (Fig. 12a). Estes arenitos médios em algumas porções apresentam laminação convoluta e lâminas de argila preta intercaladas. Próxima à base desta associação os arenitos com laminação cruzada acanalada apresentam níveis de grânulos (Fig. 12b).

No afloramento do Cerro Coroado, mais precisamente nos diamictitos descritos acima, nota-se a existência de pavimentos estriados com sentido N-S (Fig. 13) e de tilito de alojamento (Fig. 14).

3.1.2 - Interpretação

Os arenitos descritos nesta associação apresentam estruturas que os levam para um contexto de formação fluvial. Percebe-se ciclos de granodecrescência ascendente (*finning upward*), além da imaturidade textural verificada. A partir disto, estes depósitos representam depósitos de canais, na forma de barras, depósitos de preenchimento de canal, bem como depósitos residuais representados pelos níveis de grânulos.

O posicionamento paleogeográfico do furo IR-153, local onde foram descritos os arenitos citados acima, dentro de um paleovale e próximo a borda da bacia numa região outrora montanhosa, além da coexistência com depósitos glaciais que predominavam nesta época, ou seja, depósitos originados com o degelo final ocorrido no Permiano, constituem características que exigem uma melhor apreciação dos processos e do ambiente formador destes arenitos.



(a)

(b)

Fig. 12 - Exemplo da Associação de Fácies I no furo IR-153. a) Vista geral das litofácies que compõem a associação, onde visualizam-se ciclos de granodecrescência ascendente, com arenitos grossos passando a médios e finos. b) Detalhe da litofácies de arenitos conglomeráticos com imaturidade textural e laminação cruzada acanalada, e da litofácies de arenitos finos com laminação cruzada cavalgante (*climbing ripples*).

Fig. 13 - Pavimentos estriados com sentido N-S descritos nos tilitos basais do afloramento localizado no Cerro Coroado.

Fig. 14 - Tilito de alojamento mostrando matacão granítico amarrotando o sedimento a sua frente. Localização: afloramento do Cerro do Coroado.

Não se tem dúvida da origem fluvial, interpretação derivada da análise das estruturas e aspectos texturais dos arenitos, porém verifica-se no trabalho de Tomazelli & Soliani Jr. (1997), a existência de arenitos, temporalmente semelhantes, que foram relacionados a depósitos de *outwash* subaéreos em ambientes proglaciais em contato com gelo.

Para Eyles & Eyles (1992), os rios glaciais de *outwash* são tipicamente de canais múltiplos (*braided*). Estes rios de degelo teriam destino em planícies de outwash ou *Sandur deposits*, que se estendem por vários quilômetros (Reineck & Singh, 1975) gradando abaixo para depósitos fluviais "*senso strictu*". Reineck & Singh (*op. cit.*) colocam que ciclos de granodecrescência ascendente *(finning upward sequences*) são raros ou ausentes nestes depósitos, o que constitui um problema se lembrarmos que foram descritos tais ciclos nos arenitos.

Esta discussão seria enriquecida se houvessem mais dados a serem analisados, seja em afloramentos ou em testemunhos. A tentativa de correlacionar com os depósitos areníticos descritos a 4 km ao norte de Coronel Linhares (Rio Grande do Sul) por Tomazelli & Soliani (*op. cit.*) se justifica porque não há na bibliografia outros depósitos areníticos com características semelhantes e espessuras significativas na base do Grupo Itararé, ou mais precisamente, abaixo dos ritmitos várvicos. Porém, diferenças importantes são verificadas, pois os arenitos descritos na base do furo IR-153 apresentam estruturas físicas, como cruzadas tabulares, tangenciais e acanaladas, e espessura de aproximadamente 16 metros, enquanto que os arenitos de *outwash* de Tomazelli & Soliani (*op. cit.*) são maciços e na forma de corpos lenticulares não tão espessos, embora não tenha sido possível a análise da expressão areal das camadas areníticas descritas na área, fato explicado pela descrição ter sido feita em testemunho.

Uma outra possibilidade aventada seria que estes depósitos estariam sendo gerados em um canal fluvial "*senso strictu*" encaixado num paleovale, o qual teria sido escavado segundo uma direção SW-NE que, por ora vale lembrar, poderia ser relacionada às estruturas tectônicas do embasamento, que apresentam preferencialmente esta direção, como lineamentos e falhamentos; ou derivado da erosão glacial, representando um paleofiorde, como já sugerido por Dias (1993), Machado (1994) e Holz (1995). Só que nesta última situação os depósitos areníticos descritos representariam uma situação de sedimentação e deposição proximal, já que fiordes

apresentam na sua parte mais distal características estuarinas, representada por uma interface entre mar e continente glaciado (Syvitski *et. al*., 1987).

Havendo estas duas possibilidades de interpretação, baseia-se na conceituação de Edwards (1986) para simplificar com a posição de que estes depósitos de características fluviais estão constituídos num ambiente pró-glacial em contato com gelo, ou seja, glácio-fluvial.

Os diamictitos descritos no Cerro Coroado com pavimentos estriados, chamam a atenção por apresentarem estas estrias não no embasamento, mas sim nos seus próprios depósitos. Tomazelli & Soliani (1982) neste mesmo afloramento, ao atentarem para este fato, colocam que "durante um evento glacial, o avanço e recuo do gelo é um fenômeno múltiplo (dependente das taxas de ablação e acumulação), possivelmente a geleira deslocou-se sobre seus próprios depósitos (subglaciais ou proglaciais) imprimindo neles tais feições", suposição corroborada por Machado (1994) e neste trabalho.

O fato destes diamictitos serem classificados como tilitos basais, ou mais especificamente como tilitos de alojamento, portanto de sistema deposicional subglacial, resulta da interpretação de que estes depósitos foram transportados e depositados pela ação direta do gelo. Contribuíram para esta interpretação a verificação da presença do matacão granítico da figura 14, que arrastado pelo gelo, amarrotou o sedimento a sua frente, indicando o estado de semi-plasticidade deste, além do sentido de deslocamento da geleira de sul para norte, conforme já salientado por Tomazelli & Soliani (1982). Outra evidência para classificá-los como tilitos de alojamento, é a íntima associação com pavimentos estriados. Boulton & Deynoux (1981) *in*: Machado (*op. cit*.) respaldam esta interpretação, pois conforme os mesmos "um till de alojamento é depositado por baixo de uma geleira ativa, como resultado do retardo de partículas ou fragmentos de rochas e de massas de gelo ricas em detrito, pela fricção contra o substrato da geleira".

Embora neste local estas rochas conglomeráticas sejam caracterizadas como tilitos basais, observa-se ao longo do empilhamento sedimentar camadas de diamictitos derivados de fluxos de detritos vindos das encostas do Paleovale Capané, conforme também verificaram (Lopes *et. al*. 1986; Lavina & Lopes, 1987), os quais além de interdigitarem-se com esta associação de fácies, interdigitam-se com as associações II, III, IV, V e VI.

Conclui-se a interpretação desta associação de fácies dizendo que a colocação dos depósitos areníticos com características fluviais numa mesma associação que os tilitos de alojamento do Cerro Coroado, se explica pelo fato de ambos ocorrerem sotopostos aos ritmitos descritos na associação de fácies seguinte, os quais na opinião do autor desta dissertação representam sedimentação ocorrida após um importante afogamento da área estudada. Também se justifica pela escassez de dados, seja de testemunhos ou de afloramentos, pois sem os mesmos ficou impossibilitado um melhor entendimento da evolução ambiental ocorrida e da paleogeografia.

3.2 - Associação de Fácies II

3.2.1 - Descrição

Esta associação incorpora siltitos de coloração cinza-média, intercalados com ritmitos constituídos por uma alternância de níveis pelíticos de espessuras entre 2 e 8 mm e sílticos variando entre 1,2 e 2 cm. Também ocorrem arenitos conglomeráticos a conglomerados matriz-suportados com clastos de composição polimítica (granitos, gnaisses, vulcânicas, etc.) e tamanhos que variam de grânulo a seixo, imersos em matriz síltica, pode-se notar granocrescência ascendente, fluidização, dobras convolutas e escorregamentos (Figs. 15 e 16).

Os ritmitos tendem a dominar da porção intermediária para o topo desta associação, notando-se que as espessuras dos pelitos/siltitos ou arenitos finos apresentam-se mais semelhantes. Os níveis pelíticos possuem o topo mais abrupto que a base e encontram-se microgradados. Já os siltitos podem apresentar-se maciços, com laminação plano-paralela ou com microlaminação cruzada cavalgante (*climbing ripples*). É também nesta porção mais superior que aparecem clastos pingados do tamanho grânulo a seixo e de composição variada (granitos, quartzo) (Fig. 17). Subordinadamente, ocorrem conglomerados grão-suportados de composição polimítica, com clastos de tamanho grânulo a seixo, que no furo CA-72, apresenta-se com espessura máxima de 20 cm (Fig. 18) e níveis centimétricos de folhelhos escuros.

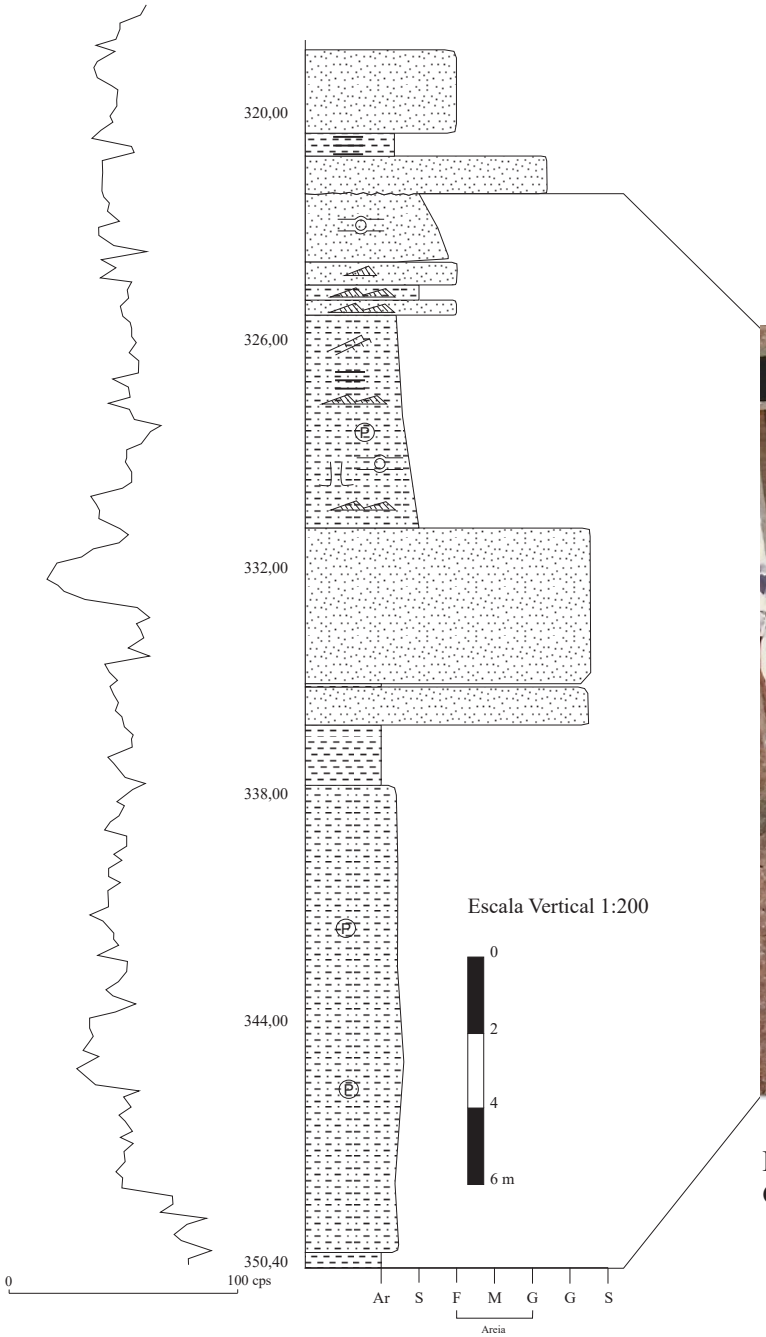


Fig.15 - Ritmitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados da Associação de Fácies II no furo CA-72 (profs. 350,40 a 322,00).

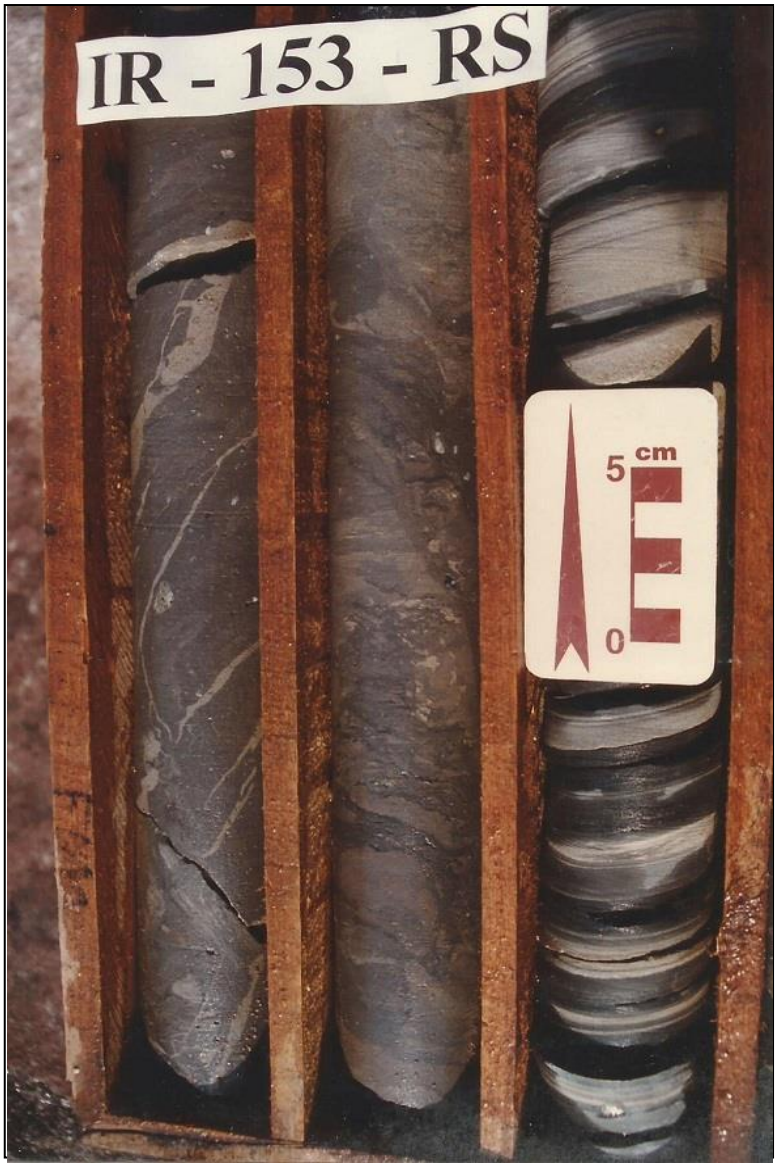


Fig. 16 - Estrutura física secundária do tipo fluidização, descrita no furo IR-153 nos depósitos da Associação de Fácies II.

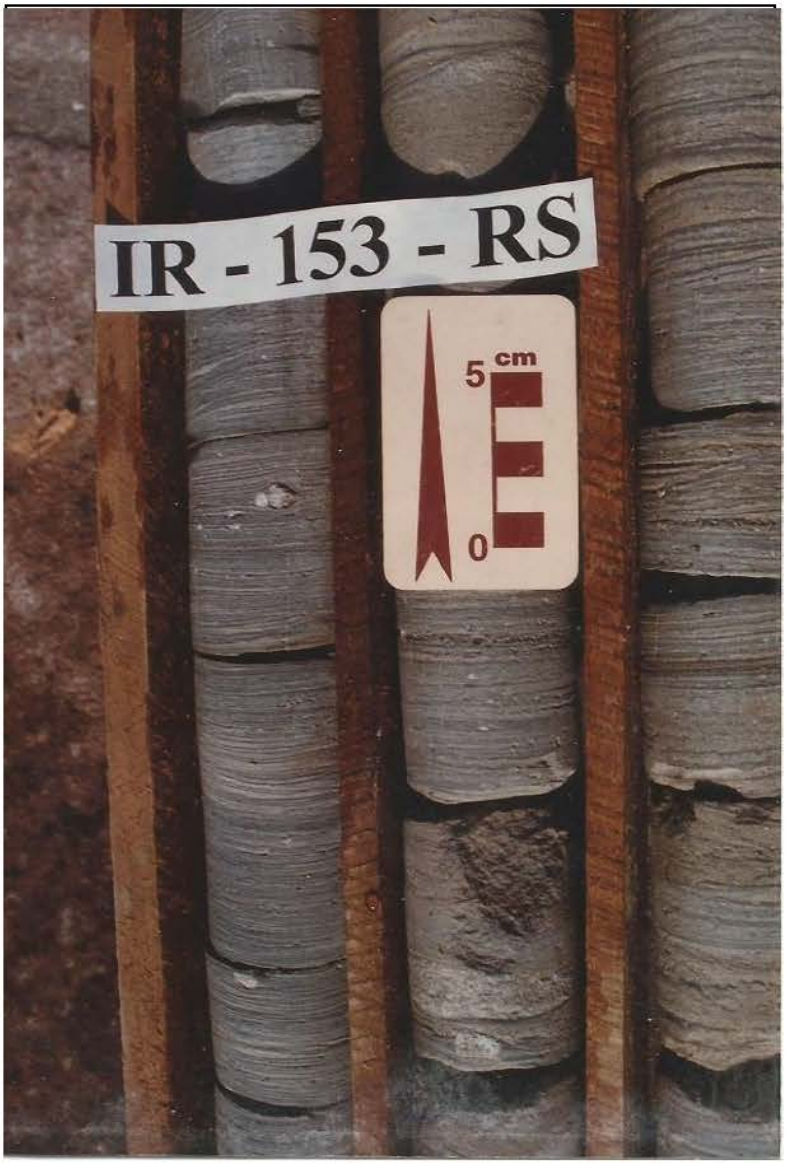


Fig. 17 - Exemplo de clastos pingados nos ritmitos da Associação de Fácies II. Descrição no furo IR-153.

Fig. 18 - Detalhe do nível de conglomerado grão-suportado, pertencente à Associação de Fácies II, com clastos de composição polimítica. Descrição no furo CA-72.

3.2.2 - Interpretação

Os depósitos desta associação são entendidos como resultado de um processo de degelo que passou a predominar na bacia. Como uma das primeiras manifestações geológicas do degelo é a produção generalizada de depósitos de fluxos gravitacionais, não poderiam deixar de estarem presentes diamictitos e turbiditos. Estes diamictitos são depósitos proximais que, assim como os arenitos da AFI, encontram-se depositados na paleodepressão denominada Paleovale Capané.

Da mesma maneira como interpreta Holz (1995) e Machado (1994), pensa-se que os diamictitos são diferentes daqueles descritos na associação anterior, os quais foram denominados como tilitos basais em depósitos subglaciais. Neste trabalho, estes diamictitos foram descritos somente em testemunhos, mesmo assim também sugere-se uma origem através de fluxos gravitacionais do tipo *slump* ou fluxos de detritos (*debris-flow*), os quais formam rochas texturalmente semelhante aos tilitos, porém devido à relação genética existente com ritmitos, configuram outro tipo de depósitos. Esta relação entre diamictitos e ritmitos vislumbrada por Holz (*op. cit.*), embora sugerida também neste trabalho, não foi visualizada pela falta de dados.

A discussão em torno da denominação ritmitos ou varvitos, não será aqui desenvolvida, pois esta questão já foi bem discutida nos trabalhos de Machado (*op. cit.*) e Holz (*op. cit.*). Porém, aspectos texturais e estruturas reconhecidas fortalecem a escolha por tal denominação. Confirma-se, por exemplo, nos ritmitos ora descritos, o que diz Eyles & Eyles (1992): “ritmitos apresentam lâminas gradadas de silte e argila com divisões C, D, e E da Seqüência de Bouma para turbiditos.

Uma constatação importante feita por Holz (*op. cit.*), diz respeito ao controle sedimentar efetuado pelo clima. Para o mesmo, variações climáticas induziriam ciclicamente correntes de turbidez. Entendendo melhor o cenário geológico em que se formaram tais depósitos, vindo de áreas altas, fluxos gravitacionais conseqüentes à ação de correntes de águas de degelo, tomaram a direção de áreas deprimidas, depositando-se na forma de diamictitos nas proximidades destes altos. Os sedimentos mais finos, juntamente com estas águas de degelo, seguiram para porções mais distais, formando depósitos deltaicos e ritmitos ao encontrar corpos aquosos costeiros, ou mesmo o mar, se considerarmos um contexto paleogeográfico de fiorde. Nesta porção, embora

sem contato com gelo (*non-ice contact lake*), houve influência das geleiras verificada pela presença de clastos pingados por *ice-bergs* nos ritmitos e o grande desenvolvimento desta fácies rítmica.

Assim, pode-se concluir que nesta associação, verifica-se a presença de um ambiente pró-glacial glácio-marinho, conforme conceituação de Edwards (1986), que se formou a partir de uma retração das geleiras.

3.3 - Associação de Fácies III

3.3.1 - Descrição

Esta associação apresenta, na sua porção basal, arenitos de composição quartzosa, com grãos subarredondados, médios a grossos de coloração acinzentada clara a média. Importante aspecto destes arenitos é a granocrescência ascendente e o alto grau de bioturbação, apresentando-se, por isso, com as estruturas bastante obliteradas.

Seguindo, nota-se uma predominância quase total, exceto dos arenitos descritos acima, de pelitos e siltitos cinza-escuros, geralmente sem estruturas ou com plano-paralelas incipientes (Fig. 19a). Em alguns níveis, descreve-se a estrutura do tipo *wavy-linsen* em pelitos.

Outras litofácies, com menor representatividade, são arenitos finos com granodecrescência ascendente gradando para pelitos, arenitos maciços de composição quartzosa, arenitos médios com níveis carbonosos e lâminas brilhantes de carvão, calcáreos em níveis de até 4 cm com estrutura do tipo "*cone-in-cone*" (Fig. 19b), e por fim, no topo da associação arenitos com microlaminação cruzada ondulada, *drapes*, *flasers* de argila preta, nódulos de sulfetos e grande quantidade de muscovita.

3.3.2 - Interpretação

Com a afirmação de Frakes (1979) *in*: Lavina & Lopes (1987), de que "a Terra, a partir do Carbonífero Inferior passou por uma fase de diminuição da temperatura média global, que culminou com a grande glaciação do limite Permo-Carbonífero e, após, já no

(a)

(b)

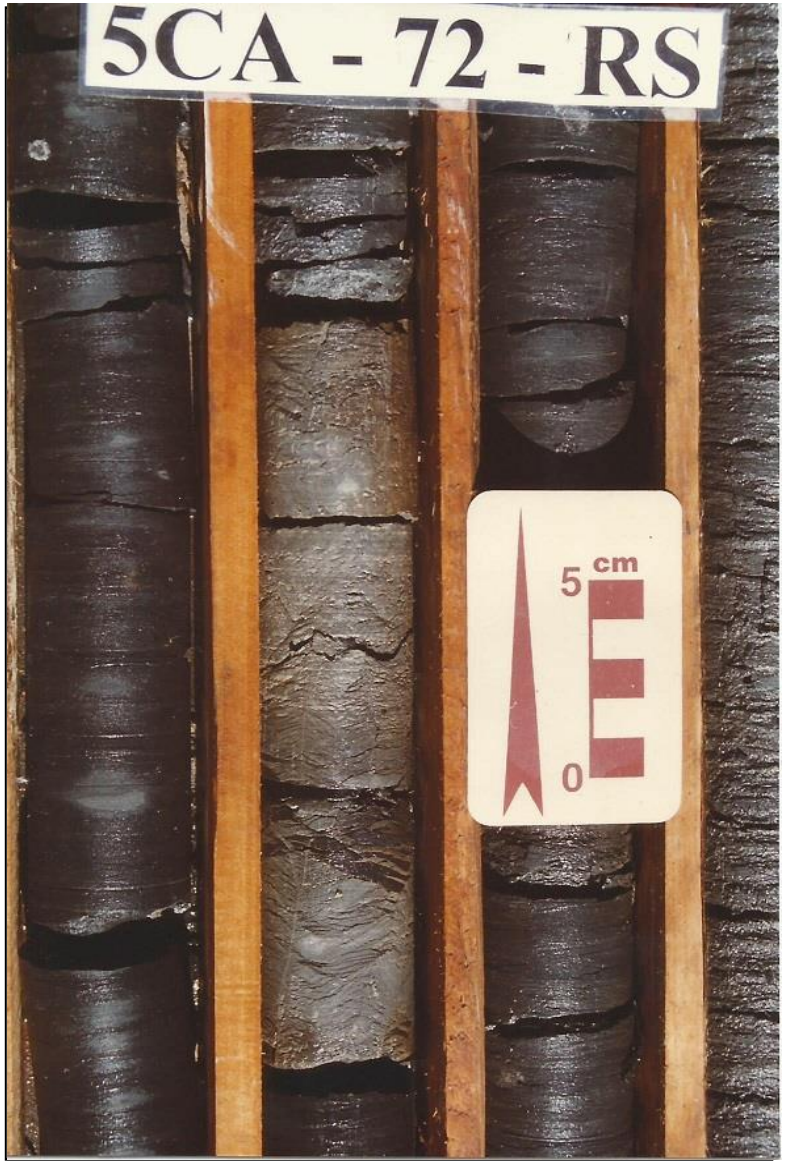


Fig. 19 - Exemplo da Associação de Fácies III no furo CA-72. a) Pelitos e siltitos cinza-escuros, geralmente sem estruturas reconhecíveis ou com laminação plano-paralela incipiente. b) Detalhe do nível de calcáreo com estrutura *cone-in-cone*.

início do Permiano Superior, voltou a aquecer-se muito rapidamente, atingindo temperaturas médias globais bastante mais elevadas ao final do Permiano", tem-se a explicação do porquê da grande predominância das litofácies de pelitos e siltitos cinza-escuros de origem marinha. Estes depósitos, originaram-se a partir do avanço do mar sobre áreas continentais, ou seja, com a elevação do *onlap* costeiro, que não foi impulsionada somente em resposta ao aquecimento global verificado, mas a nível mais específico, em resposta do afastamento do continente Gondwana da região polar, e de variações nas taxas de subsidência na bacia iniciadas após a retração das geleiras, fato sugerido também por Soares *et al*. (1974).

A origem marinha destes depósitos também está calcada nos fósseis descritos em áreas correlatas, como: algas marinhas do tipo *tasmanites* e *acritarca* por Dias (1993), e também no conteúdo palinológico verificado por Holz (1995) na sua área de tese.

A presença de camadas de arenitos próximo à base desta associação retrata ainda um suprimento sedimentar através de deltas que eram formados a partir das águas de degelo das geleiras que provavelmente restavam nos pontos mais altos do relevo. Já, no topo da associação, a presença de arenitos com microlaminação cruzada ondulada, *drapes*, *flasers* de argila preta, nódulos de sulfetos e grande quantidade de mica muscovita representam a influência de marés, fato que, segundo Syvitski *et. al.* (1987), reforça uma denominação de fiorde para o local onde verificou-se os depósitos desta associação, pois características estuarinas estão verificadas, havendo influência de um mar provavelmente raso, pelas estruturas físicas de tração descritas.

3.4 - Associação de Fácies IV

3.4.1 - Descrição

Esta associação de fácies, como visualizado na figura 20, apresenta na porção basal de sua sucessão vertical de fácies, arenitos com granulometria média a grossa, laminação cruzada de pequeno a médio porte e composição quartzo-feldspática. Intercalados, ocorrem arenitos conglomeráticos e ortoconglomerados com base erosiva, imaturidade textural e laminação cruzada acanalada, compondo ciclos de granodecrescência ascendente e gradação normal nas lâminas. Composicionalmente e granulometricamente, os clastos dividem-se em seixos de rochas graníticas e metamórficas, e grânulos de quartzos e feldspatos.

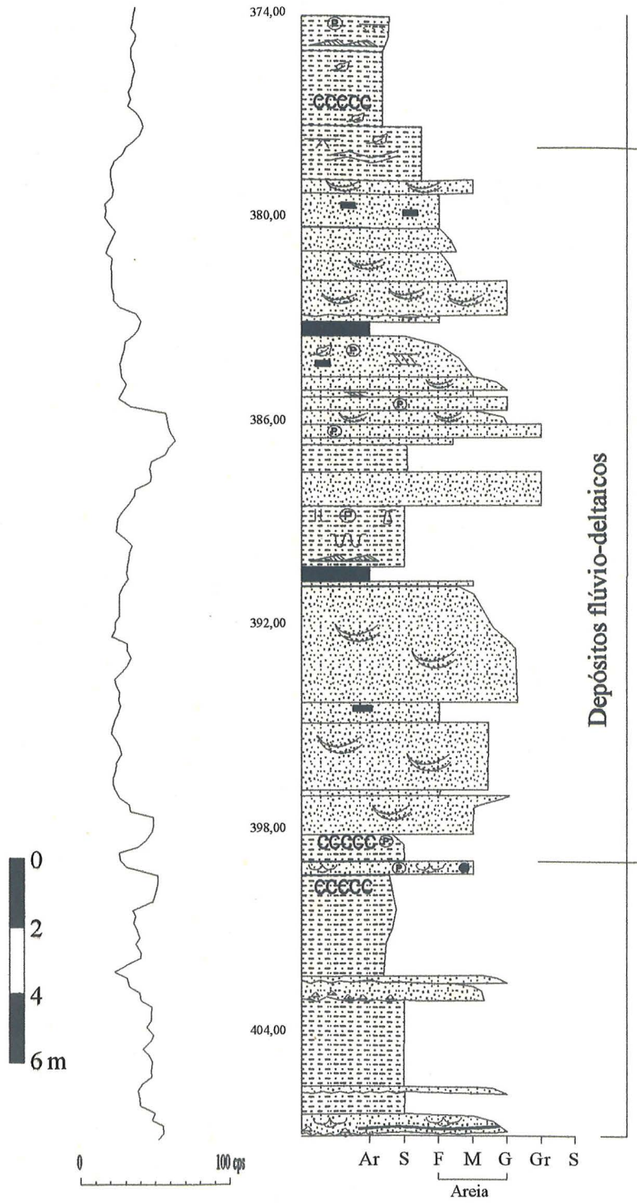


Fig. 20 - Exemplo da Associação de Fácies IV no furo IR-153 (profs. 399,80 a 378,10). (a) Vista geral das litofácies que compõem a associação. (b) Detalhe da litofácies de arenitos conglomeráticos e ortoconglomerados com base erosiva, imaturidade textural e laminação cruzada acanalada.

Os arenitos médios e grossos podem, também, apresentar-se com grãos subarredondados, composição quartzosa e coloração cinza-clara, que apresentam por vezes, contato erosivo basal, bolas de argila e nódulos de sulfetos.

Na porção intermediária ocorrem arenitos finos cinza-médios, micáceos, apresentando no IR-153 marcas de *syneresis*. Associados, ocorrem siltitos a arenitos finos cinza-escuros, carbonosos ou com matéria orgânica vegetal (pequenos caules e raízes) e paleosolos, com laminação subparalela a levemente ondulada. A presença de carvão se dá com espessuras delgadas, atingindo 20 cm no máximo, como visualizado no furo IR-153.

Verificam-se também pelitos com laminação *wavy-linsen*, que apresentam um aspecto bem característico com respeito à coloração. Intercalam-se cores escuras dos pelitos, com cinza-claro dos siltitos a arenitos finos, que constituem, por sua vez, laminação *wavy* e lenticular (Fig. 21).

Esta associação culmina no topo com siltitos e pelitos com *wavy-linsen*, cinza-esverdeados ou escuros, às vezes não sendo possível a identificação de estruturas, e siltitos bioturbados com microlaminação cruzada ondulada, *flasers* e *drapes* de argila preta. Nota-se ciclos com granodecrescência ascendente, onde siltitos gradam para camadas centimétricas de lamito. Intercalados, podem ocorrer folhelhos pretos com laminação paralela e arenitos médios com *drapes*, *flasers* e grânulos de siltitos, feldspatos, pelitos carbonosos, esparsos ou formando níveis conglomeráticos.

3.4.2 - Interpretação

Esta associação de fácies mostra-se ainda muito condicionada pela paleodepressão situada a oeste da área, mais precisamente com orientação SW-NE, e é neste local onde se verificam as maiores espessuras para os litótipos que compõem esta associação, conforme verifica-se na figura 22.

Examinando as características litológicas, texturais das rochas sedimentares examinadas em testemunhos, interpretou-se um ambiente deposicional com uma certa proximidade da área fonte e verificou-se uma interação de processos característicos de um ambiente fluvial, assim como de processos marinhos. Partindo-se disto o tipo de sistema deposicional que se faz presente, principalmente para as litofácies basais a intermediárias desta associação, seria o sistema deposicional flúvio-deltaico, com canais

Fig. 21 - Foto mostrando modo de ocorrência da Litofácies de pelitos com *wavy-linsen* da Associação de Fácies IV. Localização: furo IB-137 (prof. 484,00 a 476,60).

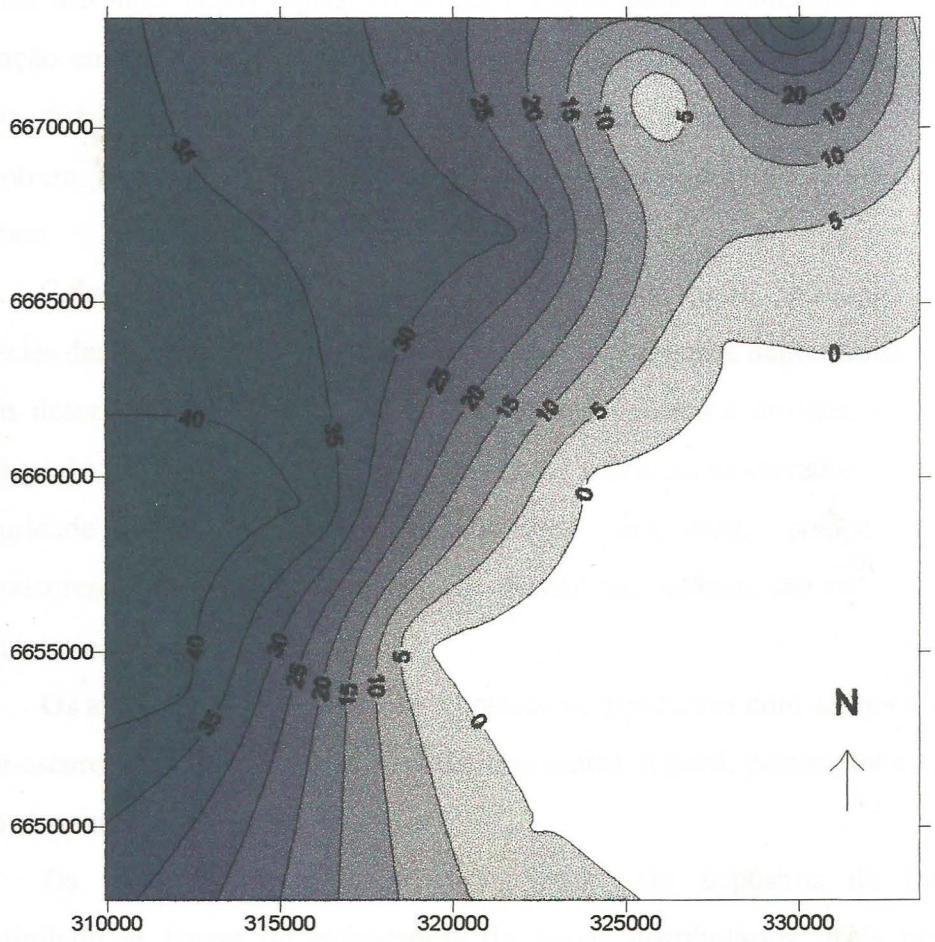


Fig. 22 - Mapa de isópacas mostrando as espessuras, em metros, da Associação de Fácies IV. Nota-se que estes depósitos, orientados SW-NE, encontram-se ainda condicionados pela paleodepressão existente na porção oeste da área.

distributários, onde estão presentes os processos de migração lateral de barras (cf. Allen, 1983), que imprimem nos depósitos ciclos de granodecrescência ascendente, e os processos de migração de dunas subaquosas que formam estratificações cruzadas acanaladas em fluxos unidirecionais confinados em canais.

É notável também a correspondência de outras litofácies identificadas, com litologias que comumente na bibliografia são relacionadas à subambientes de um sistema deposicional flúvio-deltaico. Antes de relacionar estes subambientes, é válido relembrar que, como dito em Elliot (1986), os deltas são acumulações costeiras, subaquosas ou subaéreas, de sedimentos derivados de rios, incluindo os depósitos retrabalhados por agentes marinhos como ondas, correntes e marés, sendo resultantes e moldados pela interação entre rios e mares. Sendo assim, baías interdistributários e a embocadura de canais distributários, estão dentro deste contexto e são sítios deposicionais que encontram nos sedimentos analisados características que são correspondentes aos mesmos.

Colocadas estas verificações primárias, cabe neste momento relacionar as litofácies desta associação com os seus respectivos ambientes deposicionais. As litofácies basais descritas acima, representadas por arenitos médios a grossos, arcosianos ou de composição quartzosa, arenitos conglomeráticos e ortoconglomerados com base erosiva, imaturidade textural e laminação cruzada acanalada, compondo ciclos de granodecrescência ascendente e gradação normal nas lâminas, são relacionadas a canais distributários.

Os arenitos finos, cinza-médios, micáceos, associados com siltitos a arenitos finos cinza-escuros, carbonosos ou com matéria orgânica vegetal, paleosolos e carvão, foram formados em baías interdistributários.

Os pelitos com laminação *wavy-linsen*, são depósitos de frente deltaica constituindo as barras de embocadura de canais distributários, mais precisamente a litofácies identificada pertencia ao talude das barras.

Na porção superior desta associação, uma maior presença de estruturas ligadas a ação de marés, que combinadas com laminação levemente ondulada e freqüente presença de manchas amareladas em pelitos e arenitos, indicam uma progressiva influência marinha nestes depósitos. Assim, os siltitos e pelitos com *wavy-linsen*, cinza-esverdeados ou escuros, com difícil identificação de estruturas, além de siltitos bioturbados com microlaminação cruzada ondulada, *flasers* e *drapes* de argila preta, representam uma inundação marinha progressiva, que transformou o sistema deposicional flúvio-deltaico em um sistema estuarino.

3.5 - Associação de Fácies V

3.5.1 Descrição

As principais litofácies que compõem esta associação são pelitos carbonosos, pelitos esverdeados, siltitos cinza escuros, arenitos finos maciços, conglomerados de grânulos de quartzo e carvão e camadas de carvão de 0,10 a 2,30 metros.

Os pelitos carbonosos exibem-se com coloração cinza escura a preta, com concreções piritosas e enxofre, freqüentemente apresentando níveis de carvão fosco intercalados. A presença mais significativa de restos vegetais, como fragmentos de caules, folhas e raízes, dá-se nos pelitos esverdeados, mas podem ocorrer também nos pelitos, siltitos cinza-escuros e nos arenitos finos maciços de coloração cinza-média.

As camadas de carvão, mais espessas que as da Associação de Fácies IV, em geral, apresentam-se com lâminas brilhantes e concreções piritosas ou com aspecto fosco.

Menos freqüente são as presenças de centimétricos níveis de arenito grosso com fragmentos carbonosos, ou até mesmo de conglomerados de grânulos de quartzo e carvão.

3.5.2 - Interpretação

Os pelitos e carvões desta associação são interpretados como sendo de origem lagunar. O principal argumento neste sentido, diz respeito ao contexto paleogeográfico que se vislumbra nesta porção da seqüência sedimentar, pois as litofácies agora analisadas, ocorrem sobrepostas ao sistema deposicional flúvio-deltaico e estuarino da associação de fácies anterior e antecede um sistema de cordões litorâneos ou ilhas de barreiras.

A partir disto corrobora-se a interpretação de Holz (1995), afastando a cogeneticidade entre os pelitos e as espessas camadas de carvão desta associação, com as camadas carbonosas finas e descontínuas da AF-IV.

A existência de corpos lagunares em baías costeiras com influência restrita de marés e com longos períodos sem influxo sedimentar, além de condições anóxicas de uma lâmina de água rasa, certamente foram responsáveis pela formação e acumulação de matéria orgânica a partir de turfeiras que se desenvolviam nestas zonas pantanosas. A

existência de várias camadas de carvão, além do posicionamento quase que sempre no topo de parasseqüências, como será visto no capítulo 5, mostra que havia um forte controle da eustasia, pois freqüentes inundações marinhas acabavam por afogar as turfeiras, depositando no topo das mesmas camadas de pelitos cinza-escuros.

Além disto, a presença de enxofre, concreções piritosas, e os eventuais níveis de arenito grosso com fragmentos carbonosos, ou conglomerados de grânulos de quartzo e carvão interpretados como leques de *washover*, formados a partir do rompimento das barreiras pela ação de ondas de grande magnitude derivadas de tempestades, mostram que a influência marinha, mesmo que por razões locais, ou por variações relativas do nível do mar numa ordem de grandeza muito pequena; foi importante nos depósitos lagunares analisados.

3.6 - Associação de Fácies VI

3.6.1 - Descrição

Esta associação de fácies caracteriza-se por litologia arenosa, com granulometria fina e coloração quase sempre cinza-clara. Uma descrição mais detalhada revela outras feições e estruturas físicas importantes que permitem caracterizar melhor as litofácies que compõem esta associação.

Muito comum nos furos analisados, são os arenitos finos cinza-claros, micáceos, com micrograda ção normal nas lâminas e laminação cruzada *hummocky* (*Hummocky Cross Stratification*) de Harms et. *al*. (1975) (Fig. 23). Nestes arenitos, mais especificamente no furo CA-72, identificou-se valvas desarticuladas de Lingulídeos conforme Holz *et*. *al*. (1998) (Fig. 24). Esta litofácies juntamente com os arenitos finos a médios, bem selecionados, cinza-claros a brancos, constituem as litofácies mais diagnósticas desta associação. Estes arenitos finos podem apresentar-se maciços ou com laminação cruzada de baixo ângulo, marcada algumas vezes por minerais opacos dispostos segundo a mesma, podendo ainda apresentar raras concreções piritosas e níveis conglomeráticos com intraclastos oxidados (Fig. 25). Relacionados geneticamente com esta litofácies, são os arenitos médios a grossos cinza-claros com laminação cruzada incipiente e com níveis conglomeráticos de até 30,0 cm compostos por seixos discóides

de quartzo em matriz arenosa média, visualizados no furo IR-03 (Fig. 26); e os conglomerados matriz-suportados em camadas centimétricas, que apresentam grânulos de quartzo e carvão e seixos de quartzitos e intraclastos pelíticos carbonosos.

Ocorrem, também, siltitos e arenitos finos cinza-claros a médios ou esverdeados, ora com laminação ondulada, ora com microlaminação cruzada ondulada ou cavalgante (*climbing ripples*); e, que seguidamente podem conter *drapes*, *flasers* de pelito escuro e marcas de syneresis (Fig. 27a e b).

Subordinadamente, ocorrem camadas centimétricas de arenito grosso com grãos bem arredondados, quartzosos e com laminação cruzada acanalada de pequeno porte.

3.6.2 - Interpretação

Para interpretar esta associação deve-se levar em conta o regime físico atuante no ambiente onde se depositaram os sedimentos agora analisados. Segundo Elliott (1986), a ação de ondas normais ou tempestades, correntes induzidas por ondas e marés são controladores importantes neste tipo de ambiente.

Observa-se através das correlações, que muitas vezes as litofácies desta associação ocorrem interdigitadas com as litofácies lagunares da associação precedente.

Fig. 23 - Arenitos finos cinza-claros, micáceos, com micrograda ção normal nas lâminas e laminação cruzada *hummocky* (HCS). Notar no canto superior esquerdo da foto um nível de intraclastos e no centro abaixo um contato erosivo entre dois ciclos tempestíticos.

(a)

(b)

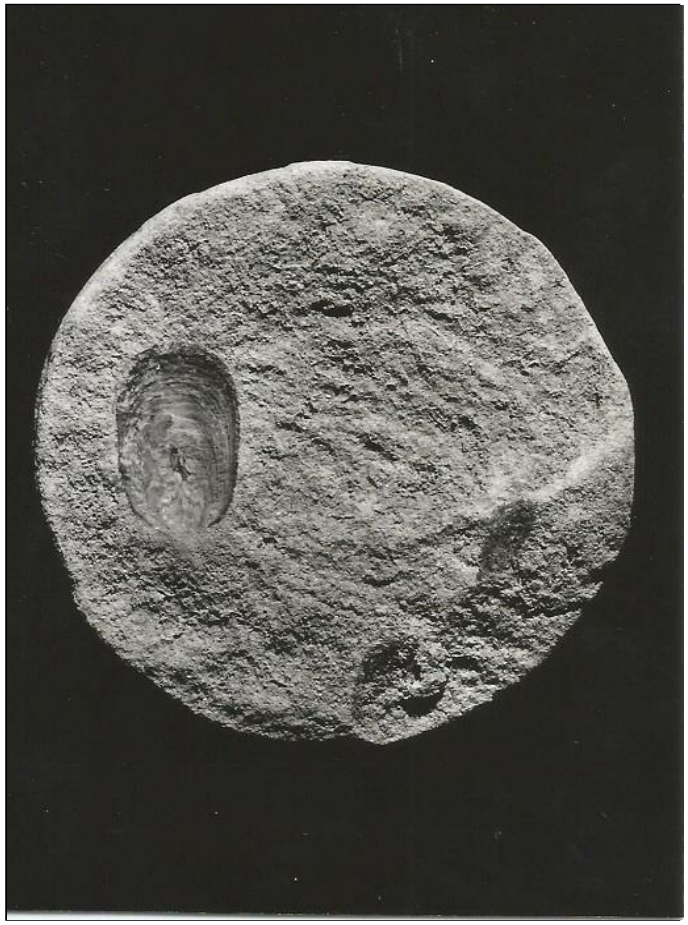
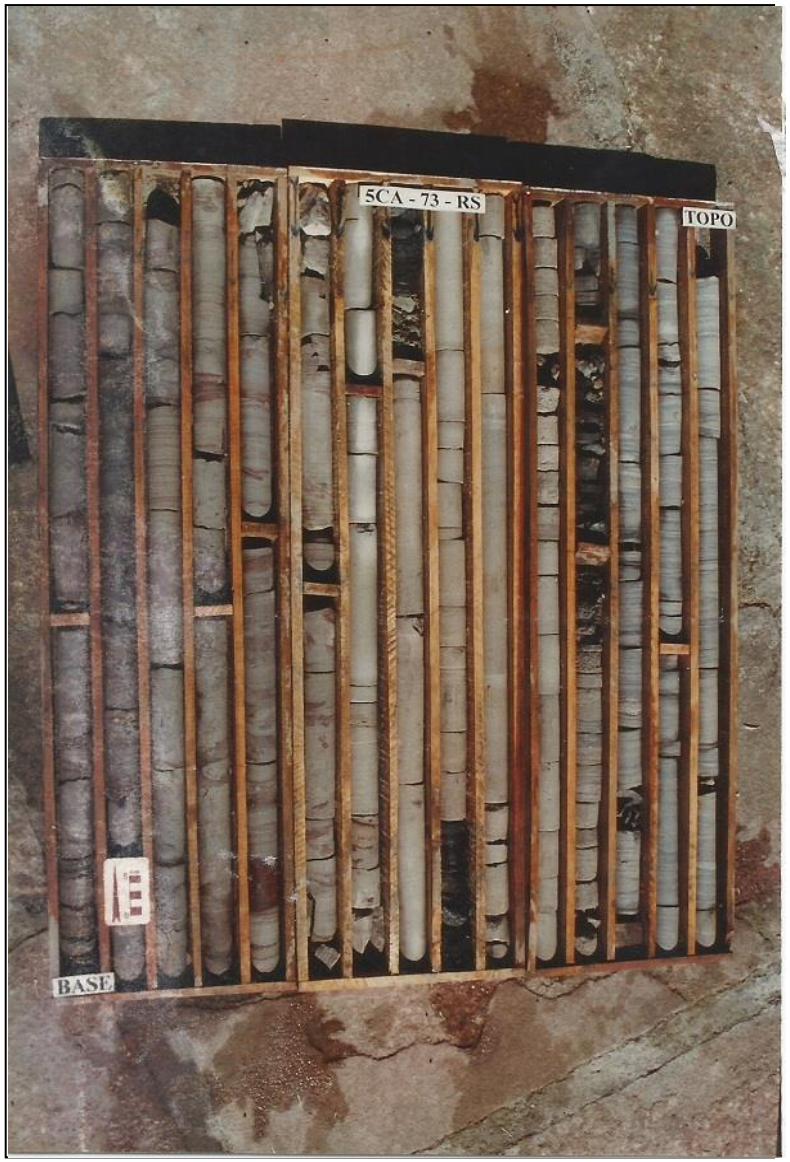


Fig. 24 - Valvas desarticuladas de lingulídeos. a) Visualização do modo de ocorrência no furo de sondagem CA-72 (prof. 181,00). b) Detalhe de uma valva não fragmentada, com contorno oval e alongado, e com linhas de crescimento concêntricas.

(a)



(b)

Fig. 25 - Litofácies de arenitos finos a médios, bem selecionados, cinza-claros a brancos da Associação de Fácies VI. a) Verifica-se no furo CA-73 uma sucessão de fácies comum nesta associação, com arenitos bem selecionados intercalados a camadas carbonosas (profs. 362,36 a 346,55). b) Detalhe de um nível conglomerático com intraclastos oxidados (cx. 53).

(a)

(b)

Fig. 26 - Exemplo da Associação de Fácies VI no furo IR-03 (profs. 80,00 a 73,00). a) Assim como exemplificado na figura anterior, visualiza-se a litofácies de arenitos finos a médios, bem selecionados, cinza-claros a brancos; camada carbonosa; e, no canto superior direito, contato com a associação de fácies seguinte. b) Detalhe de um nível de seixos de quartzo discóides.

(a)

(b)

Fig. 27 - Exemplo dos arenitos com *flasers* e *drapes* pelíticos da Associação de Fácies VI no furo IR-03 (profs. 89,75 a 86,00). Nota-se eventual nível com laminação cruzada cavalgante (*climbing ripples*). a) Verifica-se no canto superior desta foto, uma porção de pelíticos pretos com *wavy* e *linsen* milimétricos. (b) Detalhe das marcas de *syneresis* em *drapes* pelíticos.

Este fato leva a interpretar para os arenitos descritos uma formação em ambiente de praia em ilhas de barreiras ou cordões litorâneos e não em praias anexas ao continente.

Considerando-se esta interpretação, volta-se ao que foi mencionado acima sobre regime físico. Possivelmente como mostra a figura 28 de Hayes (1975, 1979) apud Reading (1986), com relação aos tipos de litorais no que diz respeito à amplitudes de marés, tinha-se as ondas como agente principal e um ambiente de micromarés, ou seja, com amplitude menor que 2 metros, já que para a formação de praias e ilhas de barreira é imprescindível a existência destes condicionantes.

As litofácies descritas reforçam a importância das ondas e correntes, as quais imprimem nas fácies arenosas e pelíticas, estruturas físicas produzidas por processos trativos e de suspensão, unidirecionais ou oscilatórios. A eficácia destes agentes é tanta que dificilmente se preservam as fácies superiores (face de praia superior e praia), problema que é ainda aumentado se considerarmos as variações do nível do mar.

Estando colocadas algumas particularidades importantes do ambiente onde se depositaram as litofácies agrupadas nesta associação, cabe neste momento apresentar de que forma se distribuem os subambientes de um ambiente de praia, para depois relacioná-los com suas respectivas litofácies descritas.

Considerando isto, o perfil físico do ambiente de praia se divide nos seguintes subambientes: dunas Costeiras, pós-praia (*backshore*), antepraia (*foreshore*) e face da praia superior e inferior (*upper shoreface e lower shoreface*), estando o limite com o ambiente de plataforma caracterizado por uma zona de transição (*offshore transition*) (Fig. 29).

Os arenitos finos a médios, bem selecionados, cinza-claros a brancos, maciços ou com laminação cruzada de baixo ângulo, são representativos de antepraia. Estes arenitos com laminação cruzada de baixo ângulo, também denominada *Swash Cross Stratification* por Harms *et. al., in*: McCubbin (1982), são formados em praias pela ação das ondas e pela energia dissipadas das mesmas, tendo um mergulho suave em direção ao mar. Pelas razões acima expostas, trata-se de uma litofácies de difícil preservação.

Os arenitos médios a grossos, cinza-claros, com laminação cruzada incipiente e com níveis conglomeráticos de até 30 cm de seixos discóides de quartzo, já haviam sido descritos na Mina do Iruí por Lavina *et. al*. (1985) e interpretados como deposição em zona de face da praia superior ou antepraia. No presente trabalho, estes níveis

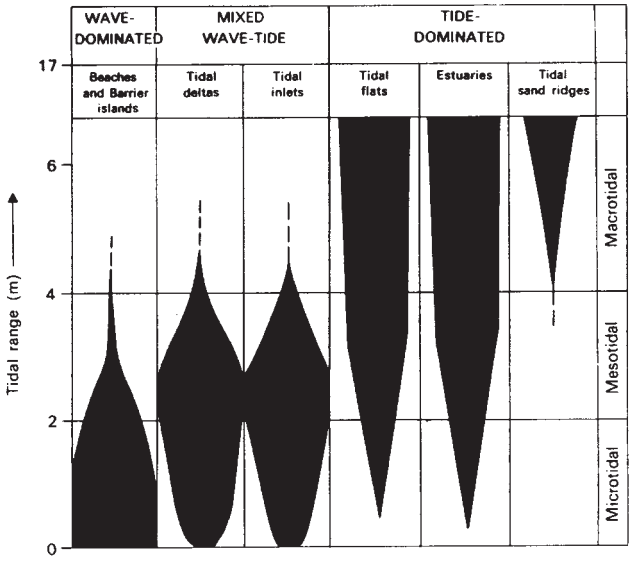


Fig. 28 - Distribuição dos tipos de linhas de praia com respeito à variação da amplitude de marés, subdivididas nos grupos: dominados por ondas (*wave-dominated*), dominados por ondas e marés (*mixed wave-tide*), e dominados por marés (*tide-dominated*); conforme Hayes (1975, 1979) *apud* Reading (1986).

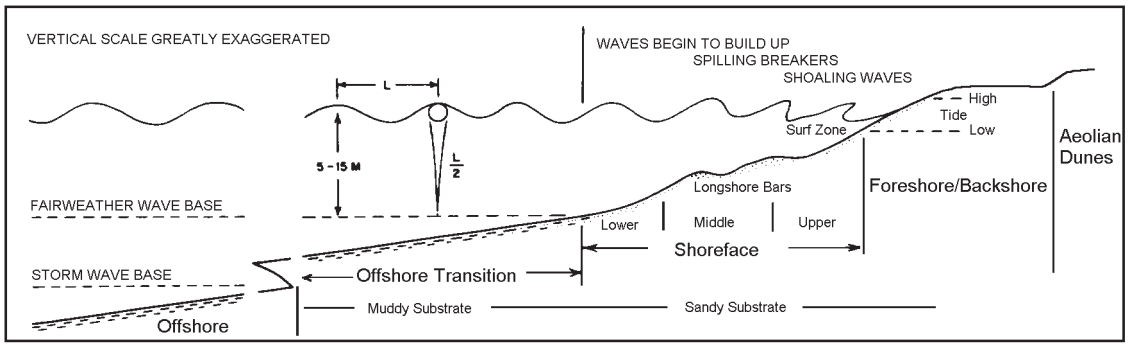


Fig. 29 - Perfil físico do ambiente de praia com os respectivos subambientes: dunas costeiras (*aeolian dunes*), pós-praia (*backshore*), antepraia (*foreshore*), face da praia (*shoreface*) e costa-afora (*offshore*); conforme Walker & Plint (1992).

conglomeráticos são interpretados da mesma maneira, tendo sido identificados também no furo IR-03, como já colocado acima. Depositados, também em face de praia superior, foram os arenitos grossos com laminação cruzada acanalada de pequeno porte citados acima.

O subambiente de antepraia inferior (*lower shoreface*) é representado pelos arenitos finos, cinza-claros, micáceos, com microgradação normal nas lâminas e HCS. Muitas vezes, esta litofácies está associada com siltitos e arenitos finos cinza-claros ou esverdeados, com laminação ondulada, microlaminação cruzada ondulada, *climbing* e freqüente intercalação de *drapes* e *flasers*. Os arenitos com HCS podem representar ciclos de tempestitos, pois ocorrem níveis de intraclastos e feições erosivas, que podem representar a porção basal dos mesmos. Já os siltitos e arenitos finos, que muitas vezes se mostram muito bioturbados, conforme será visto no capítulo seguinte, estariam relacionados a períodos de calmaria (*fairweather*).

Conforme Holz *et. al*. (1998) as conchas desarticuladas de lingulídeos preservadas no registro geológico, considerando-se a extrema fragilidade de suas conchas, provavelmente tiveram um soterramento rápido. O fato de serem animais escavadores rasos, suspensívoros e por estarem com as conchas desarticuladas, implica na exumação, reorientação, curto transporte lateral e breve exposição na interface água-sedimento, antes do soterramento final. A associação com os arenitos com HCS indica que correntes induzidas pelas tempestades foram as responsáveis pelo transporte e deposição destas conchas.

3.7 - Associação de Fácies VII

3.7.1 - Descrição

O empilhamento vertical das litofácies desta associação apresenta-se bem desenvolvido no furo CA-73 (Fig. 30). A recorrência destas litofácies nos outros furos descritos e nos afloramentos, possibilitou destacar: a litofácies caracterizada por um interacamadamento arenito/pelito, a litofácies de arenitos finos cinza-claros a

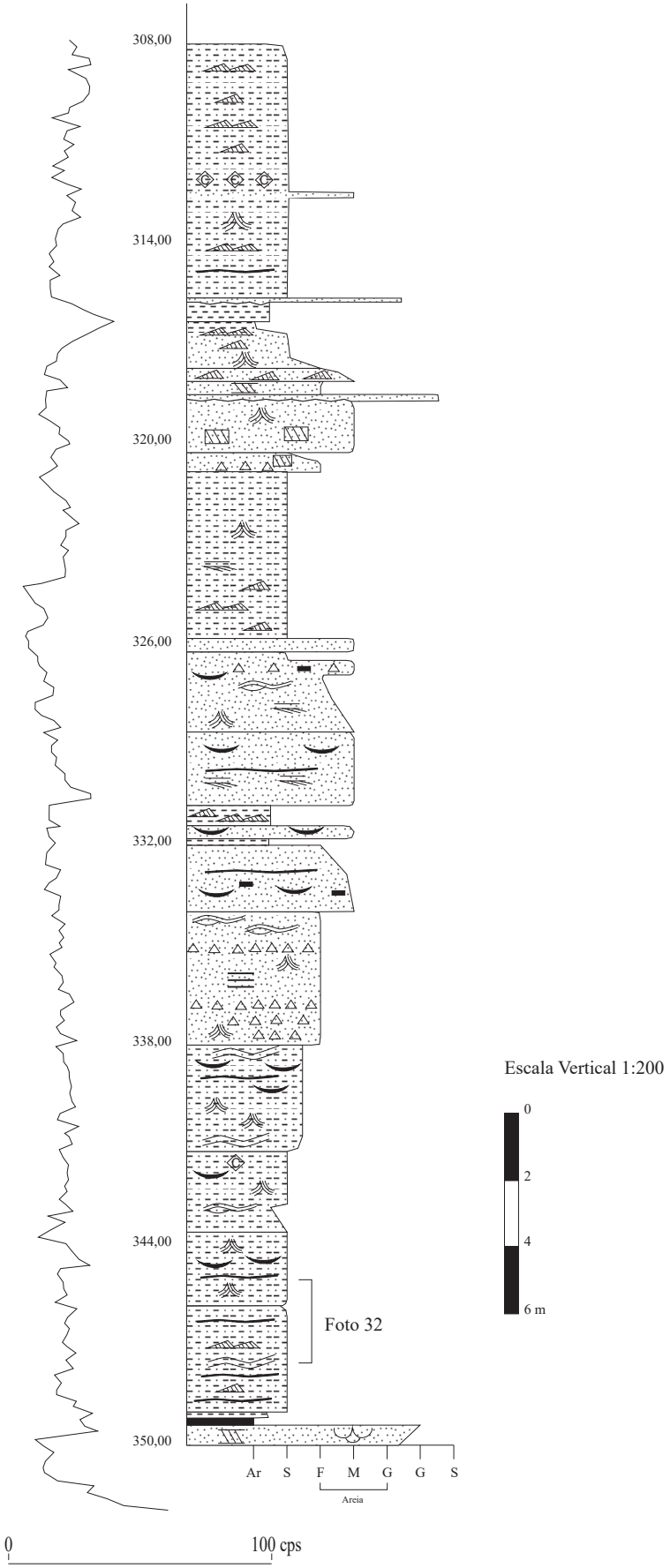


Fig. 30 - Empilhamento vertical das litofácies, com as respectivas estruturas sedimentares, e padrão da curva de raio-gama para a Associação de Fácies VII, descrita no furo de sondagem CA-73.

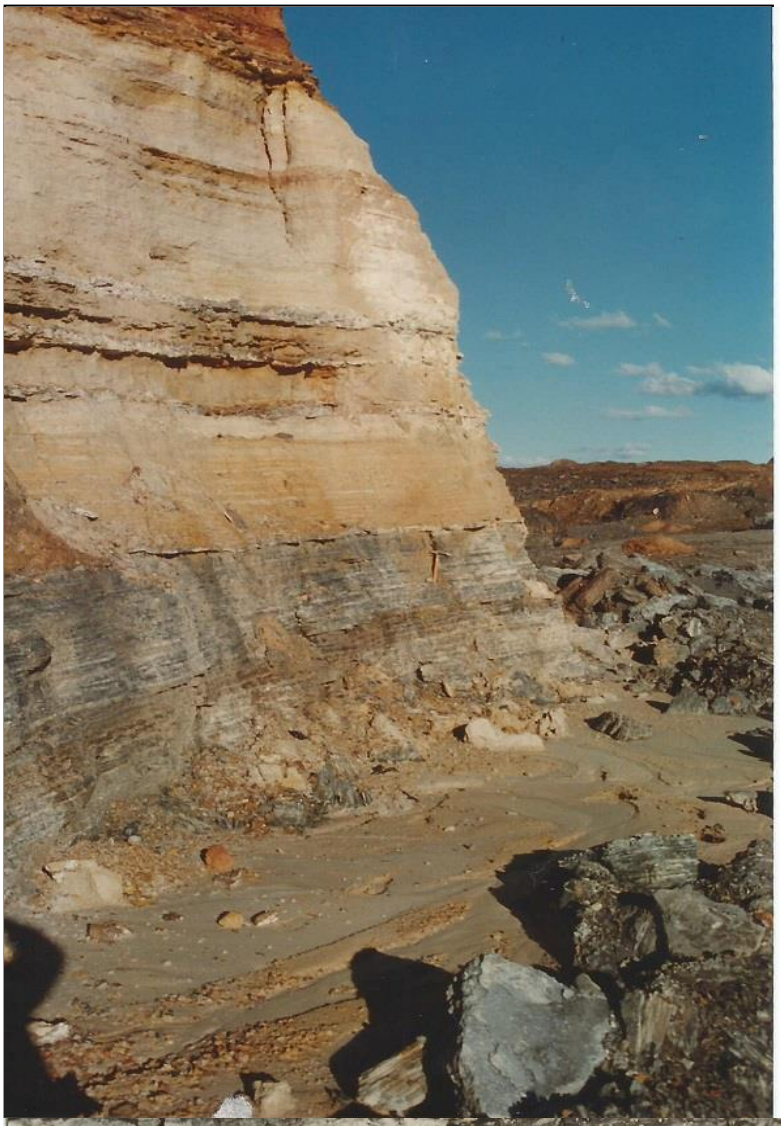
avermelhados, litofácies de arenitos médios a grossos de coloração alaranjada, e a litofácies de arenitos médios a grossos quartzosos.

A litofácies caracterizada pelo interacamadamento arenitos finos a médios cinza-claros com pelitos pretos, apresenta os níveis areníticos com microlaminação cruzada ondulada com marcas de ondas (*ripples*) bidirecionais e laminação cruzada cavalgante (*climbing ripples*), em camadas centimétricas, com 2, 3, 5 ou até 8,0 cm de espessura (Figs. 31a e b e 32).

Em algumas porções nota-se a predominância de arenito sobre pelitos, em camadas centimétricas de arenitos finos cinza-claros. Estes arenitos apresentam laminação com micrograda ção normal, laminação plano-paralela incipiente na base, microlaminação cruzada ondulada com pequeno comprimento de onda, e na parte mediana, domínio de laminação ondulada. Para porções mais de topo, o domínio é da laminação ondulada e laminação cruzada acanalada de pequeno porte. É característico destes arenitos a presença de *flasers* dispersos na matriz e *drapes* pelíticos, podendo também serem descritas eventuais níveis com laminação cruzada cavalgante (*climbing ripples*). Os níveis ou *drapes* pelíticos, que geralmente apresentam espessuras milimétricas a centimétricas, quando mais espessos (com aproximadamente 2,0 cm), podem apresentar laminação *wavy* e *linsen* milimétricas. Outra constatação é o caráter erosivo de cada nível arenítico nos *drapes* pelitos, podendo apresentar, raramente, marcas de carga e marcas de *syneresis*.

A litofácies de arenitos médios a grossos de coloração alaranjada foi descrita na base do afloramento da Barrocada (Fig. 33a). Trata-se de camadas centimétricas de arenitos separadas por finas lâminas pelíticas. Internamente, os *foresets* estão separados por *drapes* de argila (*mud drapes*) (Fig. 33b). Num corte perpendicular ao paredão visualizado nesta figura, nota-se que estas camadas apresentam laminação cruzada acanalada de médio a pequeno porte. O sentido dominante de migração destas dunas é de 025, verificando-se que eventualmente camadas menos espessas migravam com sentidos opostos.

Neste mesmo afloramento, acima dos arenitos de coloração alaranjada descritos acima, descreveu-se uma camada de 3,5 metros de arenitos médios com laminação cruzada acanalada de médio porte na base, cuja paleocorrente é para NE. No restante desta camada, descreve-se laminação cruzada de baixo ângulo (Fig. 33c).

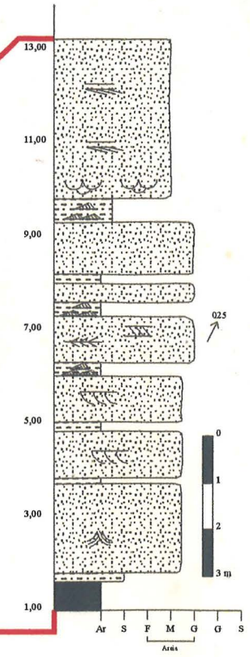


(b)

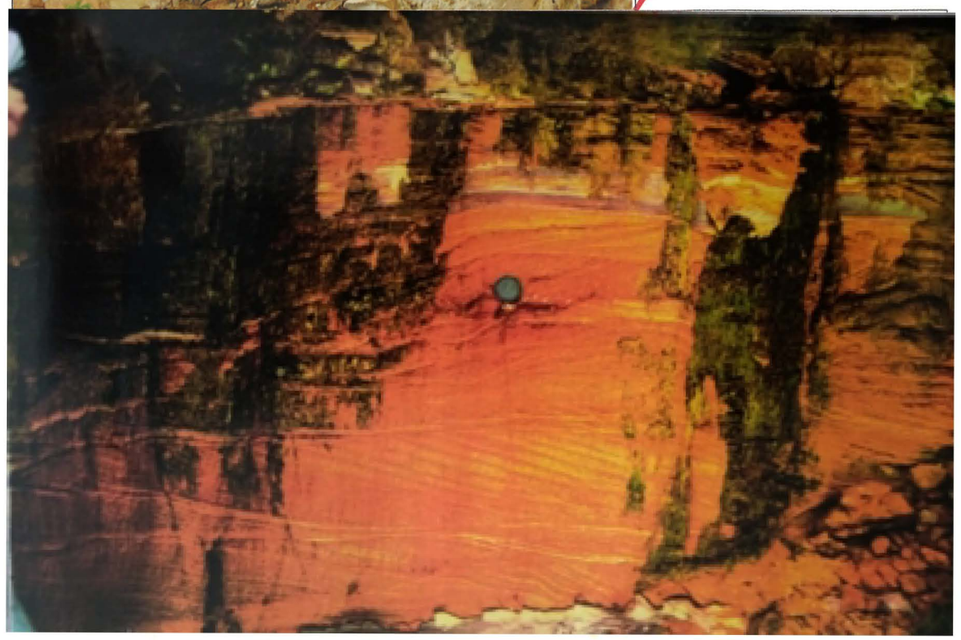
Fig. 31 - (a) Exemplo no afloramento da Mina Palermo da litofácies pertencente à Associação de Fácies VII, caracterizada pelo interacamadamento entre arenitos finos a médios, cinza-claros, com pelitos pretos.
(b) Detalhe da litofácies descrita acima.

Fig. 32 - Foto mostrando modo de ocorrência da litofácies pertencente à Associação de Fácies VII, caracterizada pelo interacamadamento arenitos finos a médios, cinza-claros, com pelitos pretos. Localização: furo CA-73 (prof. 347,55 a 345,00).

(a)



(b)



(c)

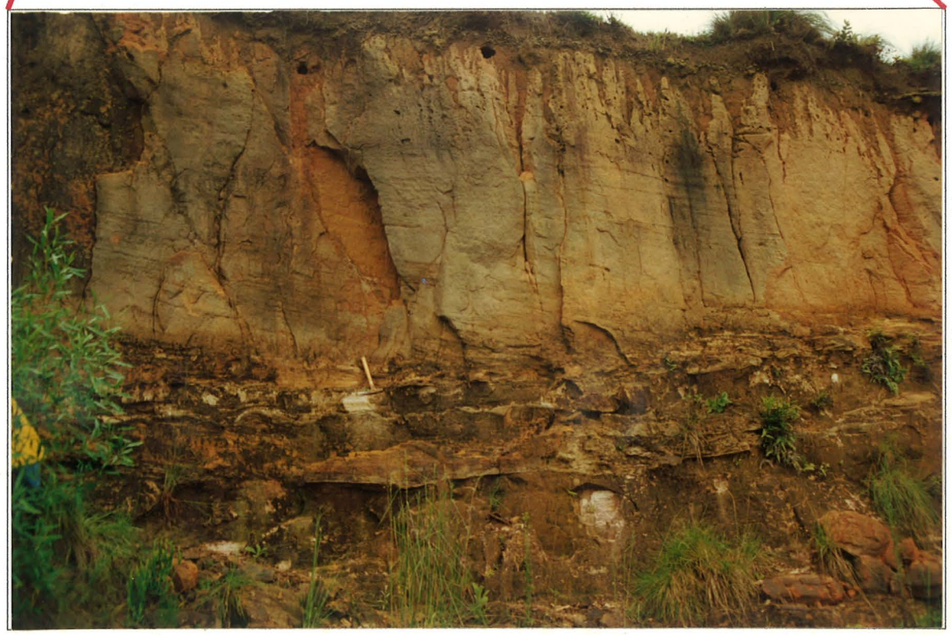


Fig. 33 - Litofácies da Associação de Fácies VII descritas no afloramento da Barrocada. (a) Paredão com arenitos médios a grossos de coloração alaranjada e laminação cruzada tangencial e acanalada de médio a pequeno porte. (b) Detalhe dos *drapes* de argila (*mud drapes*) entre os *foresets* das camadas. (c) Detalhe da camada de arenito médio com laminação cruzada acanalada de médio porte na base e, no restante, com laminação cruzada de baixo ângulo, descrita no topo do afloramento.

A última litofácies é a dos arenitos médios a grossos cinza-acastanhados, quartzosos, com grãos subarredondados a arredondados de até 3,0 mm na base para aproximadamente 1,0 mm no topo de cada ciclo que apresenta de 1 a 2,0 cm de espessura, além de laminação cruzada tabular a tangencial na base e intercalação de níveis de arenitos finos, siltitos, *drapes* de pelitos escuros e de pelitos com laminação ondulada e *wavys* entre os *foresets* (Fig. 34a). Podem ocorrer, ainda, intraclastos argilosos e de carvão. No topo destas camadas (com espessuras de 0,40 a 1,5 metros) nota-se freqüentemente uma superfície ferruginosa que pode se apresentar bioturbada e com marcas de ondas, conforme visualiza-se na figura 34b. Outro aspecto também observado nestas camadas, principalmente no afloramento da Mina da Cascatinha, foi o afinamento lateral gradual, acabando por formar *wavys* e *linsens* nos pelitos circundantes (Fig. 34c).

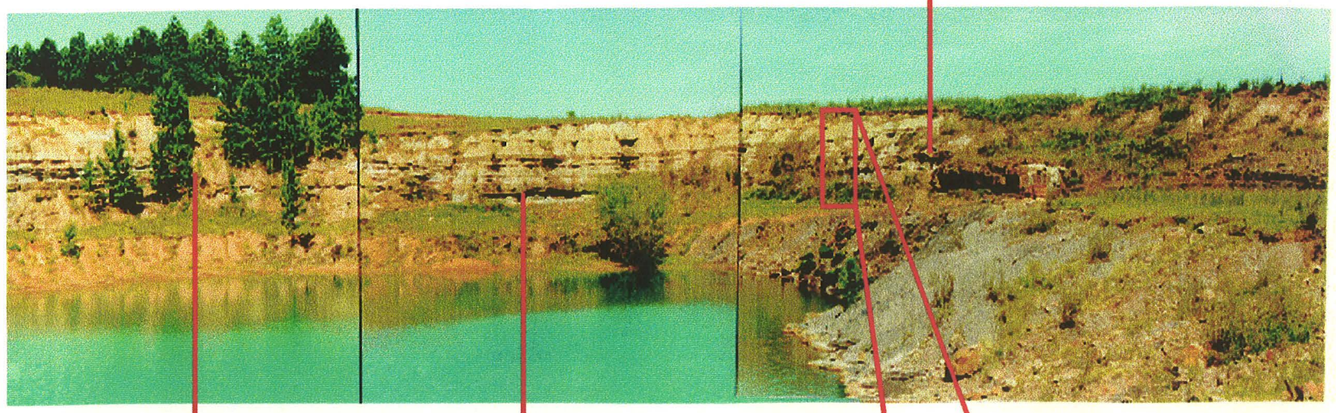
3.7.2 - Interpretação

Se para a interpretação da associação anterior, ao levar-se em conta o regime físico dominante no litoral, chegou-se a interpretação de que a ação de ondas normais, de tempestades ou correntes induzidas por ondas foram os controladores mais importantes naquele tipo de ambiente, para esta associação de fácies verifica-se uma mudança com respeito aos principais agentes geológicos atuantes.

Em um ambiente onde os cordões litorâneos (barreiras) isolavam corpos lagunares com ligação restrita com o mar, agora reflexo de uma elevação gradual do nível deste, fato que será melhor desenvolvido no capítulo 5; verifica-se a presença de uma maior e conseqüente ação de marés. Se olharmos novamente a figura 28, nota-se que no ambiente passa a dominar marés com amplitudes de mesomarés, ou seja, entre 2 e 4 metros, favorável ao desenvolvimento de planícies de marés e estuários.

A atuação das correntes de marés criou um ambiente diferente, pois as lagunas agora aparecem bordejadas, senão substituídas por planícies de marés (*tidal flats*) semelhantes à concebida por Dalrymple (1992) (Fig. 35). Seguindo esta concepção, as litofácies descritas são relacionadas às três zonas de uma planície de maré, quais sejam: supramaré, intermaré e submaré.

(a)



(b)

(c)

(d)

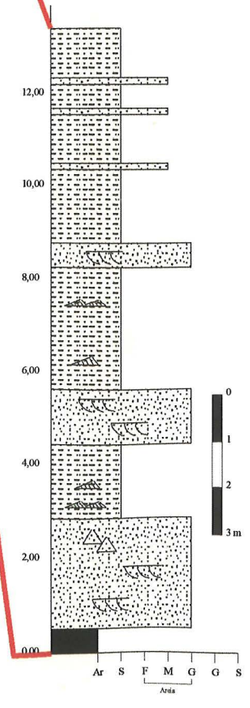


Fig. 34 - Litofácies da Associação de Fácies VII descritas no afloramento da Mina da Cascatinha. (a) Exemplo de uma camada de arenito médio a grosso, cinza-acastanhado e quartzoso, com laminação cruzada tabular a tangencial na base. (b) Exemplo da superfície ferruginosa que pode se apresentar bioturbada e com marcas de ondas no topo das camadas de arenitos. Verifica-se, também, internamente a cada *set*, a presença de cruzadas de pequeno porte. (c) Nota-se que as camadas de arenitos médios a grossos cinza-acastanhados, quartzosos, lateralmente apresentam um afinamento gradual, vindo a formar *wavys* e *linsens* nos pelitos circundantes. (d) Perfil descritivo mostrando a sucessão vertical das litofácies.

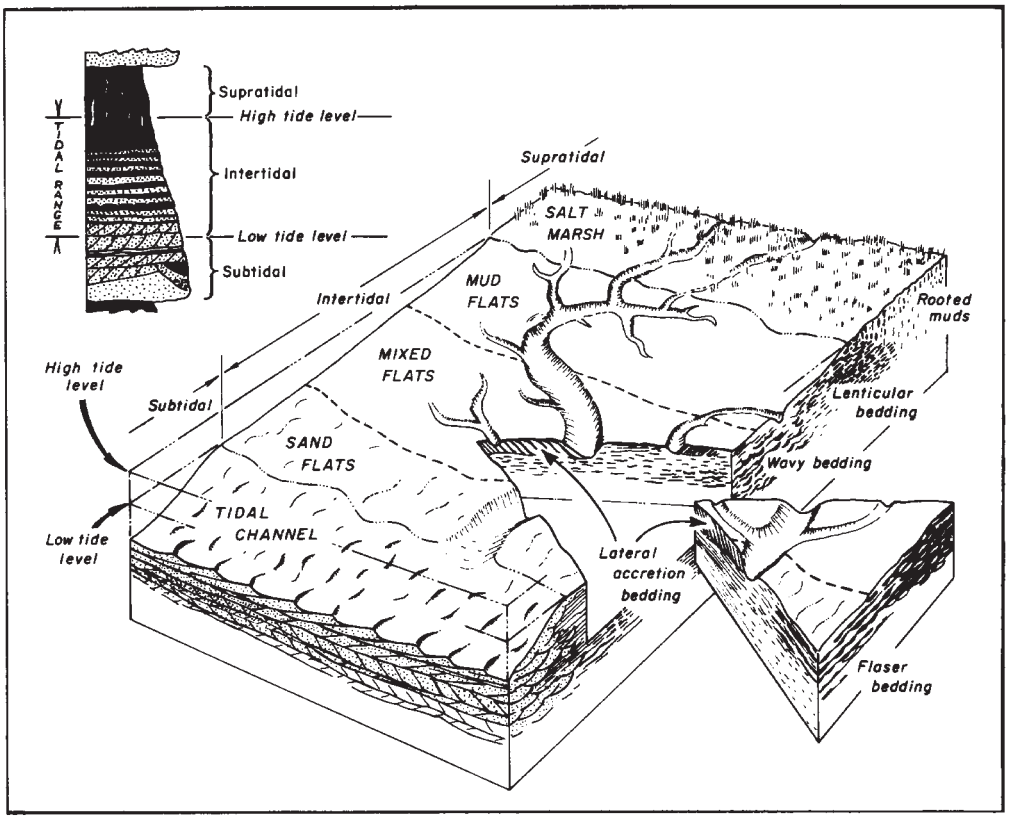


Fig. 35 - Figura ilustrando uma planície de maré, com as estruturas sedimentares refletindo uma diminuição das velocidades de corrente em direção ao continente, e os estratos cruzados depositados na porção inferior dos *sand flats* e nos canais de maré adjacentes, apresentando-se comumente orientados paralelamente à linha de costa (Darymple, 1992).

A litofácies caracterizada pelo interacamadamento arenitos finos a médios cinza-claros com pelitos pretos, muitas vezes denominada nos trabalhos de outros autores como "pelitos com wavy-*linsen*", foram formadas em zona de intermaré, mais precisamente em planície mista (*mixed flat*). A ausência de feições de exposição subaérea aliada à presença de marcas de syneresis (*synaeresis cracks*), que segundo Plummer & Gostin (1981) *in*: Pemberton & Wightman (1992) formam-se na interface água-sedimento, pode indicar que esta litofácies, quando da sua formação, mantinha-se sempre sob uma lâmina d'água, mas afastada dos canais de marés. Lateralmente, o conteúdo de pelitos pode aumentar, o que indicaria um afastamento em direção ao continente.

Os arenitos com *flasers* e *drapes* pelíticos desta associação, juntamente com as porções mais lamosas, estariam colocados na porção mais superior da zona de intermaré, constituindo planícies lamosas (*mud-flats*).

A litofácies de arenitos médios a grossos de coloração alaranjada com camadas centimétricas de arenitos separadas por finas lâminas pelíticas, estão relacionadas a zonas deste ambiente, que apresentam maior energia, com correntes de maior velocidade e altas taxas de sedimentação. Fazem parte da planície arenosa (*sand flat*) em zona de intermaré inferior a submaré, próximo a um canal de maré. Estes arenitos, conforme verifica-se na figura 33a e b, formam camadas que se assemelham muito a uma seqüência de bandas de marés (*tidal bundle sequence*). Segundo Boerma (1960) *in*: Visser (1980), um *bundle* corresponde ao material depositado durante a corrente dominante, limitado acima e abaixo por depósitos de repouso da fase posterior e anterior. Ao analisar o afloramento da Barrocada (Fig. 33b) nota-se exatamente isto, *foresets* inclinados dentro de bandas de marés (*tidal bundle*), limitadas acima e abaixo por finas lâminas pelíticas que representam estágios de corrente subordinada. A orientação medida de 025 para os *foresets* destas bandas mostra que existia um condicionamento de um canal de maré principal, que fluía aproximadamente paralelo à linha de costa, já que conforme ilustram os mapas de isópacas das parasseqüências dos tratos de sistemas transgressivos, a serem mostrados no capítulo 5, com uma transgressão para SE esta linha de costa estaria colocada segundo uma direção SW-NE. Esta constatação vem de encontro com o que diz Dalrymple (1992), que comumente as planícies atrás de barreiras e estuários aparecem bordejados pele canal principal de maré, no qual o fluxo é subparalelo à linha de praia local.

A camada de 3,5 metros de arenitos médios com laminação cruzada acanalada de médio porte na base e, no restante, com laminação cruzada de baixo ângulo (Fig. 33c). descrita acima da litofácies anterior, representa, ainda, a presença de um cordão litorâneo ou ilha de barreira, mesmo com uma maior amplitude de marés, a ação de ondas retrabalhava os sedimentos instalando estes corpos arenosos, que serviam de proteção para baías e planícies de marés.

A última litofácies, nesta associação, para a qual se interpreta um ambiente deposicional é a dos arenitos médios a grossos cinza-acastanhados, quartzosos, com intercalação de níveis de arenitos finos, siltitos, *drapes* de pelitos escuros e de pelitos com laminação ondulada e *wavys* entre os foresets (Fig. 34).

Para interpretar esta litofácies se transcreverá abaixo uma passagem do texto contido nas Notas de Aula de Della Fávera (1995), no qual o mesmo interpreta o regime de circulação atmosférica no Gondwana:

"As reconstruções de curvas barométricas e de circulação atmosféricas realizadas por Parrish (1982) para o Kazaniano indicam a existência durante o inverno no Hemisfério Sul de um centro de alta pressão continental sobre a África, cujas isóbaras afetariam a região de Candiota. Como as superfícies de ventos correm aproximadamente paralelas às isóbaras, exceto quando próximo ao Equador, poderíamos observar que as direções predominantes para sudoeste, são coincidentes com a migração das *sand waves* observadas em mapas. Durante o verão no Hemisfério Sul, a célula de alta pressão se deslocaria para o pólo, e uma célula de baixa pressão tenderia a se colocar em seu lugar, fazendo com que as direções de ventos variassem entre sudoeste e oeste."

Analisando o sentido de migração das formas de leito 2D, constituídas pelos arenitos desta litofácies, para SW (205) (medição nos afloramentos das minas Iruí e Cascatinha) nota-se que pode haver uma relação com o regime de ventos predominantes no inverno citados por este autor. Sendo assim, conforme já salientado, com uma linha de costa orientada SW-NE, estas formas de leito migrariam impulsionadas por correntes de *longshore* (*longshore currents*), que são correntes induzidas pela incidência oblíqua das ondas contra a linha de praia com orientação paralela à mesma, ou seja, para SW.

A presença de níveis intercalados de arenitos finos, siltitos, *drapes* de pelitos escuros e de pelitos com laminação ondulada e *wavys* entre os *foresets*, mostra um retrabalhamento por marés destes depósitos, sugerindo que se não foram o agente

principal de formação dos mesmos, as marés tiveram papel importante no modelamento destas barras, formando correntes secundárias à direção principal de migração. Este fato também foi reconhecido por Lavina *et al*. (1985).

3.8 - Associação de Fácies VIII

3.8.1 - Descrição

A litofácies mais característica desta associação é a dos arenitos finos interacamadados com pelitos pretos. Os arenitos apresentam coloração cinza-esverdeada com microlaminação cruzada cavalgante, ou até laminação plano-paralela. Já os pelitos, apresentam coloração escura a preta, podendo apresentarem-se na forma de *drapes*. Nota-se, em algumas porções, que os arenitos aparecem na forma de *wavy* ou *linsen* dentro dos pelitos. Esta litofácies apresenta em afloramento uma coloração amarelada bem característica (Fig. 36).

Outra importante ocorrência nesta associação é a de arenitos finos cinza-esverdeados com microgradação normal na laminação e estruturas do tipo laminação plano-paralela, ondulada, microlaminação cruzada ondulada, passando gradualmente para arenitos finos com *hummockys* (Fig. 37).

Pulsos formando camadas centimétricas de arenitos médios a grossos quartzosos com base erosiva, maciços ou com laminação cruzada incipiente, freqüentemente são visualizados. A coloração esbranquiçada sugere cimento carbonático. Algumas vezes, podem ocorrer preenchendo escavações feitas pela bioturbação nos pelitos. Outra possibilidade verificada é a presença de intraclastos, tamanho seixo de pelitos (Fig. 38).

Eventualmente podem ocorrer associados às litofácies descritas acima, níveis centimétricos de pelito argiloso cinza-escuro a esverdeado com raras concreções piritosas e manchas de enxofre, e siltitos com laminação plano-paralela incipiente a ondulada que passam gradualmente a argilitos micáceos, configurando ciclos de granodecrescência ascendente.

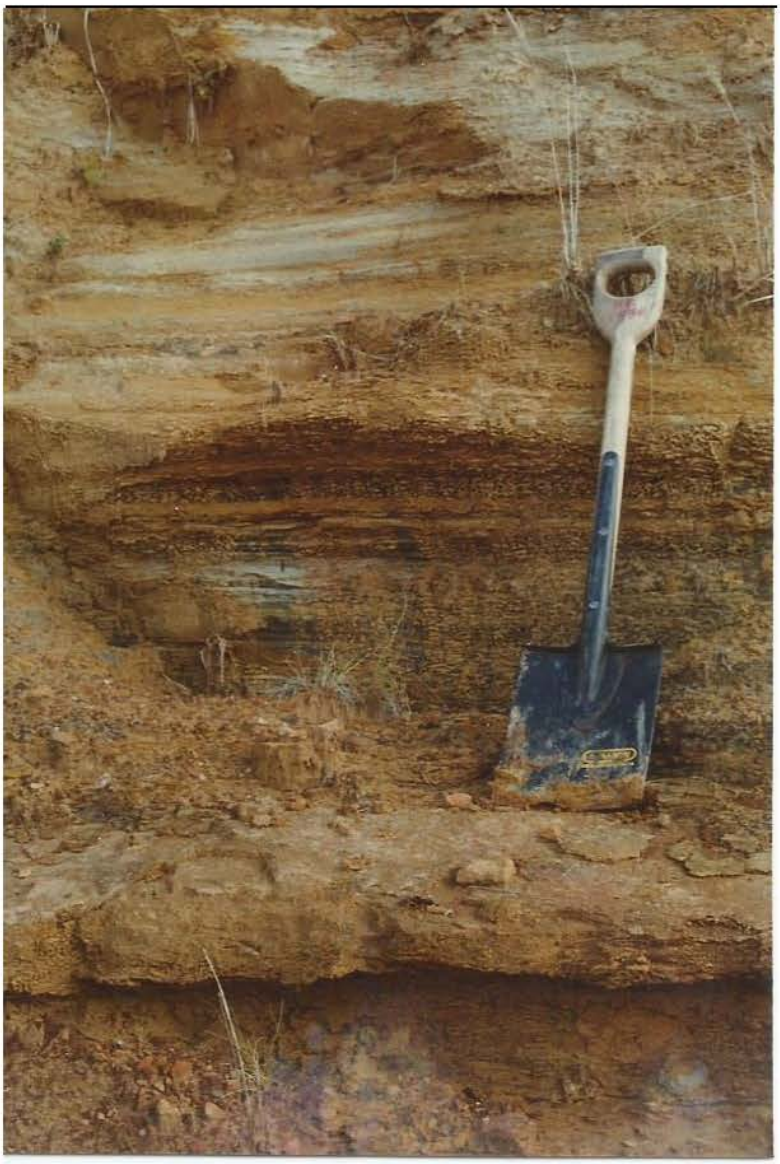


Fig. 36 - Exemplo da litofácies de arenitos finos interacamadados com pelitos pretos da Associação de Fácies VIII. A coloração amarelada ocorre devido à alteração em afloramentos, já que a mesma litofácies em testemunho de sondagem apresenta-se cinza-escura a esverdeada. Localização: Mina do Iruí.

Fig. 37 - Detalhe dos arenitos finos cinza-esverdeados com hummockys (HCS) da Associação de Fácies VIII. Descrição no furo IR-153 (prof. 255,00).

Fig. 38 - Exemplo de camada centimétrica de arenito médio a grosso quartzoso da Associação de Fácies VIII, maciço, com base erosiva e com intraclastos tamanho seixo de pelitos. A oloração esbranquiçada sugere cimento carbonático. Descrição no furo CA-68 (prof. 112,50).

3.8.2 - Interpretação

Com o gradativo aumento do nível do mar estabeleceu-se na área estudada um ambiente marinho de costa-afora. A litofácies de arenitos finos interacamadados com pelitos pretos foi depositada exatamente neste ambiente. Seu aspecto "zebrado" é bem característico, sendo os pelitos resultado de deposição por suspensão em águas calmas e os níveis areníticos, muitas vezes com laminação *wavy* e *linsen*, trazidos de áreas mais proximais, quando da ocorrência de episódios de maior energia, em profundidades entre o nível de base das ondas normais e de tempestades.

As camadas centimétricas de arenitos médios a grossos quartzosos com base erosiva, maciços ou com laminação cruzada incipiente, freqüentemente visualizados, podem registrar pulsos energéticos de maior magnitude, com tempestades atingindo a linha de costa, erodindo e transportando areia para sítios deposicionais mais distais. Para este autor, o mecanismo de transporte provavelmente é o do refluxo hidráulico resultante do chamado *setup* costeiro: quando a tempestade se abate sobre o litoral, ocorrem subidas no nível do mar da ordem de alguns metros. O desnível hidráulico induz uma corrente de retorno no fundo, podendo transportar areia para a plataforma.

Já os arenitos finos cinza-esverdeados com micrograda ção normal na laminação e estruturas do tipo laminação plano-paralela, ondulada, microlaminação cruzada ondulada, passando gradualmente para arenitos finos com *hummockys*, costituem barras de costa-afora (*offshore bars*). Ao fazer uma relação destas litofácies com o modelo teórico de uma barra de costa-afora por Medeiros (1996), nota-se a correspondência de quase todas estruturas físicas e litologias. Na base começa-se com laminação plano-paralela, passando verticalmente para arenitos finos com laminação cruzada ondulada e arenitos finos com *hummocky*. Lateralmente nestas barras, nota-se a gradual passagem para pelitos com *wavys* de arenitos e para pelitos com *linsens*, os quais constituem a primeira litofácies descrita nesta associação. A presença da estrutura hummocky remete a uma interpretação de ocorrência de tempestades na formação destes depósitos. Pensa-se que os truncamentos verificados devam ser fruto destes eventos. O transporte dos sedimentos também é explicado como derivado de refluxo hidráulico. Em relação à batimetria, uma localização abaixo do nível base das ondas normais e acima do nível base das ondas de tempestade é bem aceita para a formação deste tipo de depósito.

Walker & Plint (1992) apresentam uma outra possibilidade de interpretação para estas barras de arenitos em costa-afora. Durante um trato de sistemas de mar baixo haveria a progradação no sentido bacia adentro dos arenitos de shoreface. Um trato de sistemas transgressivo seguinte, traria pelitos marinhos por cima destes arenitos, envelopando-os. Disto, resultaria corpos areníticos isolados em costa-afora.

Esta interpretação é mais moderna, aparecendo como uma boa opção, reforçada pelo fato da denominação "barras de costa-afora" (*offshore bars*), ser um termo mais descritivo.

3.9 - Associação de Fácies IX

3.9.1 - Descrição

A última associação descrita neste trabalho é composta, na sua grande parte, por siltitos e pelitos, mas apresenta eventuais pulsos de arenitos grossos. O alto grau e tipo de bioturbação característico, composto principalmente por icnofósseis do tipo *Teichichnus* (Fig. 39), e a presença em todos os furos de sondagens estudados de manchas amareladas, tornaram-se facilitadores para a individualização desta associação.

Os pelitos, de coloração cinza-escura, ocorrem por vezes interacamadados a siltitos cinza-claros que, em lâminas milimétricas, apresentam-se com laminação ondulada de baixa amplitude e truncamentos suaves, ou com laminação plano-paralela. Estes siltitos ocorrem, algumas vezes, na forma de laminação *wavy* e *linsen* milimétrica. Eventualmente, visualiza-se níveis milimétricos a centimétricos de pelitos argilosos ou sílticos esverdeados, que parecem constituírem-se no topo de ciclos de granodecrescência ascendente, ou seja, talvez possam representar superfícies de inundação. Em todos os furos analisados, identifica-se uma camada centimétrica de um arenito grosso esbranquiçado, maciço e com raros grânulos de quartzo dispersos na matriz, cuja base apresenta caráter erosivo na litologia subjacente.

Fig. 39 - Foto mostrando a principal litofácies da Associação de Fácies IX, a qual caracteriza-se por siltitos e pelitos com alto grau e tipo de bioturbação característico. Nota-se um interacamadamento entre siltitos e pelitos, nos quais descreve-se laminação ondulada de baixa amplitude e truncamentos suaves, ou, ainda, laminação plano-paralela. Localização: furo IR-153 (prof. 198,00).

3.9.2 - Interpretação

Os pelitos que ocorrem interacamadados a siltitos cinza-claros, com laminação ondulada de baixa amplitude e truncamentos suaves, ou com laminação plano-paralela
são interpretados como sedimentos de plataforma, assim como os da litofácies anterior.

A diferença é o maior conteúdo em siltitos e arenitos finos, o que de certa forma sugere uma reativação da área fonte, com possibilidade de ser resultado de uma progradação dos sedimentos costeiros para a plataforma.

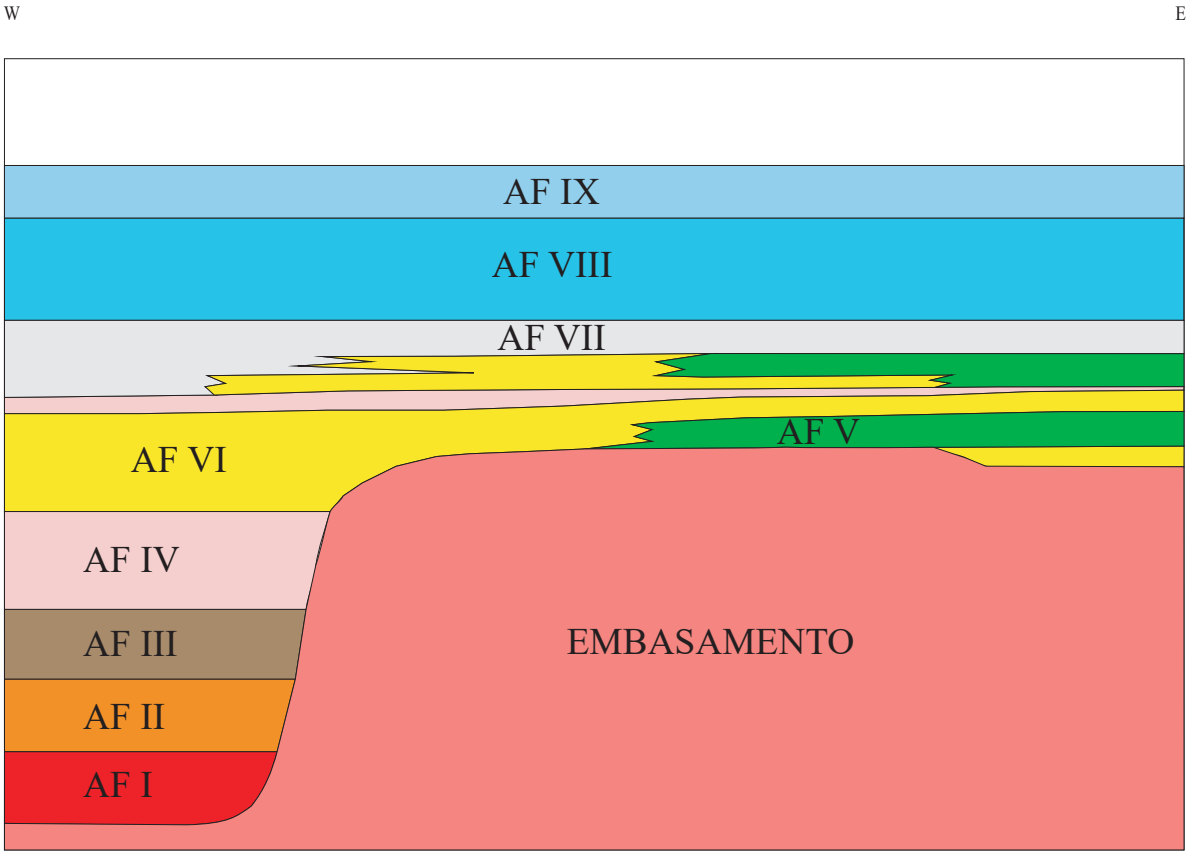
Como dito acima, o alto grau e bem característico padrão de bioturbação, remete a melhor interpretação desta associação de fácies para o capítulo 4, onde através da análise da bioturbação tem-se uma melhor noção a respeito de energia do ambiente deposicional e dos mecanismos de transporte dos sedimentos.

3.10 - Conclusões

Como já salientado anteriormente, as rochas sedimentares analisadas neste trabalho são correspondentes, na litoestratigrafia formal, às rochas do Grupo Itararé e às rochas da Formação Palermo. Portanto ao assumir o Itararé como pertencente ao Sakmariano-Artinskiano (Guerra-Sommer *et. al*., 1979; e, Corrêa da Silva & Arrondo, 1977), e o Palermo como pertencente ao Kunguriano (Daemon & Quadros, 1970), entende-se que toda a sedimentação analisada está encaixada no intervalo Sakmariano/Kunguriano, representando aproximadamente 15 milhões de anos.

Colocado isto, para a apresentação das fácies sedimentares, dividiu-se, primeiramente, em associações de fácies todas as litofácies descritas, abordando as principais características distinguíveis, fazendo para cada associação uma interpretação com respeito aos respectivos ambientes deposicionais formacionais.

Através da figura 40 pode-se visualizar a distribuição espacial destas associações de fácies, ficando evidente o condicionamento para as associações I, II, III e IV, da depressão localizada na porção oeste da área, constituída em um paleovale glacial. Também é facilmente notável a concomitância das associações de fácies V e VI, formadas em um ambiente costeiro caracterizado por lagunas e cordões litorâneos ou



LEGENDA

- Associação de Fácies IX (AF IX) - Arenitos Finos e Siltitos com *Teichichnus*
- Associação de Fácies VIII (AFVIII) - Pelitos e Arenitos de Costa-Afora
- Associação de Fácies VII (AF VII) - Arenitos e Pelitos de Planícies de Maré
- Associação de Fácies VI (AF VI) - Arenitos Marinhos Rasos (Ilhas de Barreiras ou Cordões Litorâneos)
- Associação de Fácies V (AF V) - Carvão, Pelitos e Arenitos de Planície Costeira
- Associação de Fácies IV (AF IV) - Carvão, Pelitos e Arenitos Flúvio-Deltaicos e Estuarinos
- Associação de Fácies III (AF III) - Pelitos e Arenitos Finos Marinhos
- Associação de Fácies II (AF II) - Diamictitos e Turbiditos
- Associação de Fácies I (AF I) - Arenitos Glácio-Fluviais, Diamictitos e Conglomerados de Leques Aluviais

Fig. 40 - Quadro-resumo mostrando a distribuição espacial das associações de fácies na área estudada.

ilhas de barreiras, respectivamente; estando os sedimentos lagunares colocados, principalmente, na porção leste da área.

O empilhamento vertical das fácies sedimentares é bem visualizado no perfil descritivo dos testemunhos do furo de sondagem IR-153 (Fig. 41). Neste perfil, observa-se que a sedimentação se inicia com arenitos glácio-fluviais, depositados dentro de um paleovale glacial. Segue com a sobreposição de ritmitos caracterizados por turbiditos distais (depósitos glácio-marinhos), denotando uma inundação marinha que evolui até um máximo transgressivo, precedente a uma retomada da sedimentação, representada pelos arenitos da base da Associação de Fácies III. Esta associação culmina com um padrão agradacional de sedimentação caracterizado por siltitos e pelitos marinhos, conforme verifica-se na profundidade aproximada de 422 a 410 metros. Seguindo na coluna sedimentar, a ocorrência de depósitos flúvio-deltaicos representa uma reativação das áreas fontes, resultado de um rebaixamento do nível do mar. Este quadro começa a mudar com os depósitos estuarinos, que representam o início de um novo evento transgressivo, responsável pelo retrabalhamento dos depósitos flúvio-deltaicos, formando litorais com cordões litorâneos ou ilhas de barreiras que isolariam as lagunas, onde formaram-se as camadas de carvão descritas. Nesta porção do perfil, pode-se notar que o contínuo aumento do nível do mar era pontuado por quedas eustáticas de menor ordem de grandeza, possibilitadoras da formação de turfeiras. Este padrão cíclico, representado por parasseqüências, como será visto no Capítulo 5, culmina com um novo rebaixamento do nível do mar, não tão representativo como o anterior, mas responsável por uma nova progradação de sedimentos deltaicos (Associação de Fácies IV). A partir deste ponto do perfil (308 m), é observado um afogamento mais significativo da região, primeiramente instalando uma planície de marés nos locais onde depositavam-se os sedimentos lagunares (turfeiras, carvão, etc.), representada pelos depósitos da Associação de Fácies VII; para depois predominar os sedimentos marinhos de costa-afora da Associação de Fácies VIII, já num contexto de sedimentação plataformal. Este afogamento novamente atinge um máximo transgressivo, notando-se a partir disto a progradação dos depósitos praiais da Associação de Fácies IX, representados por arenitos e siltitos com *Teichichnus*, que mostram condições de energia e sedimentação mais significantes, compatíveis com os níveis encontrados na face de praia inferior.

Fig. 41 - Perfil descritivo dos testemunhos do furo de sondagem IR-153, acompanhando perfil geofísico (raios-gama) maneira como se sucedem os diferentes tipos de depósitos sedimentares na área de estudo. Grande parte das litofácies identificadas no trabalho estão presentes neste furo, o que o tornam um bom exemplo da

CAPÍTULO 4

ANÁLISE ICNOLÓGICA

A icnologia, o estudo dos traços fósseis, é um assunto tratado neste trabalho pela importância que assume a partir do momento que acresce argumentos no sentido de reforçar uma dada interpretação paleoambiental, na reconstrução estratigráfica, ou até mesmo na definição de descontinuidades. Nas palavras de Ekdale (1988) *in*: Goldring (1993): "Nem todo ambiente sedimentar pode ser distinguido por traços fósseis. Mas, em um estudo integrado, todo traço fóssil pode ajudar na interpretação de fácies"; ou como coloca Savrda (1991): "Quando aplicada em conjunção com outras evidências sedimentológicas, os icnofósseis podem servir como indicadores proveitosos de parâmetros paleoambientais, assim como: energia física, velocidade de sedimentação, consistência do substrato, e química da água (salinidade) e de fundo". Estas afirmações vêm de encontro com o que se pensa em relação a esta ferramenta, se assim pode-se chamar, tomando-se consciência dos limites da mesma, mas por outro lado valorizando as evidências proporcionadas por este tipo de estudo.

Portanto, por tratar-se de um assunto ainda pouco presente nos trabalhos de estratigrafia, faz-se uma breve revisão conceitual, para após apresentar alguns dados colhidos na área estudada. O objetivo é tentar fornecer subsídios, que juntamente com a análise das associações de fácies sedimentares realizadas no capítulo anterior, induzirão uma interpretação melhor sustentada, a qual está implícita tanto na apresentação do arcabouço estratigráfico, como na reconstituição paleofisiográfica.

4.1 - Revisão Conceitual

O ponto de partida para o estudo icnológico, sem dúvida, é a necessária existência de estruturas visíveis em testemunhos e afloramentos que evidenciem a atividade de organismos viventes nos ambientes sedimentares estudados. Em outras palavras, fala-se das estruturas sedimentares biogênicas apresentadas por Pemberton *et. al*. (1992a), como:

estruturas de bioturbação, de bioestratificação e biodeposição; das quais as estruturas biogênicas de bioturbação são as mais importantes na seqüência sedimentar estudada, estando composta principalmente por rastros e escavações (*tracks* e *burrows*).

O próximo passo constitui-se em realçar e apresentar os conceitos de três disciplinas que juntas à icnologia tornam possível e proveitoso este tipo de estudo na análise estratigráfica. Trata-se da etologia, da toponomia e da taxonomia, conceituadas abaixo conforme os autores Pemberton *et. al*. (*op. cit*.).

O conceito de etologia, em icnologia, refere-se ao estudo ou interpretação do comportamento de organismos assim como refletem seus traços. Este tipo de interpretação fornece um importante auxílio quando se analisa as implicações comportamentais destes traços.

Já o conceito de toponomia corresponde à descrição e classificação dos traços com respeito ao modo de preservação e ocorrência, incluindo aspectos estratinômicos (fabricação) e tafonômicos (destruição), bem como geometria e configuração.

Por último, o conceito de taxonomia corresponde à classificação dos traços fósseis de acordo com sua sistemática e nomenclatura. As categorias taxonômicas prevalecentes, segundo os mesmos, são os icnogêneros e as icnoespécies.

Colocadas estas importantes conceituações, parte-se para os critérios e aspectos que são considerados para classificar um icnofóssil. Assim, comumente leva-se em consideração os aspectos descritivo-genético dos traços, as implicações preservacionais, bem como as implicações comportamentais dos mesmos.

Os aspectos descritivo-genéticos, a que se refere, são relacionados ao tipo de bioturbação (escavações, rastros, etc.), à morfologia do traço, ou seja, com ou sem *spreiten*, *spreiten* retrusivo ou protusivo, orientação e disposição espacial dos icnofósseis, entre outros aspectos.

Quanto às implicações preservacionais, dá-se ênfase à classificação toponômica de Martinsson (1970) *in*: Pemberton *et. al*. (*op. cit*.), que apresenta um esquema com termos que representam diferentes posições das estruturas de bioturbação com referência a uma camada ou meio onde as mesmas se formaram, quais sejam: *Epichnion* (na superfície superior da camada), *Hypichnion* (na superfície inferior da camada), *Endichnion* (no interior da camada), e, finalmente, *Exichnion* (exterior à camada bioturbada) (Fig. 42).

O outro aspecto considerado numa classificação diz respeito às implicações comportamentais de cada traço fóssil. Este aspecto é muito importante, pois fornece dados importantes quando se avalia a contribuição que cada tipo de estrutura biogênica pode oferecer na interpretação faciológica, principalmente no que diz respeito aos parâmetros ambientais reinantes, já que estes imprimem em cada traço fóssil, uma morfologia ditada e modificada conforme a adaptação ocorrida.

Para facilitar este tipo de estudo, faz-se uma separação em categorias comportamentais diversas, usando termos etológicos. Com este objetivo, Ekdale *et. al*. (1984) *in*: Pemberton *et. al*. (1992a) reconheceram sete categorias básicas de comportamento (Fig. 43): *Cubichnia* - traços de repouso (*resting traces*), *Repichnia* - traços de deslocamento (*locomotion traces*), *Pascichnia* - traços de pastagem (*grazing traces*), *Fodinichnia* - traços de alimentação por organismos bênticos (*feeding burrows*), *Domichnia* - traços de moradia (*dwelling traces*), *Fugichnia* - traços ou estruturas de escape (*escape traces*), e *Agrichnia* - traços de cultivo (*farming systems*).

4.1.1 - O conceito de icnofácies

De uma maneira semelhante às fácies sedimentares, cada icnofácies é o agrupamento de icnofósseis, refletindo adaptações dos organismos produtores destes traços fósseis a fatores ambientais, como consistência do substrato, suprimento sedimentar, energia hidrodinâmica, salinidade e nível de oxigenação. Esta conceituação dada acima por Frey & Pemberton (1984) e Frey *et. al*. (1980) *in*: Pemberton *et. al*. (1992b) é uma concepção moderna de icnofácies, pois o termo foi criado por Seilacher em 1967, com a idéia de que os parâmetros que controlam a distribuição dos organismos produtores iriam mudando progressivamente com o aumento da profundidade de água, dando uma resposta mais a nível de paleobatimetria. Assim, nove icnofácies são reconhecidas, recebendo, quase todas, denominação semelhante a do icnogênero representativo. São elas: *Scoyenia*, *Trypanites*, *Teredolites*, *Glossifungites*, *Psilonichnus*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos* e *Nereites*.

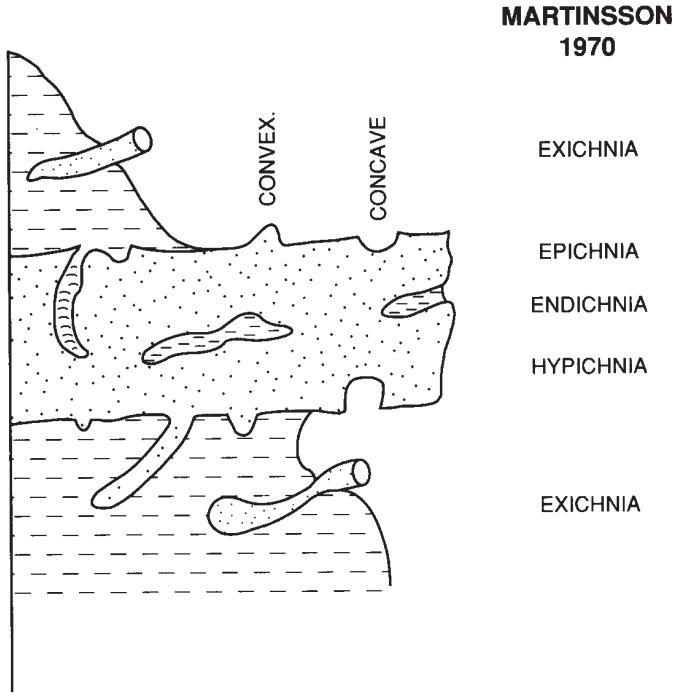


Fig. 42 - Classificação toponômica das estruturas de bioturbação por Martinsson (1970) *in*: Pemberton *et. al*. (1992a), mostrando diferentes posições destas estruturas com referência às camadas bioturbadas.

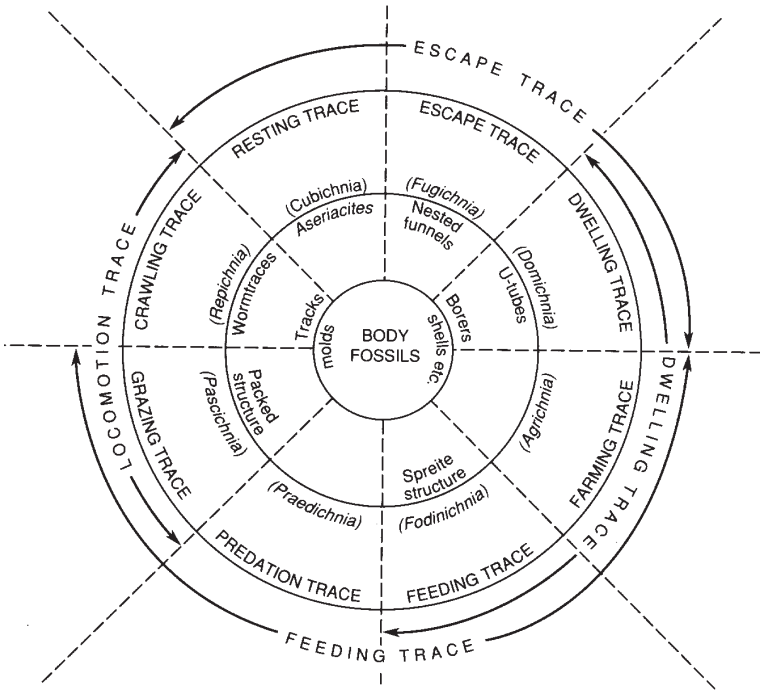


Fig. 43 - Classificação etológica dos traços fósseis. Modificado de Frey & Pemberton (1985) *in*: Pemberton *et. al*. (1992a).

Como ilustra a figura 44, as icnofácies com ocorrência relacionada a fatores ambientais são as que ocorrem em substrato inconsolidado e não-compactado (*softground*), ou seja, *Scoyenia*, *Psilonichnus*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos* e *Nereites*. Por outro lado, as icnofácies *Teredolites*, *Trypanites* e *Glossifungites* ocorrem em substrato de madeira (*woodground*), endurecidos (*hardgrounds*) e compactados (*firmgrounds*), respectivamente; com ocorrência respeitando somente o tipo e consistência do substrato.

A conseqüente descrição mais detalhada de cada icnofácies fica restrita às icnofácies com ocorrência na área estudada. Desta maneira, conceitua-se, descreve-se e interpreta-se as icnofácies *Skolithos*, *Cruziana* e *Glossifungites*, ilustrando-as, dentro do possível, com figuras e fotos tiradas nos afloramentos e testemunhos estudados. A caracterização das icnofácies *Skolithos*, *Cruziana* e *Glossifungites* é baseada no trabalho de Pemberton *et*. *al*. (1992a). Para a icnofácies *Glossifungites*, utilizou-se também o trabalho de MacEachern *et*. *al*. (1992).

4.1.1.1 - Icnofácies *Skolithos*

A icnofácies *Skolithos* (Fig. 45) é indicativa de consideráveis níveis de energia de correntes ou de ondas, e tipicamente é desenvolvida em substrato inconsolidado e bem selecionado, preferindo os sedimentos arenosos aos pelíticos. Muitas vezes as estruturas biogênicas são obliteradas pelo retrabalhamento físico causado por altos níveis de energia do ambiente. Estas condições ocorrem comumente na antepraia (*foreshore*) e face da praia (*shoreface*), em sedimentos praiais e em barras, entretanto condições similares podem ocorrer em deltas de marés e leques submarinos. Devido à afinidade existente entre agitação da água, transporte sedimentar e distribuição animal, nota-se que grande parte dos icnofósseis encontrados nestes ambientes foram produzidos por organismos suspensívoros. Nota-se escavações profundas, construindo domicílios não permanentes.

A icnofácies Skolithos é dominada, principalmente, pelos icnogêneros *Skolithos*, *Diplocraterion* e *Ophiomorpha*, sendo caracterizada por: 1) escavações em forma de "U" (U-*shaped*), predominantemente verticais e cilíndricas; 2) existência de *spreiten* retrusivo

Woodground	Hardground	Firmground	Softground	
Teredolites	*Trypanites*	*Glossifungites*	*Scoyenia* *Psilonichnus* *Skolithos* *Cruziana* *Zoophycos* *Nereites*	Freshwater High Energy Medium Energy Low Energy Marine

Fig. 44 - Diferentes tipos de substrato mostrando quais icnofácies cada tipo pode apresentar. Pode-se observar que as icnofácies que ocorrem em substrato inconsolidado (*softground*) são diferenciadas por fatores ambientais; enquanto que as de substrato compactado (*firmground*), endurecido (*hardground*) ou de madeira (*woodground),* diferenciam-se somente pelo tipo e consistência do mesmo. Fonte: Pemberton *et. al*. (1992a).

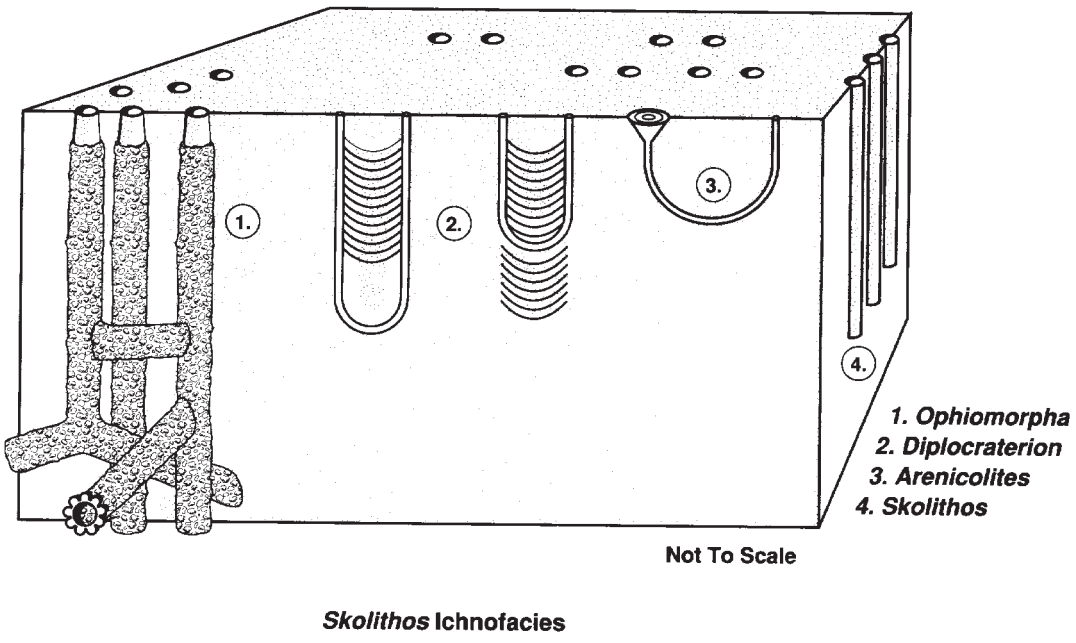


Fig. 45 - Associação de traços fósseis característica da icnofácies *Skolithos* por Pemberton *et. al*. (1992a).

ou protusivo, que são linhas sucessivas que acompanham as escavações indicando a variação na posição original da estrutura, podendo se encontrarem abaixo da última escavação ou acima, respectivamente; com ocorrência em algumas escavações em forma de “U”, as quais se desenvolvem em resposta à agradação ou degradação do substrato; 3) poucas estruturas horizontais; 4) poucas estruturas desenvolvidas por organismos móveis; 5) baixa diversidade, contudo formas individuais podem ser abundantes; 6) muitas escavações de moradia construídas por organismos suspensívoros ou carnívoros passivos; e 7) traços de vertebrados, particularmente em ambientes de baixa energia em intermarés.

4.1.1.2 - Icnofácies *Cruziana*

A icnofácies *Cruziana* (Fig. 46) é mais característica de inframarés, em substratos inconsolidados, preferencialmente compostos por sedimentos pelíticos. As condições tipicamente variam de níveis de energia moderada em águas rasas abaixo do nível base das ondas normais, mas acima do nível base das ondas de tempestade, para níveis de energia baixa em águas gradualmente mais profundas e calmas. A velocidade da deposição sedimentar varia de desconsiderável para apreciável, mas normalmente não ocorre de forma rápida. Estas condições ocorrem em ambientes de plataforma média a distal, estuários, baías, lagunas e planícies de marés.

Com níveis de energia reduzidos, mas não desconsideráveis, o suprimento alimentar consiste de componentes depositados e suspensos. Os organismos mais característicos são os suspensívoros e carnívoros vágeis. Rastros de organismos detritívos epibênticos e endobênticos também podem ser comuns e refletem a abundância, diversidade, e acessibilidade de alimento.

A icnofácies é dominada, principalmente, pelos icnogêneros *Cruziana*, *Planolites*, *Thalassinoides*, *Chondrites* e *Teichichnus*, sendo caracterizada por: 1) associação mista de estruturas horizontais, inclinadas e verticais; 2) presença de estruturas produzidas por organismos móveis; e 3) geralmente alta diversidade e abundância.

Por último, deve-se realçar que, por vezes, no pacote sedimentar estudado nota-se a concomitância e convivência das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*, principalmente nas camadas onde intercalam-se arenitos finos com pelitos na Associação de Fácies VII, descrita no capítulo anterior.

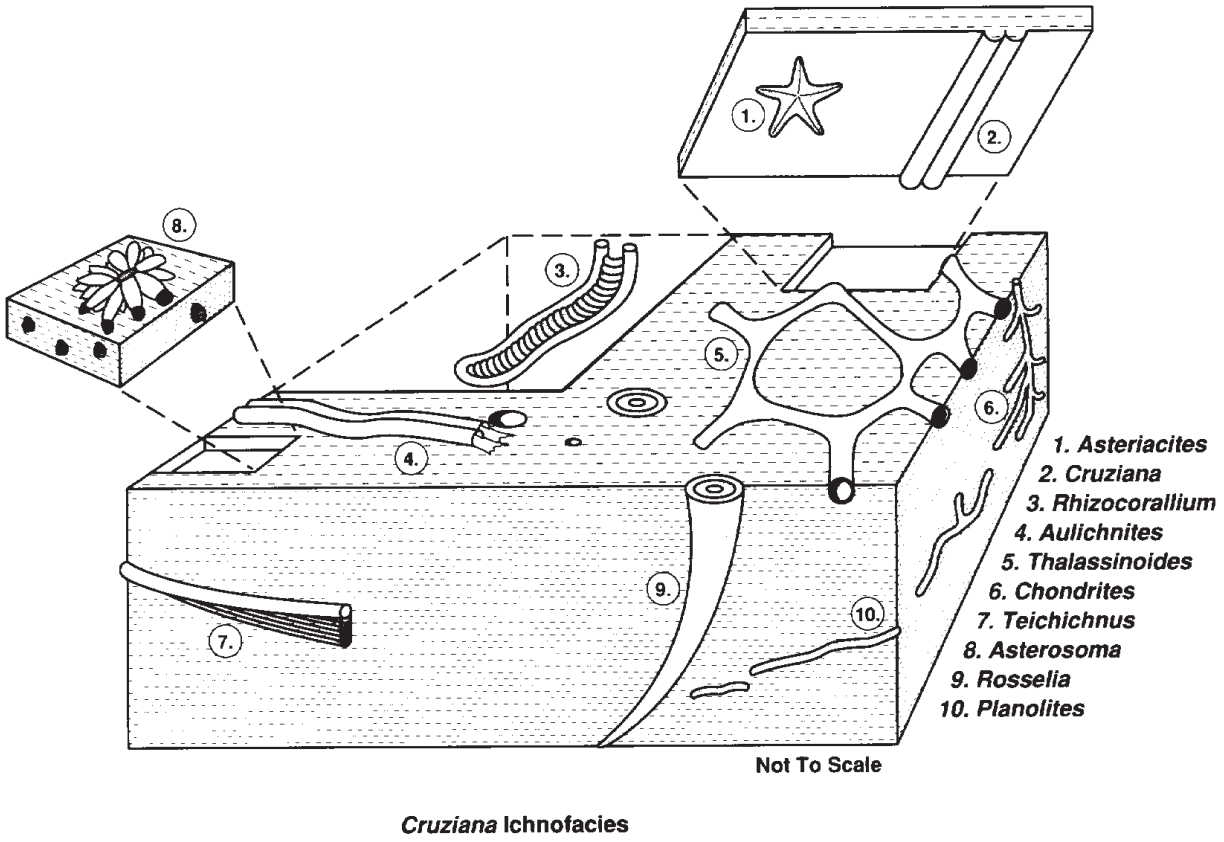


Fig. 46 - Associação de traços fósseis característica da icnofácies *Cruziana*, conforme Pemberton *et. al*. (1992a).

Segundo Netto (1995), esta situação seria favorecida pelas condições energéticas variáveis existentes. Em condições de altas energéticas tería-se o estabelecimento de formas verticais e suspensívoras, enquanto que em condições energéticas moderadas a baixas, formas de caráter horizontal e detritívoras predominariam.

4.1.1.3 - Icnofácies *Glossifungites*

A icnofácies *Glossifungites* (Fig. 47) é um conjunto de traços fósseis controlado pelo tipo de substrato. Se por um lado tem ocorrência ambiental muito variável, por outro desenvolve-se somente em substratos semi-consolidados (*firmgrounds*), compactados, mas não litificados, assim como em lamitos com pouca quantidade de água (*dewatered muds*).

A icnofácies é dominada, principalmente, pelos icnogêneros *Diplocraterion*, *Skolithos* e *Arenicolites*. Estes icnogêneros associados demarcam superfícies de descontinuidade que refletem pausas na sedimentação, geralmente acompanhadas por erosão, as quais muitas vezes podem corresponder a limites com importante significado estratigráfico. A colonização destes substratos exumados pela erosão e a escavação de moradias, ocorre dentro dos ambientes marinho ou marginal-marinho. Os passos para a formação de uma icnofácies *Glossifungites* podem ser bem entendidos ao analisar-se a figura 48.

A presença de superfícies de erosão na base de um trato de sistemas de mar baixo, conjugada à presença da icnofácies *Glossifungites*, pode representar depósitos desenvolvidos em vales incisos, cânions submarinos, e em face da praia (*shoreface*) de trato de sistemas de mar baixo, resultante de regressões forçadas.

Mais favorável para o desenvolvimento de *firmgrounds* e posterior colonização são as superfícies de inundação marinha (limites de parasseqüências) acompanhadas de erosão transgressiva. Dentro dessas condições, a geração de superfícies de descontinuidade ocorre dentro do cenário marinho, permitindo a quase imediata colonização por organismos oportunistas. Exemplos de superfícies de erosão em trato de sistemas de mar baixo amalgamadas com superfícies de erosão transgressivas, tem sido também reconhecidas. Estas são produzidas onde condições de nível de mar baixo expõem ou exumam o substrato, mas as condições marinhas que permitem a colonização conseqüente não ocorrem sem que antes aconteça a fase transgressiva seguinte.

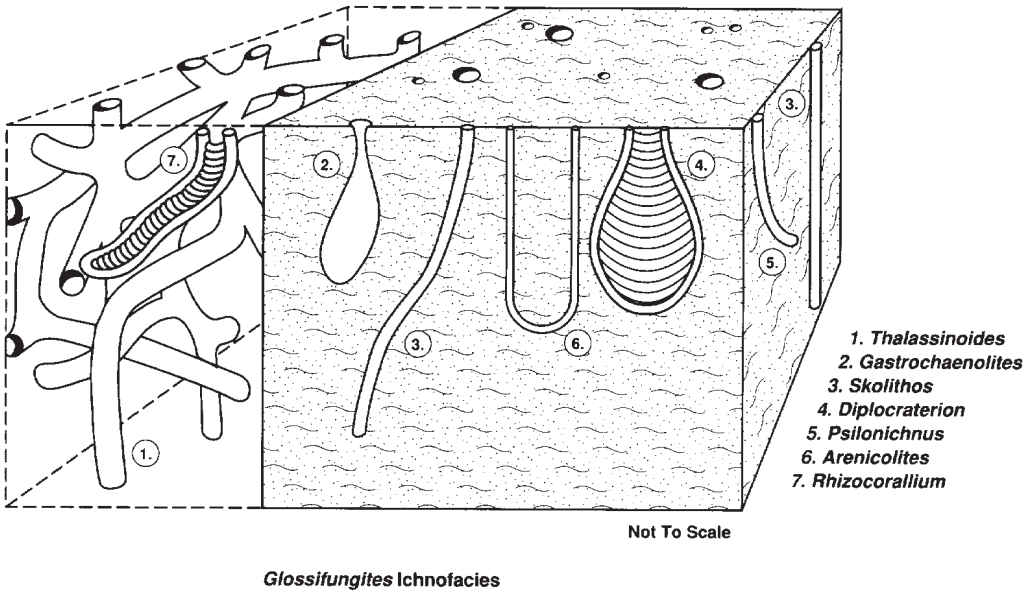


Fig. 47 - Associação de traços fósseis característica da icnofácies *Glossifungites* por Pemberton *et. al.* (1992a).

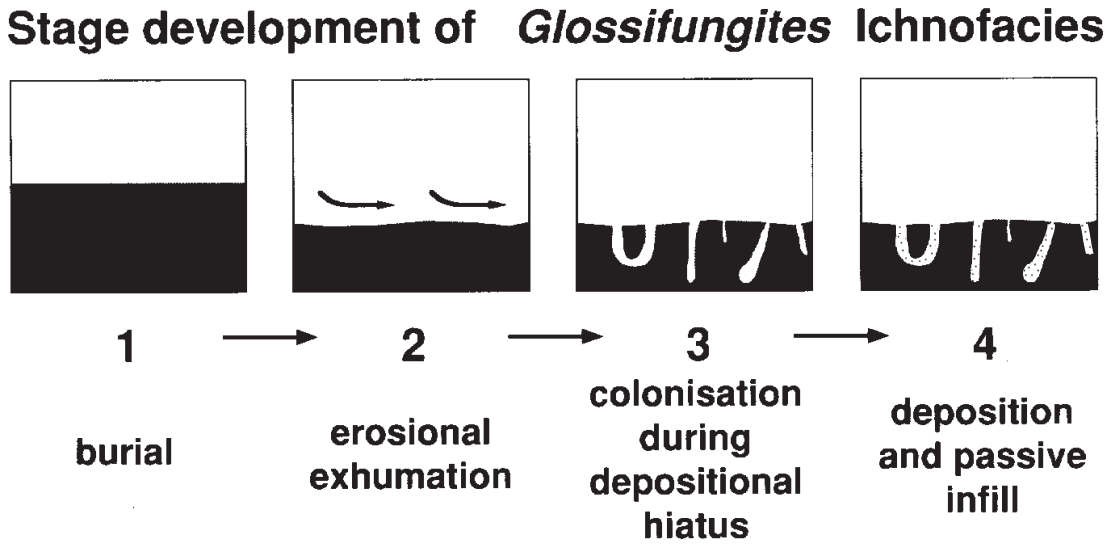


Fig. 48 - Desenvolvimento esquemático mostrando o estabelecimento de uma descontinuidade erosional com posterior bioturbação, caracterizando a icnofácies *Glossifungites*. Como se vê na figura, são quatro os passos para a formação desta icnofácies, os quais descreve-se a seguir. 1) substrato lamoso com pouca quantidade de água e com um certo grau de compactação; 2) a camada de lama é erosionalmente exumada, resultando no desenvolvimento de um substrato firme (*firmground*); 3) colonização da superfície de descontinuidade por organismos produtores de traços da icnofácies *Glossifungites*, abaixo de condições marinhas e durante um hiato deposicional; e 4) as estruturas são passivamente preenchidas durante um episódio deposicional sucedente. Fonte: MacEachern *et. al.* (1992).

Concluindo, as características principais desta icnofácies, são: 1) escavações preferencialmente verticais e cilíndricas formando hastes em forma de "U" (U-*shaped*), e escavações esparsas ou densamente ramificadas, compondo moradias construídas por organismos suspensívoros ou predadores; 2) presença de *spreiten* protusivo em escavações produzidas por *Rhizocorallium* e *Diplocraterion*; e 3) baixa diversidade, contudo formas individuais podem ser abundantes.

4.1.2 - Contribuição para a interpretação paleoambiental

O valor das informações provenientes dos icnofósseis advém do fato de apresentarem não só a morfologia e a etologia dos organismos produtores, mas também as características físicas do substrato. Os icnofósseis são diretamente relacionados às condições ambientais prevalecentes no tempo de suas formações. Autores como Frey & Seilacher (1980) *in*: Pemberton *et. al*. (1992a) enfatizam que estas condições, assim como: batimetria, temperatura, volume de sedimentos depositados ou erodidos, aeração da água e sedimentos, e coerência e estabilidade do substrato, tem grande efeito na distribuição e morfologia dos icnofósseis, e, por isso, podem ser usados na determinação das condições originais biológicas, etológicas e sedimentológicas.

Sendo assim, a compreensão da história deposicional de um determinado ambiente pode ser facilitada pela interpretação das informações fornecidas por estruturas sedimentares biogênicas. Como exemplifica Pemberton *et. al*. (*op. cit*.), num ambiente marinho costeiro de águas rasas, onde parâmetros físicos e químicos variam muito caracterizando subambientes menores, o uso das estruturas sedimentares biogênicas pode melhor delinear os parâmetros ecológicos reinantes em cada um destes subambientes.

Conclui-se disto, que além das informações advindas da identificação das icnofácies, este estudo permite mapear diferentes subambientes, autocíclicos, dentro de um ambiente maior. Exemplificando, cita-se os subambientes próximos à costa, como: baías, lagunas e estuários; e, em costa afora (*offshore*): barras, bancos de areia, cânions e leques submarinos. Estes subambientes constituem situações particulares, considerando os parâmetros físicos e químicos existentes para cada situação. Assim, tem-se a convicção pelo que já foi colocado até então, que o uso dos icnofósseis auxilia muito na diferenciação destas diferentes situações paleofisiográficas, oportunizando uma reconstrução paleoambiental mais confiável.

4.1.3 - A contribuição da icnologia no estabelecimento de um arcabouço estratigráfico

Na construção de um arcabouço cronoestratigráfico, com suas superfícies de tempo, a maior contribuição que o estudo dos icnofósseis propicia, está no estabelecimento de descontinuidades. Isto se dá juntamente com outras informações sedimentológicas, estratigráficas e paleontológicas; ajudando, inclusive, na interpretação genética das mesmas.

Existem duas maneiras, segundo Pemberton *et. al*. (1992b), de empregar a icnologia para identificar quebras no registro estratigráfico vertical. A primeira pelo reconhecimento de icnofácies controlada pelo tipo e consistência do substrato, como por exemplo: em substrato firme (*firmground*), a presença da icnofácies *Glossifungites*. Esta indicaria um intervalo temporal entre a deposição original da unidade e a posterior superposição de um conjunto de traços pós-deposicionais. A segunda seria pela análise da sucessão icnológica vertical, procurando a existência de variações nas características icnológicas, que possivelmente estariam refletindo mudanças no ambiente deposicional. Estas variações poderiam ser no comportamento dos organismos, na diversidade dos icnofósseis e na abundância dos mesmos. Para Pemberton *et. al*. (*op. cit*.) estas duas maneiras, quando integradas podem oferecer uma forte ferramenta para o reconhecimento e interpretação de descontinuidades no registro sedimentar.

Apresentadas estas primeiras considerações, salienta-se, no entanto, que nem toda a descontinuidade identificada apresenta importância para o arcabouço cronoestratigráfico, sendo consideradas somente aquelas, que além da extensão de caráter regional, sejam impostas também por aspectos estratigráficos, sedimentológicos e bioestratigráficos. Esta conclusão também é enfatizada por Savrda (1995), o qual salienta que a presença da icnofácies *Glossifungites*, ou de qualquer outra controlada pelo tipo e consistência do substrato não necessariamente indica uma superfície cronoestratigráfica, podendo muitas vezes se tratar de uma superfície produzida por mecanismos autocíclicos.

Utilizando-se da nomenclatura comumente utilizada na Estratigrafia de Seqüências para definir as descontinuidades, apresenta-se as consideradas mais importantes dentro da icnologia, ou seja, as passíveis de distinção por critérios icnológicos, quais sejam: as descontinuidades ou discordâncias geradas em resposta a

uma queda do nível do mar, tendo nas porções mais proximais, exposição subaérea e erosão, as quais podem representar dentro de um arcabouço cronoestratigráfico, limites de seqüência (*sequence boundary*). Outra descontinuidade importante trata-se da superfície transgressiva (*transgressive surface*), uma superfície de inundação marinha que também apresenta erosão associada através do ravinamento dos depósitos subjacentes.

Como salientado no parágrafo anterior ambas as superfícies (limite de seqüência e superfície transgressiva) apresentam erosão associada, isto resulta nos dois casos na exumação do substrato, o qual deficiente em quantidade de água e geralmente em litofácies de granulometria fina, representam substratos firmes que possibilitam a colonização restrita à animais capazes de escavar em substratos endurecidos. Estas características são diagnosticadoras da icnofácies *Glossifungites* descrita acima.

De uma maneira simplificada, pode-se dizer que esta icnofácies seria a mais importante quando pretende-se formar um arcabouço cronoestratigráfico, ou simplesmente testar suas superfícies de tempo. Vale salientar que para a delimitação de superfícies de inundação marinha, delimitadoras de parasseqüências, os critérios utilizados são os mesmos que para as superfícies transgressivas, diferindo somente na expressão areal e na magnitude temporal. Já para definir superfícies de inundação máxima e seções condensadas, conforme coloca Savrda (1995) para seqüências marinhas epicontinentais, os intervalos condensados tipicamente mostram deficiências em oxigênio e, portanto, apresentam-se não bioturbados. Porém, para este autor, ainda se necessita de um melhor conhecimento para caracterizar melhor as associações de icnofósseis ocorrentes nas superfícies de inundação máxima e seções condensadas.

4.2 - Breve revisão dos principais trabalhos com enfoque icnológico realizados na área

Netto & Gonzaga (1985) na região da Mina do Iruí em Cachoeira do Sul (RS), fizeram um estudo tentando fazer uma classificação taxonômica, etológica e toponômica para os icnofósseis das formações Rio Bonito e Palermo. Com um nível de detalhe grande, este trabalho com uma proposta inédita até então, iniciou fazendo uma classificação geral dos icnofósseis estudados, para depois dar uma interpretação paleoecológica, agrupando os icnofósseis em assembléias e fácies.

Numa seqüência vertical transgressiva, colocou-se em ordem: a) assembléia de planície de marés; b) fácies *Skolithos*; c) fácies *Cruziana*; e d) assembléia de *sand waves*. A fácies *Skolithos* ocorreria nos sedimentos mais próximos à costa, a qual daria lugar à fácies *Cruziana*, primeiro mesclando-se a ela e, depois, desaparecendo completamente.

Foi notada uma grande abundância de indivíduos e uma pouca diversidade, que segundo as autoras, estaria relacionada a grande produtividade de matéria orgânica dos oceanos, a qual quando ocorre em grande quantidade, resulta numa grande quantidade de indivíduos e pequeno número de espécies. A importância deste fator diminui quando se afasta da costa. Os fatores ambientais tornam-se inacessíveis, ocorrendo uma diminuição do tamanho dos indivíduos, tornando-se os mesmos altamente especializados e com um número mais reduzido.

A Tese de Doutorado feita por Netto (1995) constituiu-se num marco para o estudo icnológico na Bacia do Paraná. Tanto por seu quase pioneirismo, como pela riqueza de dados e interpretações, não existentes até então. Pelo fato de os dados terem sido retirados de uma área de estudo que abrange a deste trabalho, achou-se importante mostrar abaixo algumas conclusões da autora com referência à bioturbação nas unidades litoestratigráficas Rio Bonito e Palermo.

Para a bioturbação na Formação Rio Bonito, Netto (*op. cit.*) descreve escavações verticais e em forma de "U" em sedimentos arenosos, caracterizando a icnofácies *Skolithos*, sendo possível a presença de estruturas de escape quando associados a depósitos de ambientes de alta energia, como os arenitos finos com *hummocky* de antepraia (*shoreface*); e escavações horizontais, inclinadas e, de maneira escassa, verticais, pertencentes à icnofácies *Cruziana*, com ocorrência em ambientes de baixa energia, que permitem aos organismos produtores das escavações uma maior liberdade

de deslocamento. A presença destas icnofácies foi descrita, principalmente, em siltitos bem selecionados ou em pelitos interacamadados com arenitos.

Segundo a autora, a presença das icnofácies citadas acima, com ocorrências separadas ou mesmo interagindo num mesmo meio, bem como o grau de intensidade de bioturbação, indica para a porção inferior da Formação Rio Bonito, deposição em ambiente marginal-marinho, e para a maior parte dos depósitos da unidade, uma sedimentação marinha em ambiente de plataforma rasa.

Já na Formação Palermo, a bioturbação se dá de forma intensa, com predomínio da icnofácies *Cruziana*, mas podendo ocorrer associada a esta, nos níveis arenosos, a icnofácies *Skolithos*. Outro tipo de bioturbação visível, refere-se à icnofácies *Glossifungites*, que se apresenta com escavações verticais, em substratos com um certo grau de compactação (*firmgrounds*), em períodos de não-deposição, com um preenchimento posterior por material arenoso, significando uma reativação do suprimento sedimentar. No topo da unidade, foi descrito um predomínio de escavações de *Teichichnus*.

Para Netto (*op. cit.*), com base na observação da morfologia das escavações, conclui-se significativas taxas de sedimentação, condições de moderada a alta energia dominantes no meio. Também para a autora, a dominância de *Teichichnus* no topo da unidade, sem a recorrência das outras icnofácies, pode indicar um evento significativo, responsável tanto por um raseamento da bacia, como de um limite de distribuição orgânica, pois as escavações foram feitas por organismos que apresentam um caráter oportunista neste ambiente, caracterizado por pelitos com pouca matéria orgânica, entremeados com arenitos finos ricos em cimento carbonático. Estas condições não favoráveis à vida, podem indicar a possibilidade de os organismos serem originários de outros locais.

4.3 - Dados colhidos neste trabalho

De acordo com a figura 49 de Netto (1995), pode-se notar que a área média ocupada pela bioturbação na Formação Palermo, que tem sua equivalência na parte

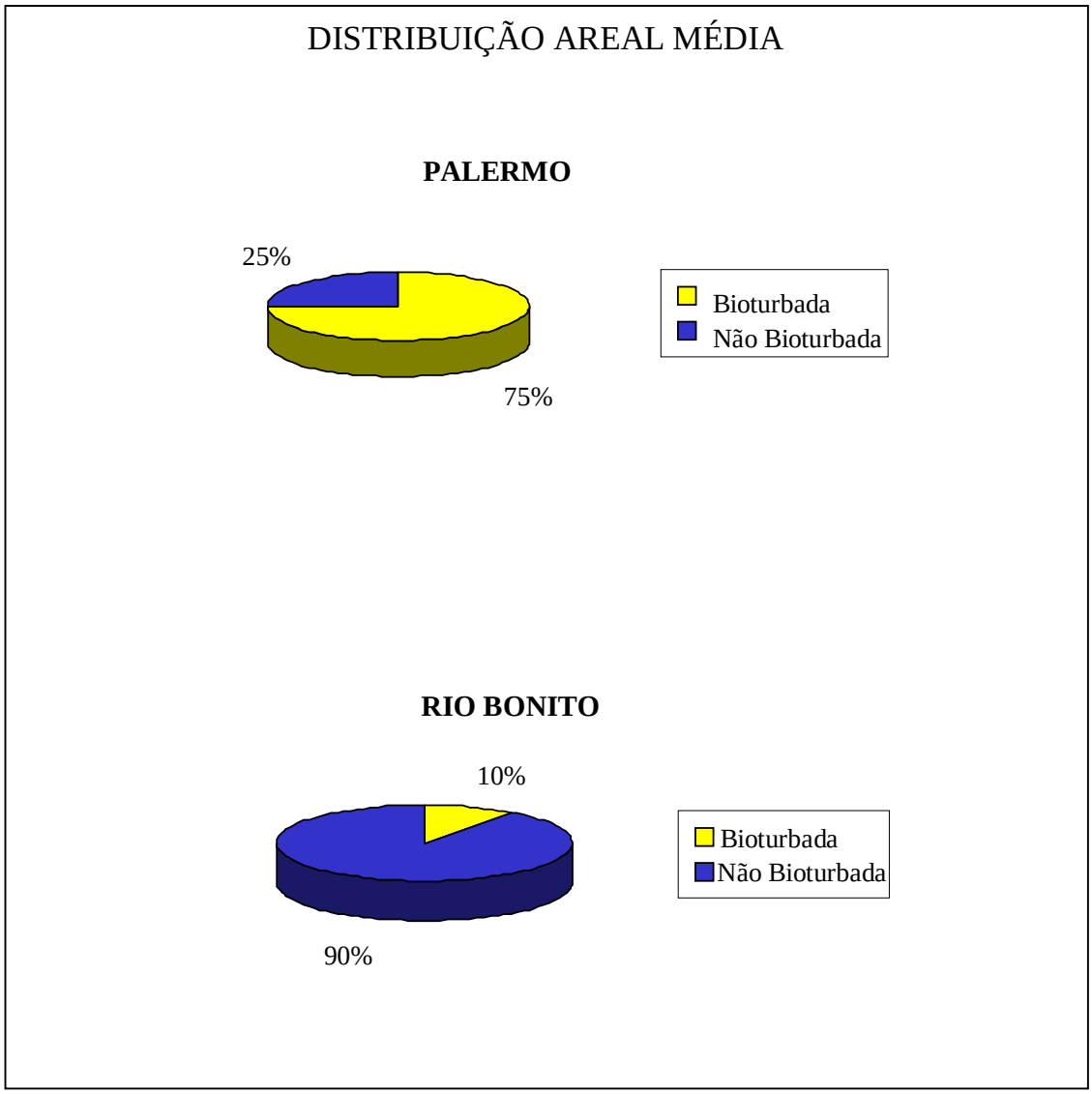


Fig. 49 - Área média ocupada pela bioturbação nas formações Palermo e Rio Bonito, conforme Netto (1995). Notar que a área média ocupada pela bioturbação na Formação Palermo, que tem sua equivalência na parte superior da Associação de Fácies VII, Associação de fácies VIII e Associação de Fácies IX, descritas na área, é bem maior que a ocupada na Formação Rio Bonito (Associação de Fácies IV, V, VI e base da Associação de Fácies VII).

superior da Associação de Fácies VII, Associação de Fácies VIII e Associação de Fácies IX descritas na área; é bem maior que a ocupada na Formação Rio Bonito (Associação de Fácies IV, V, VI e base da Associação de Fácies VII). Também se chegou a esta conclusão nos furos de sondagem analisados. Por este motivo, dá-se uma atenção maior às associações de fácies VI, VII, VIII e IX, ou seja, correspondentes, na litoestratigrafia formal, da porção intermediária à superior da Formação Rio Bonito e à Formação Palermo na sua totalidade. Fez-se isto com descrição e interpretação, ilustrando com fotos e perfis descritivos dos furos IR-153 e CA-73 (Figs. 50 e 51), nos quais é possível observar o empilhamento vertical das fácies sedimentares e, quando existentes, as respectivas bioturbações.

Para as porções basais da seqüência cabe alguns breves comentários. Verificou-se, por exemplo, nos ritmitos da Associação de Fácies II, mais precisamente no topo de alguns pulsos turbidíticos, bioturbação de caráter horizontal, com traços de deslocamento (*Repichnia*), caracterizada por rastros de espessura milimétrica, denotando um considerável grau de liberdade dos organismos produtores.

Após na base da Associação de Fácies III, início de um trato de sistemas de mar alto, como será visto no capítulo seguinte, uma camada de 1,20 metros representa uma retomada da sedimentação e um aumento de energia no sistema. Estes fatores são explicados pela análise etológica dos traços, compostos por: estruturas de escape (*Fugichnia*); *Teichichnus*, com traços de moradia e alimentação (*Domichnia* e *Fodinichnia*); e, *Skolithos* e *Diplocraterion*, com traços de moradia de organismos suspensívoros (*Domichnia*) (Fig. 52).

Na Associação de Fácies IV, tanto nas baías interdistributários como nas barras de embocadura de canais distributários, identifica-se uma interface entre as icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*.

Direcionando neste momento para as porções da seqüência sedimentar onde a bioturbação tem uma presença mais marcante, inicia-se com os icnofósseis descritos na Associação de Fácies VI. Nesta associação, a qual ocorre intercalada à Associação de Fácies V, com depósitos lagunares intercalados a depósitos praiais, verifica-se que a bioturbação encontra-se somente nestes depósitos praiais, principalmente em face da praia (*shoreface*). Olhando o perfil do furo IR-153 na figura 50, nota-se uma sucessão de ciclos com raseamento para o topo ou, em outras palavras, parasseqüências que

Fig. 50 - Perfil descritivo do furo de sondagem IR-153, onde além de se poder visualizar o empilhamento vertical das fácies sedimentares, pode-se analisar o modo como se sucedem as icnofácies.

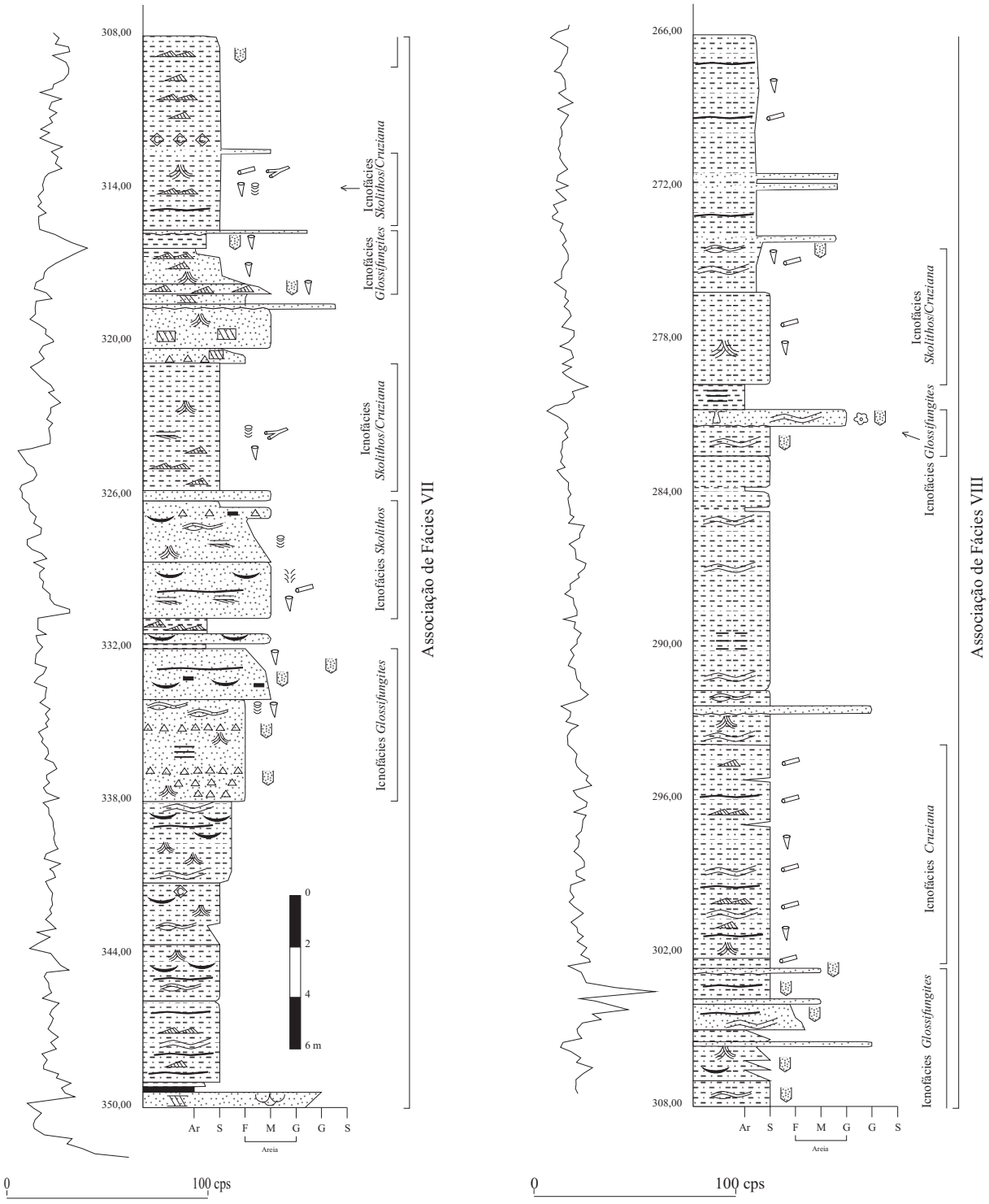


Fig. 51- Perfil descrito de parte do furo de sondagem CA-73, ilustrando o empilhamento vertical das fácies sedimentares, bem como os icnofósseis presentes. Também se visualiza a maneira como se sucedem as icnofácies nesta porção da sucessão sedimentar.

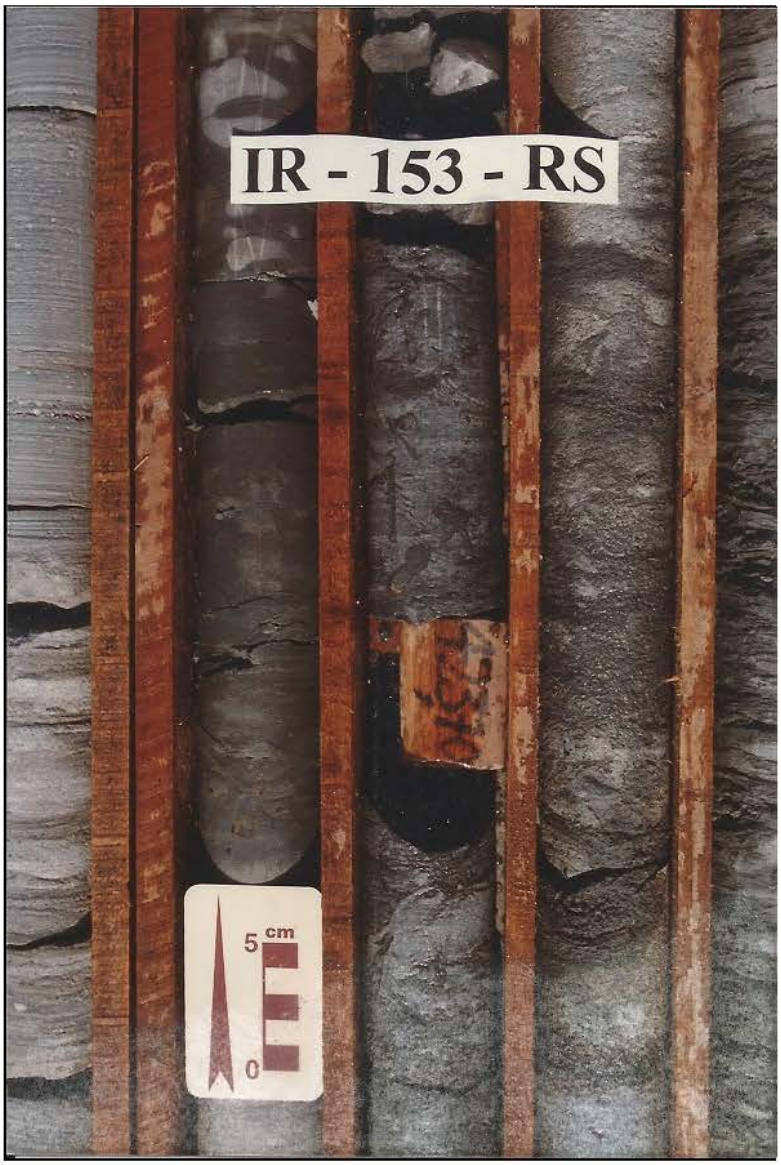


Fig. 52 - Icnofósseis descritos na base da Associação de Fácies III. Estruturas de escape, *Teichichnus*, *Skolithos* e *Diplocraterion*; com localização no furo de sondagem IR-153 (prof. 423,70).

apresentam para os seus topos condições para a formação de turfeiras, e, assim, condições não favoráveis à vida, com pouca oxigenação devido a grande quantidade de matéria orgânica em decomposição. Por outro lado, eventos de inundação destas turfeiras trazem para cima das mesmas, sedimentos praiais e de plataforma, que se caracterizam por sedimentos retrabalhados por ondas e tempestades, em meios com suprimento alimentar, oxigenação e energia, que possibilitam, principalmente, a ocupação do substrato por organismos produtores das estruturas de bioturbação pertencentes à icnofácies *Skolithos*. Estando este fato, ilustrado no perfil da figura 50, nas profundidades aproximadas de 340 e 332 metros, através de um domínio dos icnogêneros *Skolithos* e *Diplocraterion*, caracterizadores desta icnofácies, além de estruturas de escape. No furo de sondagem CA-72, mais precisamente na litofácies de arenitos com laminação cruzada *hummocky*, visualiza-se uma estrutura de escape mostrando bem as altas taxas de sedimentação do ambiente (Fig. 53).

Já a Associação de Fácies VII, apresenta um grau de bioturbação mais forte. Nos arenitos interacamadados com pelitos, nota-se a predominância de ocorrência das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*, respectivamente (Figs. 54a e b). O ambiente de planícies de marés interpretado para esta associação, com a intercalação dos subambientes de planície arenosa, mista e lamosa, tem na caracterização das icnofácies exatamente um reflexo destas variantes de energia e tipo de substrato.

Nos arenitos das planícies arenosas, nota-se um domínio da icnofácies *Skolithos*, com: *Diplocraterion* (Fig. 55), *Skolithos* e estruturas de escape. Se analisarmos os furos de sondagens IR-153 e CA-73 (Figs. 50 e 51), bem como a litofácies de pelitos com *wavy* e *linsen* descrita na Mina da Cascatinha, nota-se que além da icnofácies *Skolithos* há um domínio também em certas porções mais arenosas da icnofácies *Glossifungites* (Fig. 56a e b), que encerra ciclos de raseamento para o topo numa quarta ordem de grandeza, ou seja, demarca o limite superior de parasseqüências, através de uma superfície de inundação. De modo geral, pode-se visualizar, da base para o topo, em uma gradativa transgressão marinha, os depósitos da planície de marés com *Skolithos*, passando para uma interface *Skolithos*/*Cruziana*.

Na mina da Cascatinha, em uma excursão de campo pertencente à programação do *Workshop* em Paleoicnologia realizado na UNISINOS em 1997, teve-se a oportunidade de visualizar nas barras arenosas, ou formas de leito 2D, a presença do

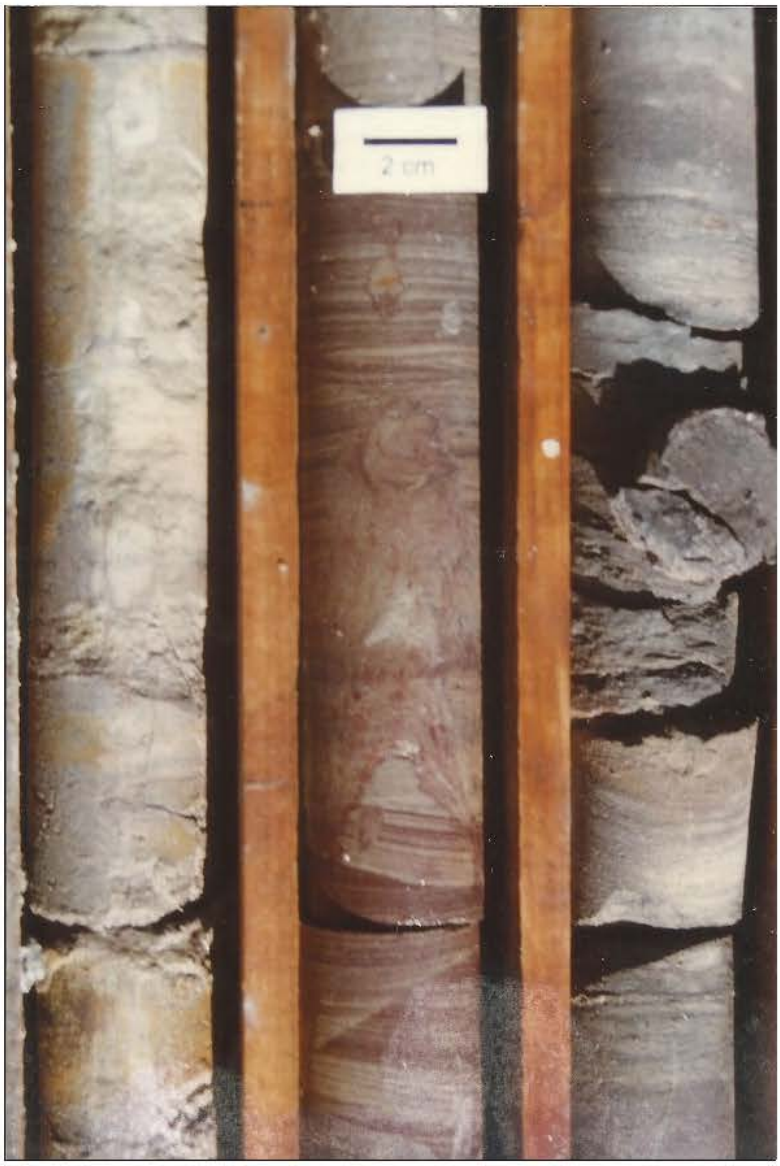


Fig. 53 - Estrutura de escape identificada nos arenitos com laminação cruzada *hummocky* da Associação de Fácies VI no furo de sondagem CA-72 (prof. 181,45). Esta estrutura evidência altas taxas de sedimentação para o ambiente.

(a)

(b)

Fig. 54 - Icnofósseis descritos na Associação de Fácies VII. Nos arenitos interacamadados com pelitos, nota-se a predominância das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*, respectivamente. a) Furo de sondagem CA-72. b) Furo de sondagem CA-73.

Fig. 55 - Exemplo do icnofóssil *Diplocraterion* pertencente à icnofácies *Skolithos*, descrito nos arenitos de planície arenosa (*sand flat*) da Associação de Fácies VII. Localização: furo de sondagem CA-73 (prof. 332,00).

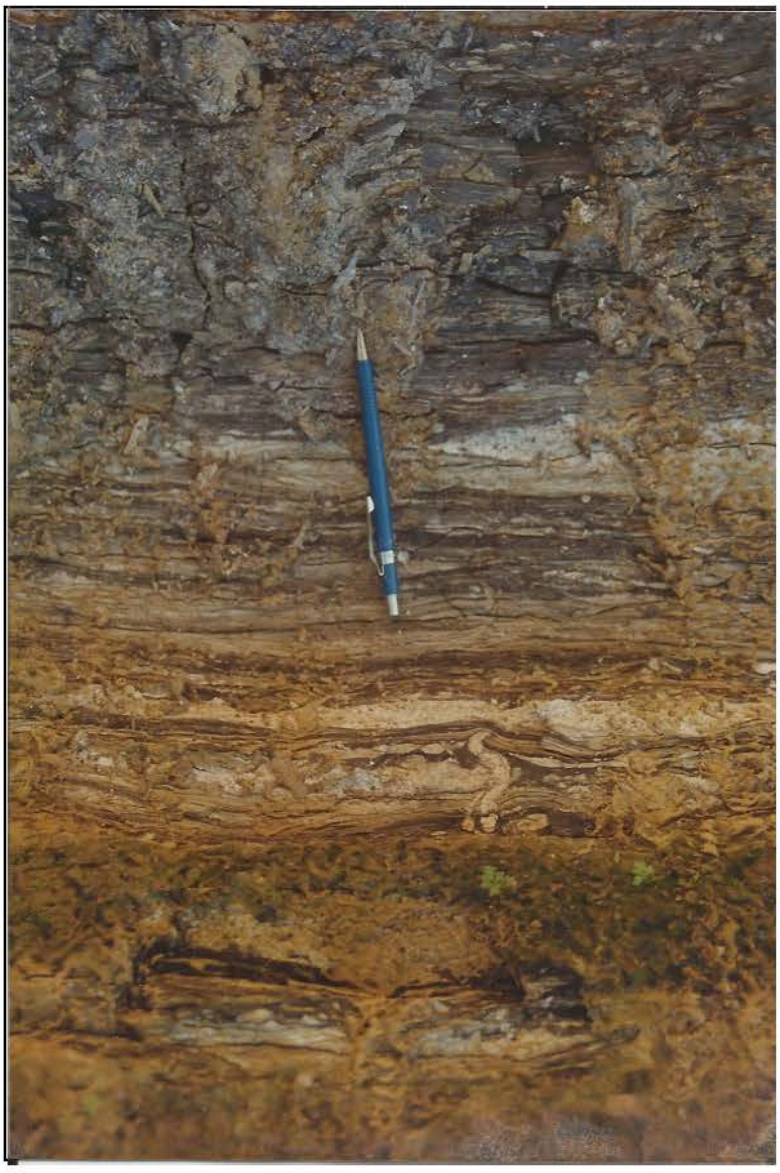


Fig. 56 - Exemplo da icnofácies *Glossifungites* nos pelitos com *wavy* e *linsen* descritos na Mina da Cascatinha.

icnogênero *Ophiomorpha* que pode indicar formação destes depósitos em um ambiente influenciado por maré. Também neste afloramento, foi analisada a presença de "*hardgrounds*" bioturbados na base destas barras, com destaque para a presença dos icnogêneros *Gordia*, *Planolites* e *Thalassinoides*, como descrito por Netto (1995). A figura 57 mostra um "*hardground*" bioturbado, com destaque para escavações de tendência horizontal, realizadas provavelmente pelo icnogênero *Palaeophycus*. Estes "*hardgrounds*", segundo Netto (*op. cit.*), significam paradas deposicionais.

A bioturbação na base da Associação de Fácies VIII, mostra-se caracterizada pela presença da icnofácies *Glossifungites* (Fig. 58) nos furos CA-72, CA-73, CA-74, IR-153 e IR-213; revelando uma superfície de inundação antecedente aos depósitos de costa-afora que sucedem os de planícies de marés.

Nestes depósitos de costa-afora, descreve-se a predominância da icnofácies *Cruziana* nas litofácies mais pelíticas da Associação de Fácies VIII, ficando para as barras de costa-afora, uma visível interface das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*, com ocorrência freqüente das icnofácies com *spreiten* (*Diplocraterion* e *Teichichnus*), bem como de eventuais estruturas de escape, que denotam taxas consideráveis de energia, o que se coloca coerente, se lembrarmos das estruturas do tipo *hummocky* que ocorrem nestes depósitos, que podem representam episódios de tempestades.

A análise icnológica empreendida, considerando o intervalo estudado, termina na Associação de Fácies IX com um predomínio do icnogênero *Teichichnus* (Fig. 59a e b), fato que por ter sido também verificado nos demais furos descritos neste trabalho, merece uma atenção especial.

Na passagem da Associação de Fácies VIII para IX, nota-se uma inversão de predomínio entre as litologias pelíticas e sílticas. O predomínio que existia de pelitos na Associação de Fácies VIII, passa a não ser mais verificado, dominando neste momento a litologia síltica a arenítica fina. Assim como no capítulo anterior já se denunciava uma reativação da sedimentação, com a presença destas frações mais grossas de sedimentos, as informações advindas da caracterização icnológica vêm reforçar esta idéia. Por exemplo, a presença de *spreiten* retrusivos em abundância (Fig. 59b), significativos de um domínio das taxas de sedimentação em zonas mais rasas.

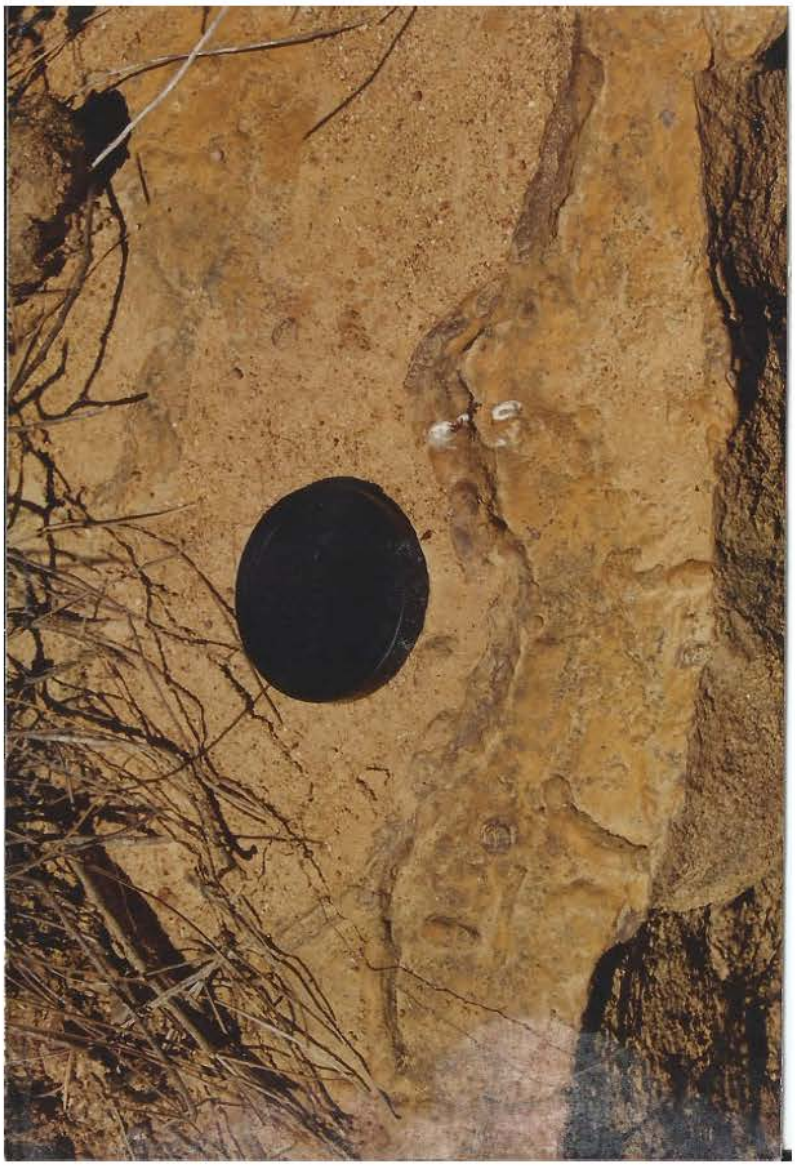


Fig. 57 - Exemplo de um "*hardground*" bioturbado (Netto, 1995), com destaque para escavações de tendência horizontal, realizadas provavelmente pelo icnogênero *Palaeophycus*. Localização: Bloco rolado na Mina da Cascatinha.

Fig. 58 - Exemplo da icnofácies *Glossifungites* descrita na base da Associação de Fácies VIII no furo de sondagem IR-153 (prof. 244,20 a 244,55).

(a)

(b)

Fig. 59 - Exemplo de ocorrência do icnogênero *Teichichnus* na Associação de Fácies IX. a) Visão geral da litofácies de arenitos finos e pelitos da Associação de Fácies IX, com alto grau de bioturbação por *Teichichnus*. b) Detalhe dos *spreiten* retrusivos em abundância, significativos de um domínio das taxas de sedimentação sobre erosão.

Corroborando a interpretação de Netto (1995), a notável não recorrência de outras icnofácies, somadas a condições não muito favoráveis, como a pouca quantidade de matéria orgânica e altos níveis de energia do ambiente, sugerem que estes organismos produtores das escavações descritas tiveram um caráter oportunista neste ambiente. Com isto colocado, tira-se a conclusão de que, embora as estruturas sedimentares estejam muito mascaradas pela bioturbação e que sejam desconhecidos os produtores das escavações *Teichichnus*, impossibilitando uma idéia melhor com relação a parâmetros ambientais; pelo modo de ocorrência verificado em todos os furos analisados, torna-se necessário que mais estudos sejam realizados, aumentando o detalhe da observação, além de se fazer estudos em outras áreas da bacia.

4.4 - Principais Conclusões

O estudo dos icnofósseis acrescentou informações importantes para um melhor entendimento da distribuição física dos paleoambientes deposicionais, ajudando a demarcar nos furos de sondagem analisados suas áreas de domínio.

Tornou-se possível verificar, por exemplo, a pouca atividade biogênica nos depósitos da Associação de Fácies I, II e III, correspondentes na nomenclatura formal à unidade Itararé, ficando restrita a rastros nos ritmitos da Associação de Fácies II e nos icnofósseis encontrados na base da Associação de Fácies III.

Subindo na seqüência sedimentar, notou-se que para os depósitos da Associação de Fácies IV, a bioturbação caracterizou-se por uma interface entre as icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*, em depósitos de frente deltaica e baías interdistributários, estando ausente nos canais.

Já para as associações V e VI intercaladas, ausência de bioturbação na primeira, por estar formada por depósitos lagunares com turfeiras e camadas de carvão, componentes de um meio pouco oxigenado, não favorável à vida; e, na segunda, ocorrência eventual da icnofácies *Skolithos* em depósitos de face da praia.

Um grau de bioturbação mais forte, foi encontrado na Associação de Fácies VII, onde o ambiente de planícies de marés interpretado para esta associação, com a intercalação dos subambientes de planície arenosa, mista e lamosa, condicionava a ocorrência das icnofácies. Nos arenitos das planícies arenosas, notou-se um domínio da

icnofácies *Skolithos* e da icnofácies *Glossifungites*, a qual aparecia demarcando o topo de ciclos de raseamento para o topo. Esta relação muda da porção intermediária para o topo da associação, onde notou-se a interface *Skolithos*/*Cruziana* nas porções de planície mista e lamosa.

Ao iniciar com a icnofácies *Glossifungites*, a Associação de Fácies VIII revela uma superfície de inundação, que separa os depósitos de costa-afora dos de planícies de marés da associação anterior, o que demonstra um incremento da transgressão marinha na seqüência sedimentar. Nestes depósitos de costa-afora, especialmente nas litofácies mais pelíticas, onde as taxas de energia e sedimentação do meio são baixas, encontrou-se a icnofácies *Cruziana*. Este predomínio já não fica tão evidente, quando se observa as barras de costa-afora, onde visualiza-se uma interface das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*.

Encerrando a seqüência sedimentar analisada, a Associação de Fácies IX apresentou um predomínio do icnogênero *Teichichnus*, com a não recorrência de outros. Este fato aliado a outras evidências, como: a pouca quantidade de matéria orgânica e altos níveis de energia do ambiente, denunciados pela presença de *spreiten* retrusivos; significam um meio agitado e com maiores taxas de sedimentação, se comparado com a situação encontrada na associação de fácies anterior. Esta reativação na sedimentação, aqui denunciada, é de grande importância para a interpretação da parte superior do arcabouço estratigráfico, conforme será visto no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 5

ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIAS

O capítulo que se inicia se utiliza dos subsídios oferecidos pelos dois capítulos anteriores, para oferecer uma interpretação estratigráfica para a área estudada. Como já salientado, o uso da Estratigrafia de Seqüências como ferramenta de trabalho, oferece como resultado um arcabouço cronoestratigráfico, ou seja, um arcabouço espaço-tempo. A área estudada está inserida na Bacia do Paraná, uma bacia do tipo intracontinental, o que caracteriza uma situação especial para a aplicação dos pressupostos teóricos da Estratigrafia de Seqüências, já que os conceitos surgiram para bacias de margem continental. Por outro lado, percebe-se que no Permiano a bacia em questão possuía ligação com o mar por oeste, conforme Northfleet *et al*. (1969), tendo influência das variações do nível do mar, se não diretas, muito importantes no desenvolvimento dos seus sistemas deposicionais.

A conclusão a que chegaram Posamentier & James (1993) de que não se pode ter a Estratigrafia de Seqüências como um padrão a ser seguido, e sim como uma ferramenta de trabalho, é fortalecida mais uma vez neste trabalho, pois características próprias e o contexto de borda de bacia são variações existentes aqui.

Della Fávera (1995) salienta algumas características importantes da bacia estudada, como: dimensões excepcionalmente grandes, rampas com mergulho muito suave, linhas de tempo praticamente horizontais, e como salienta Lindsay *et al*. (1993), para este tipo de bacia: baixas taxas de subsidência e diminutas lâminas d'água.

Sendo assim, far-se-á o desenvolvimento e registro das interpretações obtidas nas seções de correlação, começando na apresentação das superfícies-chave identificadas, em seguida, numa ordem hierárquica, as seqüências, tratos de sistemas e parasseqüências (seqüências II e III). Porém, antes de começar, cabe uma explicação para a escolha do posicionamento do *datum*.

Tratando-se do primeiro passo a ser dado para a elaboração de uma seção de correlação, a escolha deste horizonte de referência iniciou com a procura nos perfis

raios-gama dos furos de sondagem analisados, de um pico de maior radioatividade correlacionável nestes perfis, com o objetivo de obter uma superfície isócrona através da área. O alvo principal foi a porção da coluna sedimentar constituída pelas associações de fácies VII, VIII e IX, correspondentes à Formação Palermo na litoestratigrafia formal. Esta procura foi dificultada pela forma das curvas de raios-gama, muitas vezes sem um *trend* visível, visto que esta porção da seqüência sedimentar é essencialmente pelítica, com alto conteúdo argiloso, e, assim, com os picos da curva de raios-gama marcando radioatividade semelhante.

Por outro lado, a análise da testemunhagem ofereceu dados que fortaleceram a escolha de uma superfície, que localizada entre as associações de fácies VIII e IX, foi escolhida como *datum* para as seções de correlação. Marcando o contato entre os pelitos e arenitos de costa-afora e os arenitos finos e siltitos com *Teichichnus* de face da praia inferior, representa no arcabouço que será apresentado adiante, uma superfície de inundação máxima. O posicionamento da mesma nos perfis, deu-se na quebra das curvas, ainda que suave, aparece materializada no pico mais radioativo, separando uma tendência de deflexão ascendente à direita, para ascendente à esquerda.

5.1 - Superfícies-Chave

Estas superfícies são imprescindíveis para se chegar ao objetivo de elaborar um arcabouço estratigráfico. Representam limites de seqüências, através das discordâncias; ou superfícies transgressivas e superfícies de inundação máxima, através das descontinuidades no registro geradas pelas superfícies de inundação marinha.

As figuras 60, 61, 62, 63 e 64 das seções de correlação *Strike* 1 e 2 e *Dip* 1, 2 e 3; mostram as superfícies identificadas neste trabalho, as quais delimitam os tratos de sistemas e as seqüências, constituintes do arcabouço.

Na base do pacote sedimentar estudado, identificou-se a primeira superfície cronoestratigraficamente significativa, tratando-se na área do contato direto entre as rochas sedimentares e o embasamento cristalino, ou com rochas sedimentares eo-paleozóicas da Bacia do Camaquã, como visualizado no afloramento do Cerro Coroado (Fig. 65). Esta discordância foi denominada **Limite de Seqüência 1 (LS1)**.

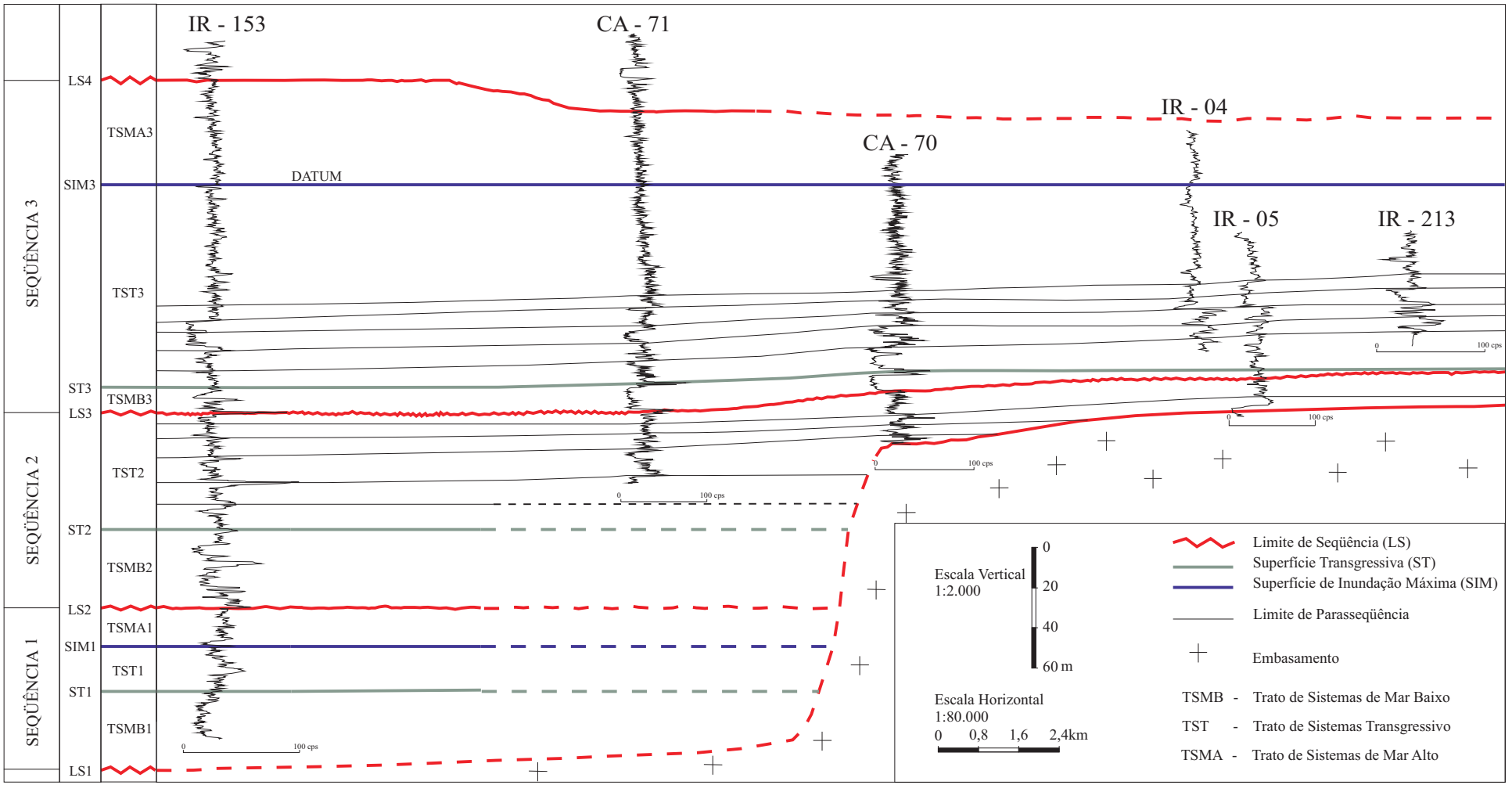


Fig. 60 - Representação das Superfícies-Chave identificadas na seção de correlação *Dip* 1.

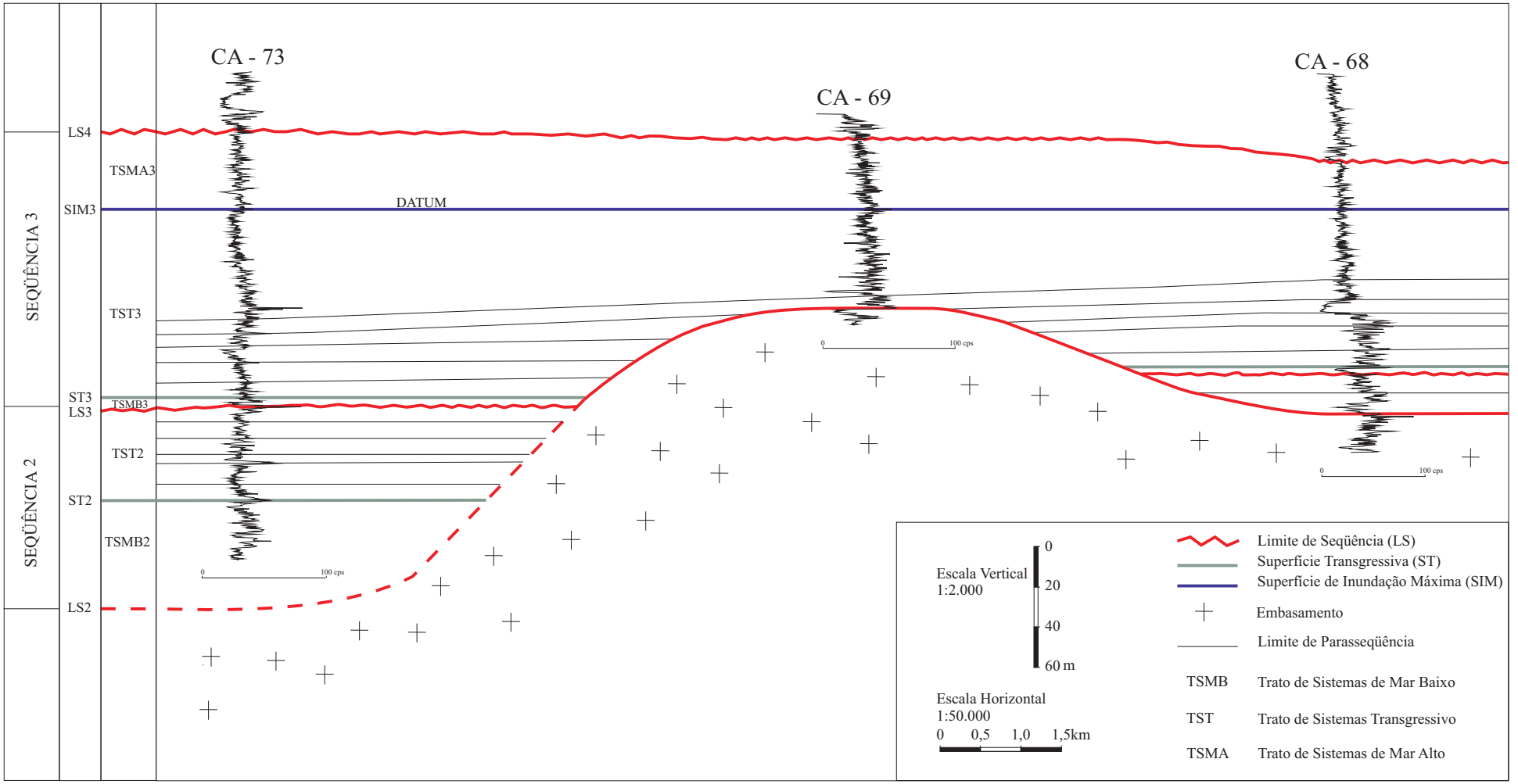


Fig. 61 - Representação das Superfícies-Chave identificadas na seção de correlação *Dip* 2.

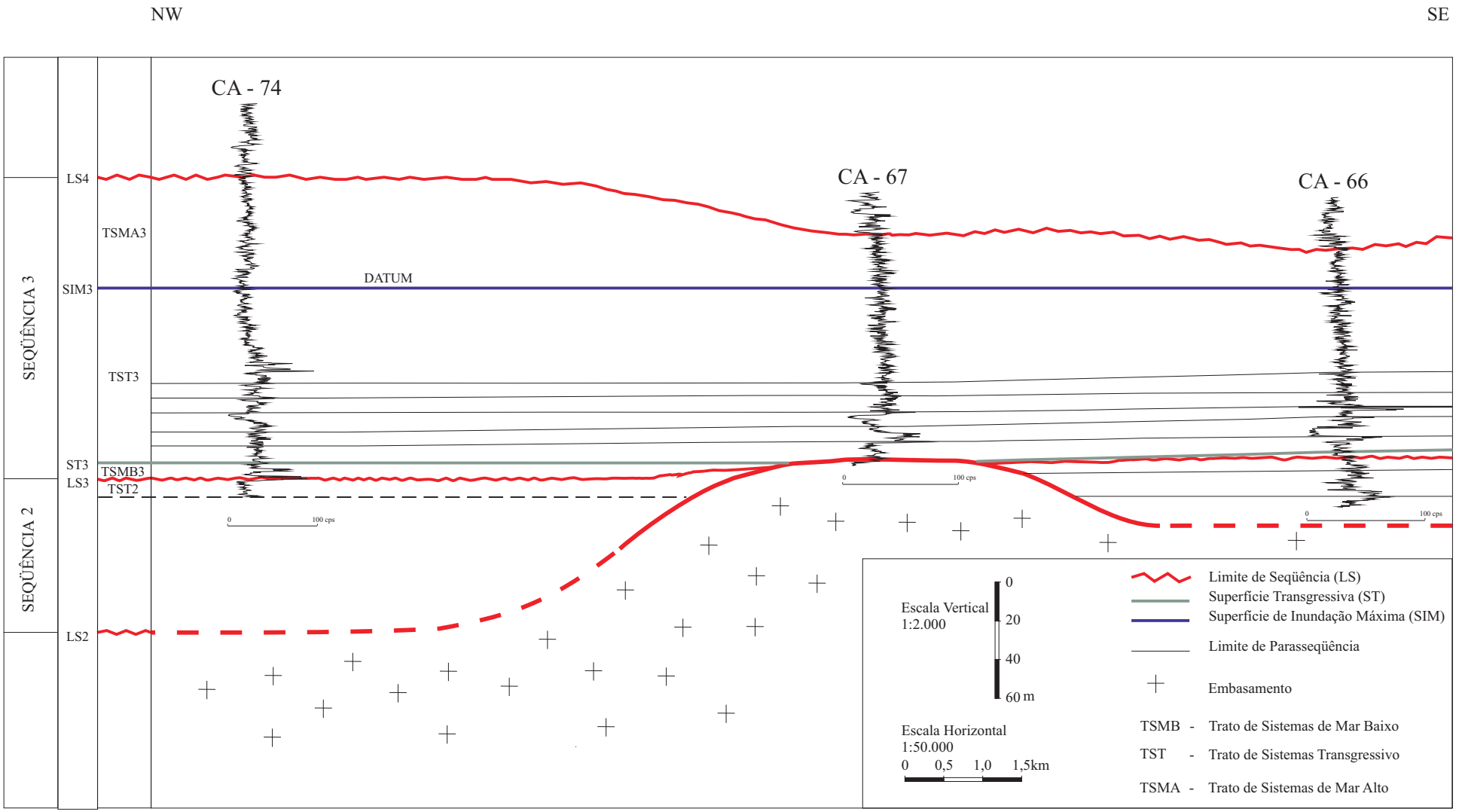


Fig. 62 - Representação das Superfícies-Chave identificadas na seção de correlação *Dip* 3.

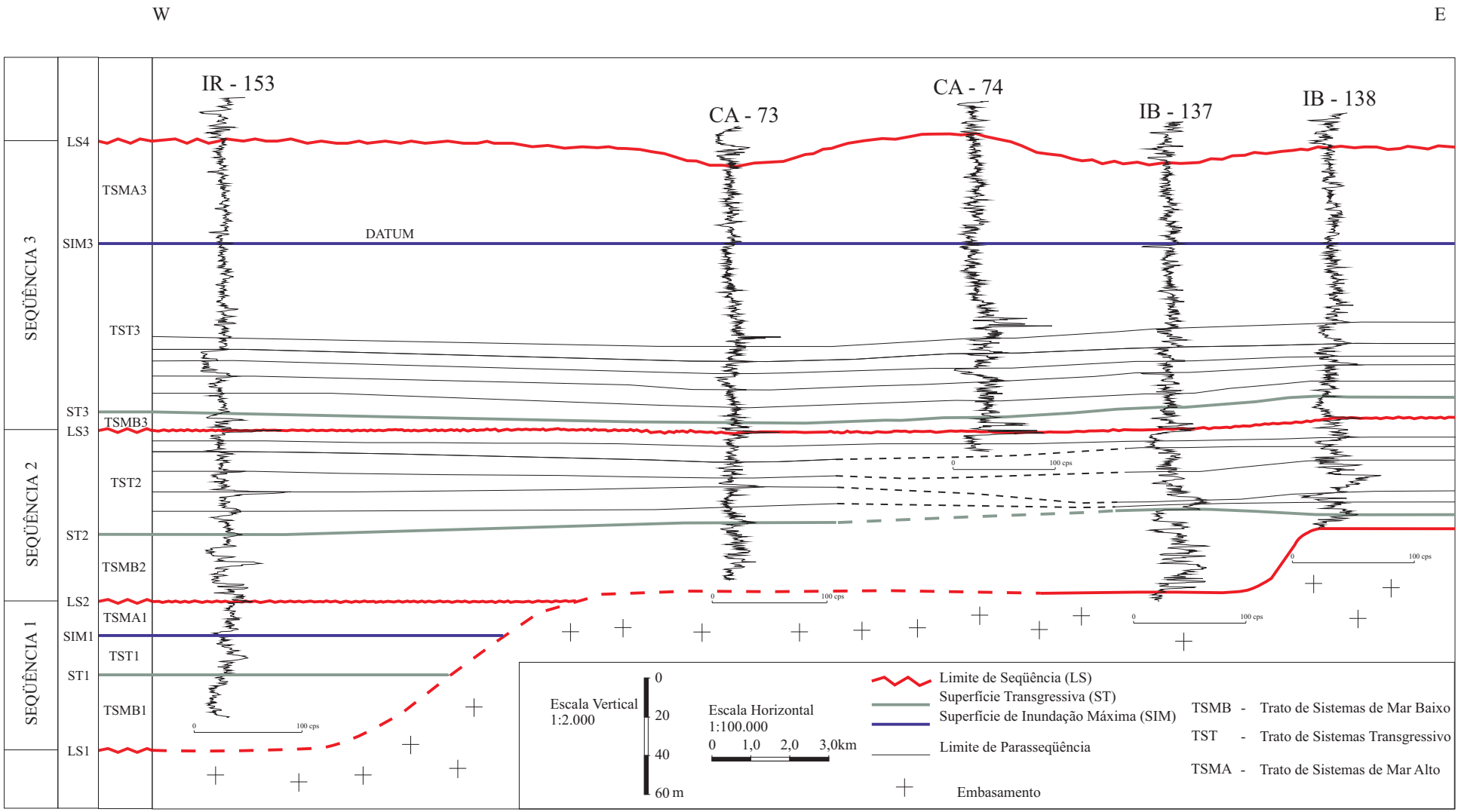


Fig. 63 - Representação das Superfícies-Chave identificadas na seção de correlação *Strike* 1.

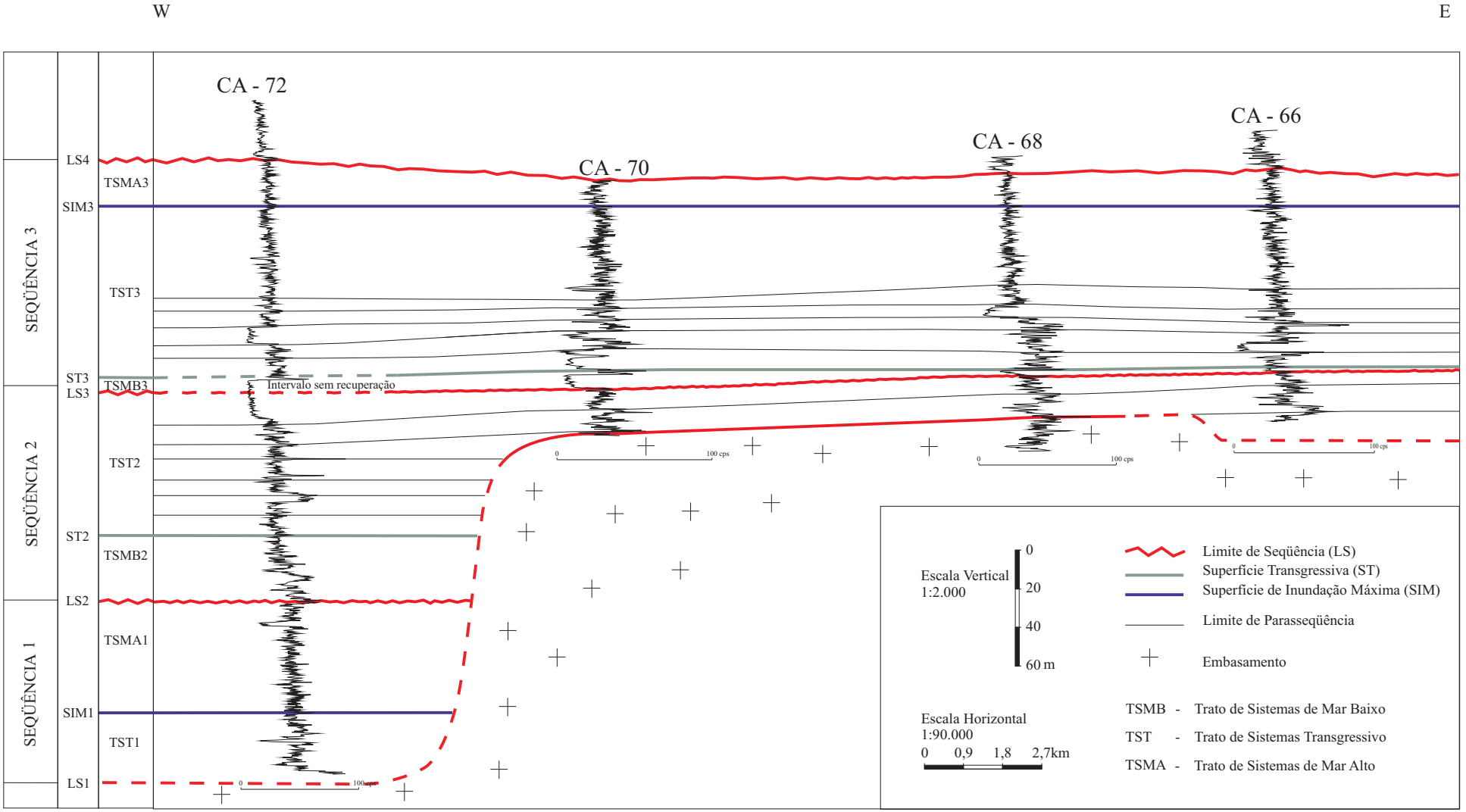


Fig. 64 - Representação das Superfícies-Chave na seção de correlação *Strike* 2.

A segunda superfície descrita é uma superfície de inundação marinha caracterizada pela entrada de diamictitios e turbiditos distais sobre os arenitos glácio-fluviais da Associação de Fácies I, representando uma brusca mudança litológica. No arcabouço, representa então, uma superfície transgressiva separando um trato de sistemas de mar baixo, de um trato de sistemas transgressivo subseqüente, denominando-se, assim, **Superfície Transgressiva 1 (ST1)**.

Este trato de sistemas transgressivo, citado no parágrafo anterior, teria um desenvolvimento até um máximo transgressivo, estando aí situada mais uma superfície que se descreve. Trata-se de uma superfície de inundação máxima, denominada **Superfície de Inundação Máxima 1 (SIM1)**, que antecede uma reativação da sedimentação, caracterizada pelos arenitos da base da Associação de Fácies III, seguidos por uma sedimentação agradacional de pelitos e arenitos finos marinhos, os quais constituem um trato de sistemas de mar alto, como será visto em item específico adiante.

A seguir, ao se notar um significativo deslocamento faciológico (*basinward shift in facies*), produto de um rebaixamento do nível do mar, descreve-se um contato discordante, o qual recebe a designação de **Limite de Seqüência 2 (LS2)**. Este contato é de fácil demarcação quando analisado nos testemunhos de sondagem, estando materializado também pelo visível contraste litológico com os arenitos flúvio-deltaicos da Associação de Fácies IV, sobrepostos aos pelitos e arenitos finos marinhos da Associação de Fácies III, conforme pode-se observar em foto do furo de sondagem IR-153 (Fig. 66).

Também de fácil demarcação em testemunho, é a passagem destes arenitos flúvio-deltaicos para pelitos com *wavy-linsen* e siltitos com microlaminação cruzada ondulada, *flasers* e *drapes* de argila preta, representando uma inundação marinha progressiva deste sistema deposicional flúvio-deltaico, estabelecendo-se, primeiramente, um sistema estuarino ainda condicionado pela paleodepressão situada a oeste da área, mais precisamente com orientação SW-NE; e, depois, um sistema de ilhas de barreira ou cordões litorâneos e lagunas. Esta superfície, em testemunho, é identificada num nível argiloso, o qual corresponde na curva de raio-gama, a um pico com alto valor de CPS (choques por segundo). Assim, para o arcabouço, designou-se esta superfície como **Superfície Transgressiva 2 (ST2)**.

Fig. 65 - Na foto acima, pode-se visualizar um exemplo de ocorrência do Limite de Seqüência 1 (LS1), através do contato discordante entre os tilitos basais da Associação de Fácies I e os sedimentitos eo-paleozóicos da Bacia do Camaquã, no Cerro Coroado.

Fig. 66 - Na foto ao lado, verifica-se um exemplo do Limite de Seqüência 2 (LS2) de fácil identificação pelo visível contraste litológico, onde os arenitos flúvio-deltaicos da Associação de Fácies IV, estão sobrepostos com caráter erosivo nos pelitos e arenitos finos da Associação de Fácies III. Localização: Furo de Sondagem IR-153 (prof. 407,00).

A próxima superfície trata-se de uma discordância, resultado de um novo rebaixamento do nível do mar, o qual provoca um deslocamento faciológico em direção à bacia (*basinward shift in facies*), denunciado pela presença de sedimentos flúvio-deltaicos da Associação de Fácies IV, sobrepostos aos arenitos marinhos rasos da Associação de Fácies VI. Esta superfície é designada **Limite de Seqüência 3 (LS3)** e foi identificada nos perfis antes do início de um padrão de curva "sino Invertido", ou com picos limpos (baixa argilosidade); enquanto que nos testemunhos, a presença destes arenitos de ambiente flúvio-deltaico, com base erosiva nos sedimentos subjacentes e presença de fragmentos de pelitos carbonosos, contribuíram para a descrição e interpretação desta discordância.

Após este padrão de "sino invertido" e de picos com valores mínimos da curva de raio-gama, é passível de ser correlacionada ao longo das seções, uma superfície que antecede um incremento na lâmina d'água. Este incremento é verificado com as litofácies ligadas a planícies de marés, ou às ligadas ao contexto marinho raso, como em ilhas de barreira ou cordões litorâneos, justapondo-se nos sedimentos deltaicos da Associação de Fácies IV. Assim, caracteriza-se uma nova superfície de inundação marinha, designada **Superfície Transgressiva 3 (ST3)**.

Constituindo-se na superfície que foi adotada como *datum* das seções de correlação, a **Superfície de Inundação Máxima 3 (SIM3)** foi marcada, como salientado antes, entre as associações de fácies VIII e IX, no pico de maior valor em radioatividade na curva de raio-gama, que, em testemunho, revela-se em um nível argiloso de coloração esverdeada.

A última superfície descrita materializa o contato entre os arenitos finos e siltitos com *Teichichnus* de face da praia inferior da Associação de Fácies IX, com brechas calcáreas pertencentes à base da Formação Irati, estando assim fora do intervalo estratigráfico estudado. Estas brechas, com as feições de retrabalhamento e exposição subaérea verificadas, provavelmente denunciam uma nova queda eustática; características estas, também realçadas por Holz (1995). Assim, interpreta-se esta superfície como um limite de seqüência, designado **Limite de Seqüência 4 (LS4)**.

Com esta última superfície-chave descrita, fecha-se as superfícies cronoestratigraficamente significativas para o arcabouço de 3ª ordem que se tenta interpretar. Sendo assim, parte-se agora para a apresentação das seqüências identificadas e respectivos tratos de sistemas.

5.2 - Arcabouço Cronoestratigráfico

Constituindo-se no objetivo principal deste trabalho, a elaboração de um arcabouço cronoestratigráfico seguiu uma série de etapas para que se chegasse a este momento.

A caracterização da faciologia sedimentar e a análise icnológica, contribuíram para o conhecimento do preenchimento de parte da zona de borda da bacia estudada. A abordagem feita no item precedente, a respeito das descontinuidades do registro verificadas (superfícies-chave), deram o passo definitivo para a apresentação do arcabouço cronoestratigráfico para a área de estudo. Através das figuras 67, 68, 69, 70 e 71, nas quais são apresentadas as seções de correlação *Dip*1, *Dip*2, *Dip*3, *Strike*1 e *Strike*2, ilustra-se este arcabouço com o mapeamento de suas seqüências 1, 2 e 3 e respectivos tratos de sistemas.

5.3 - Hierarquia das seqüências mapeadas

Freqüentemente, costuma-se vincular a ordem de grandeza ou magnitude das seqüências deposicionais ao tempo de duração dos ciclos eustáticos, o que não se faz diferente neste trabalho. Como salientado no Capítulo 1, escolheu-se o tempo de duração das ordens conforme Vail *et. al*. (1991), mostrado na figura 5.

Neste momento, surge um problema com respeito à resolução bioestratigráfica. A existência de uma baixa resolução (a nível de andar), baseada em palinomorfos (conforme Daemon & Quadros, 1970; Daemon & Marques-Toigo, 1991), dificulta uma noção mais exata do tempo decorrido para a geração das seqüências. Assim, o que se verifica nestes trabalhos é uma resolução da ordem de 8 milhões de anos, correspondente na escala dos ciclos de Vail *et. al*. (*op. cit*.) aos eventos de segunda ordem.

Por outro lado, a correspondência existente com as unidades litoestratigráficas formais: Grupo Itararé, Formação Rio Bonito e Formação Palermo, pode dar uma idéia deste tempo decorrido, visto que existem datações que colocam o intervalo de formação destas unidades, entre o Artinskiano/Sakmariano (conforme Dias, 1993) e a base do Wordiano (conforme Marques-Toigo, 1988), compreendendo aproximadamente 17

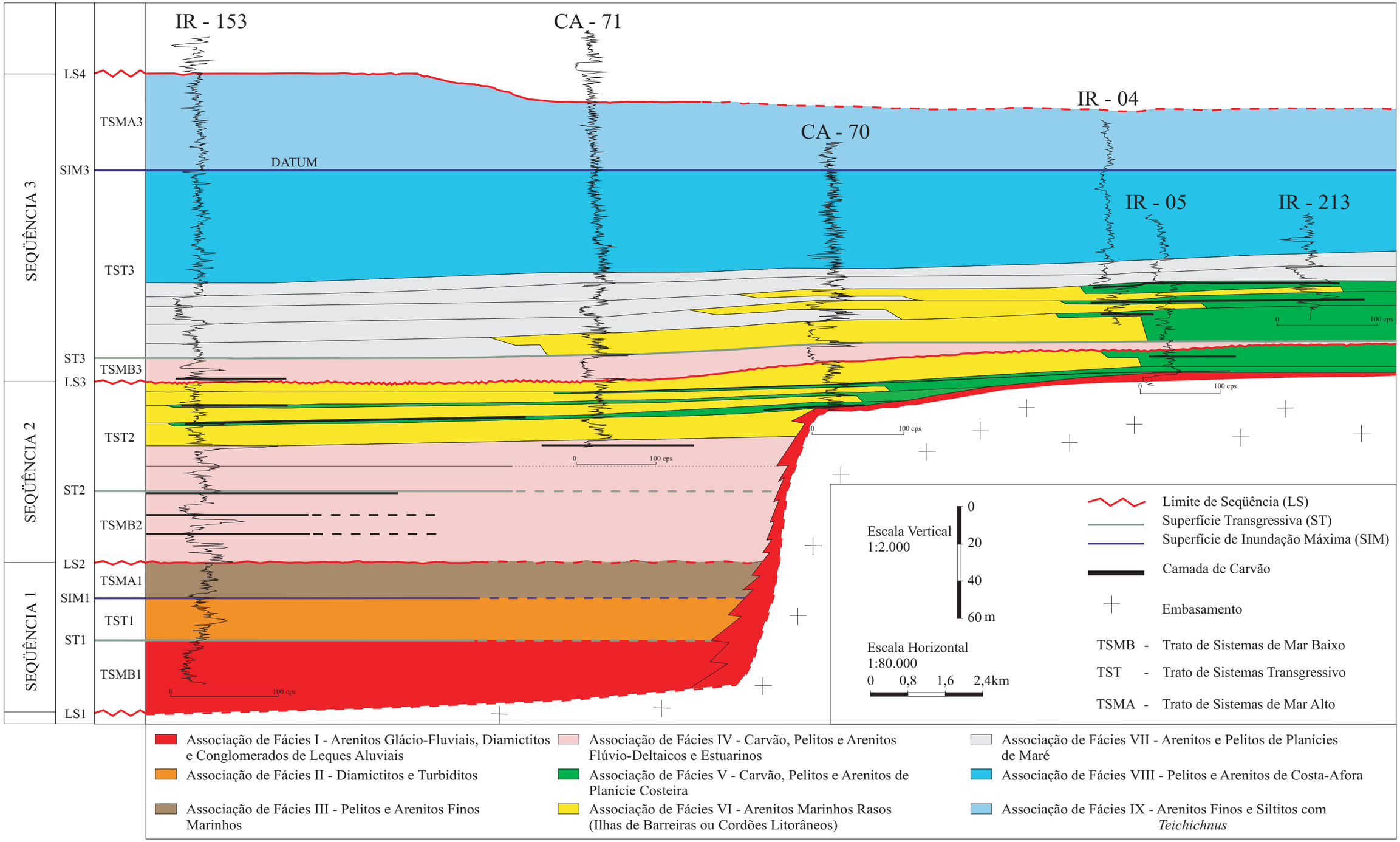


Fig. 67 - Seção de correlação *Dip* 1, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistemas.

NW SE

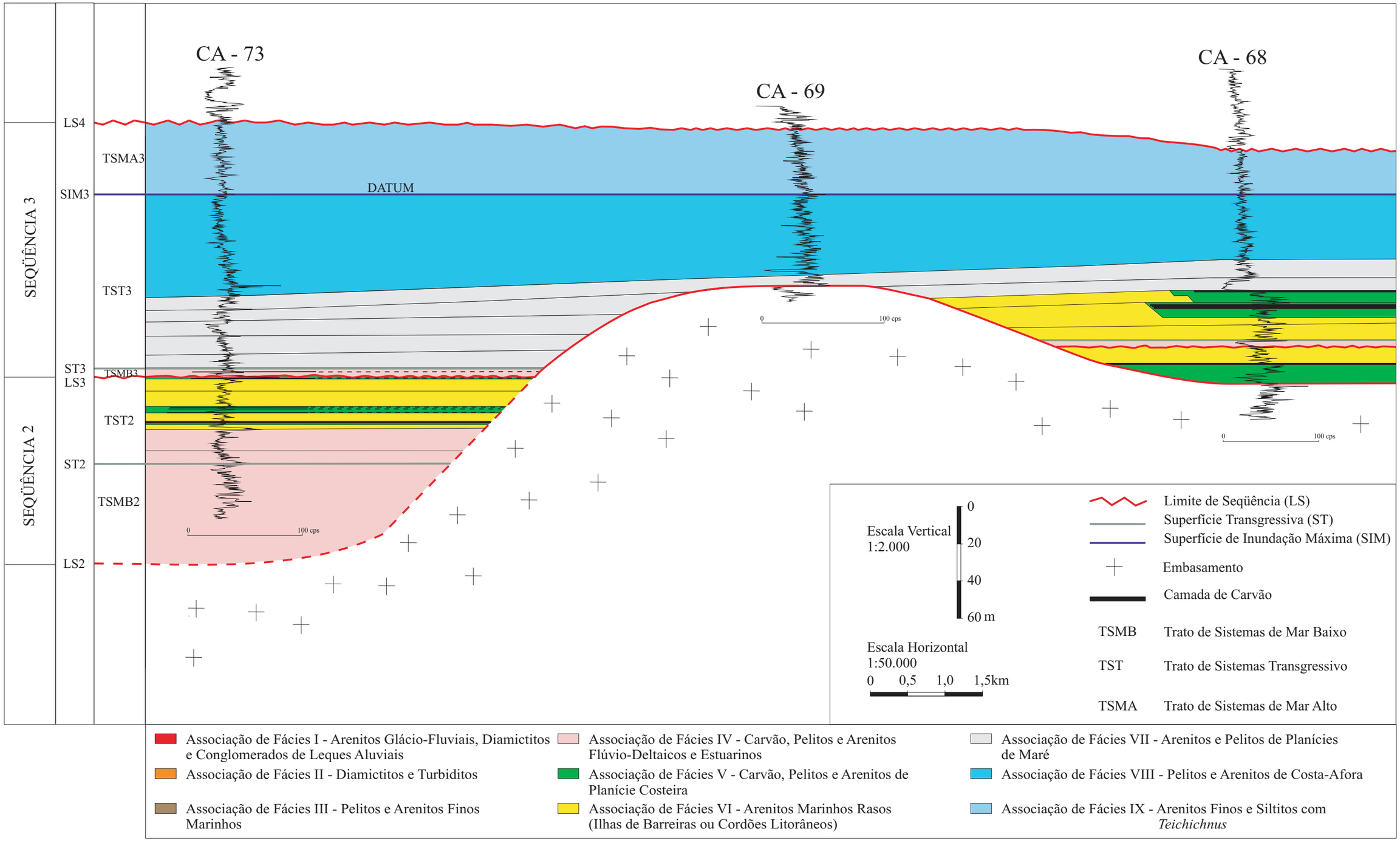


Fig. 68 - Seção de Correlação *Dip* 2, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistemas.

NW SE

CA - 74 CA - 67 CA - 66

LS4
TSMA3
DATUM
SIM3
TST3
ST3
TSMB3
LS3
TST2
LS2

SEQÜÊNCIA 3
SEQÜÊNCIA 2

0 100 cps

Escala Vertical
1:2.000
0 20 40 60 m

Escala Horizontal
1:50.000
0 0,5 1,0 1,5km

Limite de Seqüência (LS)
Superfície Transgressiva (ST)
Superfície de Inundação Máxima (SIM)
Camada de Carvão
Embasamento

TSMB - Trato de Sistemas de Mar Baixo
TST - Trato de Sistemas Transgressivo
TSMA - Trato de Sistemas de Mar Alto

Associação de Fácies I - Arenitos Glácio-Fluviais, Diamictitos e Conglomerados de Leques Aluviais
Associação de Fácies II - Diamictitos e Turbiditos
Associação de Fácies III - Pelitos e Arenitos Finos Marinhos
Associação de Fácies IV - Carvão, Pelitos e Arenitos Flúvio-Deltaicos e Estuarinos
Associação de Fácies V - Carvão, Pelitos e Arenitos de Planície Costeira
Associação de Fácies VI - Arenitos Marinhos Rasos (Ilhas de Barreiras ou Cordões Litorâneos)
Associação de Fácies VII - Arenitos e Pelitos de Planícies de Maré
Associação de Fácies VIII - Pelitos e Arenitos de Costa-Afora
Associação de Fácies IX - Arenitos Finos e Siltitos com *Teichichnus*

Fig. 69 - Seção de correlação *Dip* 3, ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistemas.

W E

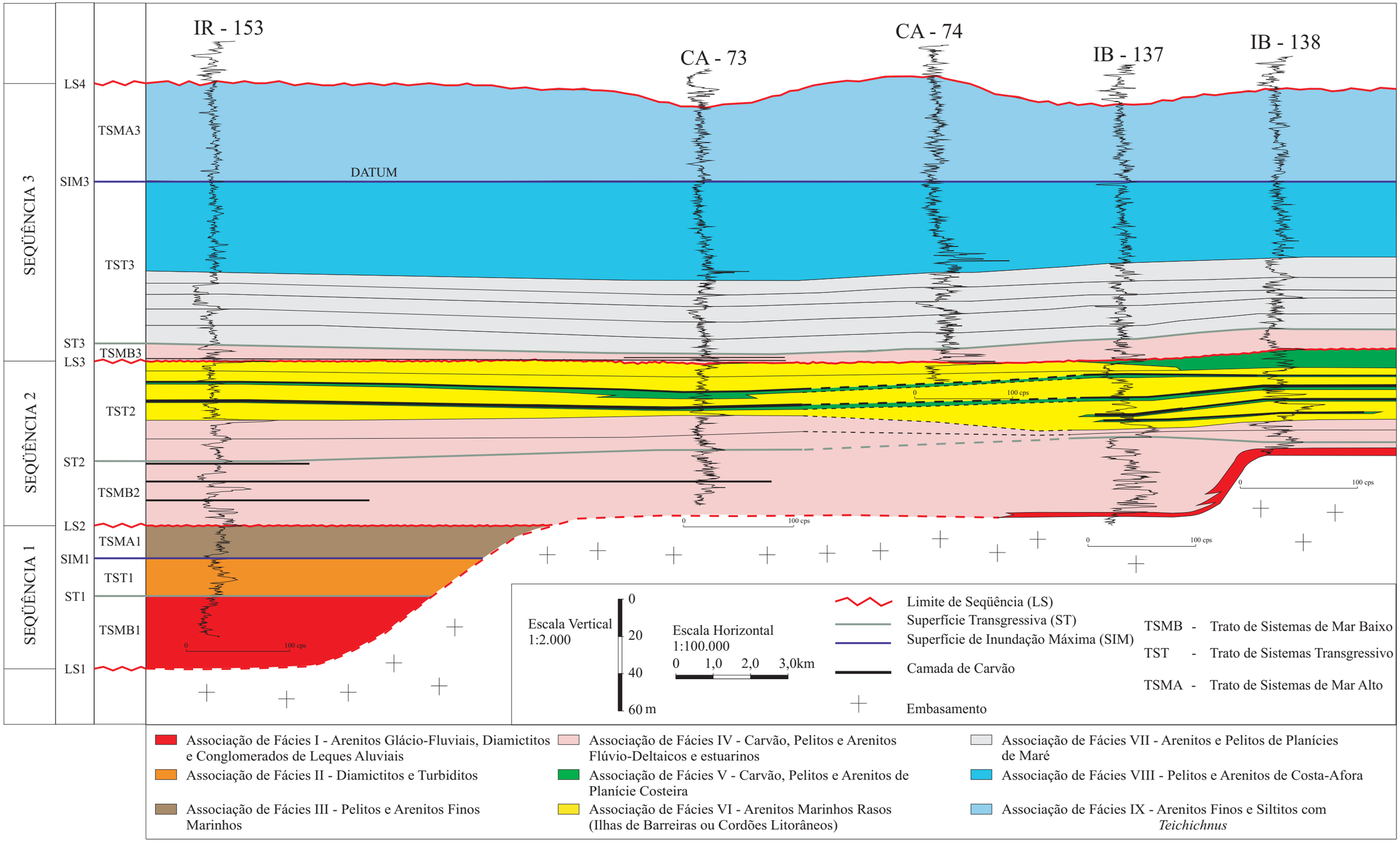


Fig. 70 - Seção de correlação *Strike 1,* ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistemas.

W E

CA - 72 CA - 70 CA - 68 CA - 66

SEQÜÊNCIA 3

SEQÜÊNCIA 2

SEQÜÊNCIA 1

LS4 TSMA3 SIM3 TST3 ST3 TSMB3 LS3 TST2 ST2 TSMB2 LS2 TSMA1 SIM1 TST1 LS1

Intervalo sem recuperação

0 100 cps

Escala Vertical
1:2.000
0 20 40 60 m

Escala Horizontal
1:90.000
0 0,9 1,8 2,7km

Limite de Seqüência (LS)
Superfície Transgressiva (ST)
Superfície de Inundação Máxima (SIM)
Camada de Carvão
Embasamento

TSMB - Trato de Sistemas de Mar Baixo
TST - Trato de Sistemas Transgressivo
TSMA - Trato de Sistemas de Mar Alto

Associação de Fácies I - Arenitos Glácio-Fluviais, Diamictitos e Conglomerados de Leques Aluviais
Associação de Fácies II - Diamictitos e Turbiditos
Associação de Fácies III - Pelitos e Arenitos Finos Marinhos
Associação de Fácies IV - Carvão, Pelitos e Arenitos Flúvio-Deltaicos e estuarinos
Associação de Fácies V - Carvão, Pelitos e Arenitos de Planície Costeira
Associação de Fácies VI - Arenitos Marinhos Rasos (Ilhas de Barreiras ou Cordões Litorâneos)
Associação de Fácies VII - Arenitos e Pelitos de Planícies de Maré
Associação de Fácies VIII - Pelitos e Arenitos de Costa-Afora
Associação de Fácies IX - Arenitos Finos e Siltitos com *Teichichnus*

Fig. 71 - Seção de correlação *Strike 2,* ilustrando o modo de ocorrência das associações de fácies e o arcabouço cronoestratigráfico formado por seqüências de terceira ordem e respectivos tratos de sistemas.

milhões de anos, que se colocam também dentro de uma segunda ordem de grandeza dos ciclos.

Para embasar melhor uma hierarquização destas seqüências, vale lembrar o trabalho de Milani (1997), no qual é apresentado o arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná, com idades compreendidas entre o Neo-Ordoviciano (aproximadamente 450 M.a) e o Neo-Cretáceo (aproximadamente 65 M.a), dividido em seis superseqüências, seguindo denominação da hierarquia utilizada por Vail et. al. (1977) para ciclos de segunda ordem. Assim, como já salientado na página 6 da presente dissertação, o intervalo estudado insere-se na porção basal a intermediária da Superseqüência Gondwana I (Westphaliano-Scythiano) deste autor, caracterizada por um grande ciclo transgressivo-regressivo, a qual é delimitada por discordâncias inter-regionais (conforme Sloss, 1963), produto de superciclos tectono-sedimentares de segunda ordem.

Assim, tanto pelo visto nas datações feitas para as unidades litoestratigráficas, como no trabalho de Milani (*op. cit.*), o primeiro nível de subdivisões possível, necessariamente é de terceira ordem de grandeza (0,5 a 3M.a).

Portanto, as quatro discordâncias identificadas, tratadas neste trabalho como limites de seqüência, delimitam seqüências de terceira ordem. Vale lembrar que os ciclos de terceira ordem, na visão de Vail *et. al*. (1991), têm sua causa atribuída à glácio-eustasia, enquanto que para Cloetingh (1988) se devem a variações no *stress* intraplacas. Disso, conclui-se que ainda não há um consenso a respeito do que realmente controla a ciclicidade, nesta terceira ordem de magnitude.

5.4 - Caracterização das seqüências mapeadas

Neste momento se inicia a caracterização das unidades do arcabouço estratigráfico individualizadas neste trabalho, principalmente por critérios faciológicos e relativos às descontinuidades do registro geológico, ou seja, às discordâncias. Da mesma maneira como salientam: Sloss (1963), Mitchum *et. al*. (1977) e Van Wagoner *et. al*. (1991), as unidades limitadas por discordâncias, em outras palavras, correspondem a seqüências. Feita esta introdução, passa-se à apresentação detalhada da composição de cada sequência aqui identificada.

5.4.1 - Seqüência 1

A seqüência basal do intervalo estratigráfico estudado é limitada pelas superfícies LS1 e LS2, conforme verifica-se nas figuras 72, 73 e 74, representando um pacote sedimentar com espessuras entre 94,00 no furo CA-72 e 62,00 metros no furo IR-153. Seu posicionamento na área é fortemente condicionado pela depressão localizada na porção Oeste da área, conforme observado no mapa de isópacas da figura 75.

As superfícies-chave identificadas nesta seqüência (LS1, ST1 e SIM1), além das informações obtidas pela caracterização das associações de fácies, possibilitaram a individualização de três tratos de sistemas nesta seqüência, caracterizados a partir do posicionamento dentro da mesma e, também, quando identificável, a partir do padrão de empilhamento (agradacional, progradacional ou retrogradacional) do conjunto de parasseqüências.

Ao se analisar desta maneira, identificou-se um trato de sistemas de mar baixo, um trato de sistemas transgressivo e, finalmente, um trato de sistemas de mar alto, nos quais se fazem presente as associações de fácies I, II e III, respectivamente.

5.4.1.1- Trato de sistemas de Mar Baixo 1 (TSMB1)

Este trato de sistemas de mar baixo é constituído pelos arenitos glácio-fluviais e diamictitos, interpretados como tilitos basais, e por conglomerados de leques aluviais vindos das encostas do paleovale glacial da porção Sudoeste-Oeste da área.

A sedimentação continental e a ausência da sedimentação marinha caracterizam um nível relativo de mar baixo.

O limite superior do TSMB1 é marcado numa superfície de inundação marinha, designada ST1, que antecede a entrada de diamictitos e turbiditos distais sobre os arenitos glácio-fluviais deste trato.

5.4.1.2 - Trato de sistemas Transgressivo 1 (TST1)

Constituído pelos diamictitos e turbiditos distais da Associação de Fácies II, o TST1 tem seu início marcado por uma evidente subida do nível relativo do mar , em resposta ao processo de degelo que passa a predominar na bacia, evidenciado principalmente pela sobreposição de turbiditos distais em arenitos glacio-fluviais.

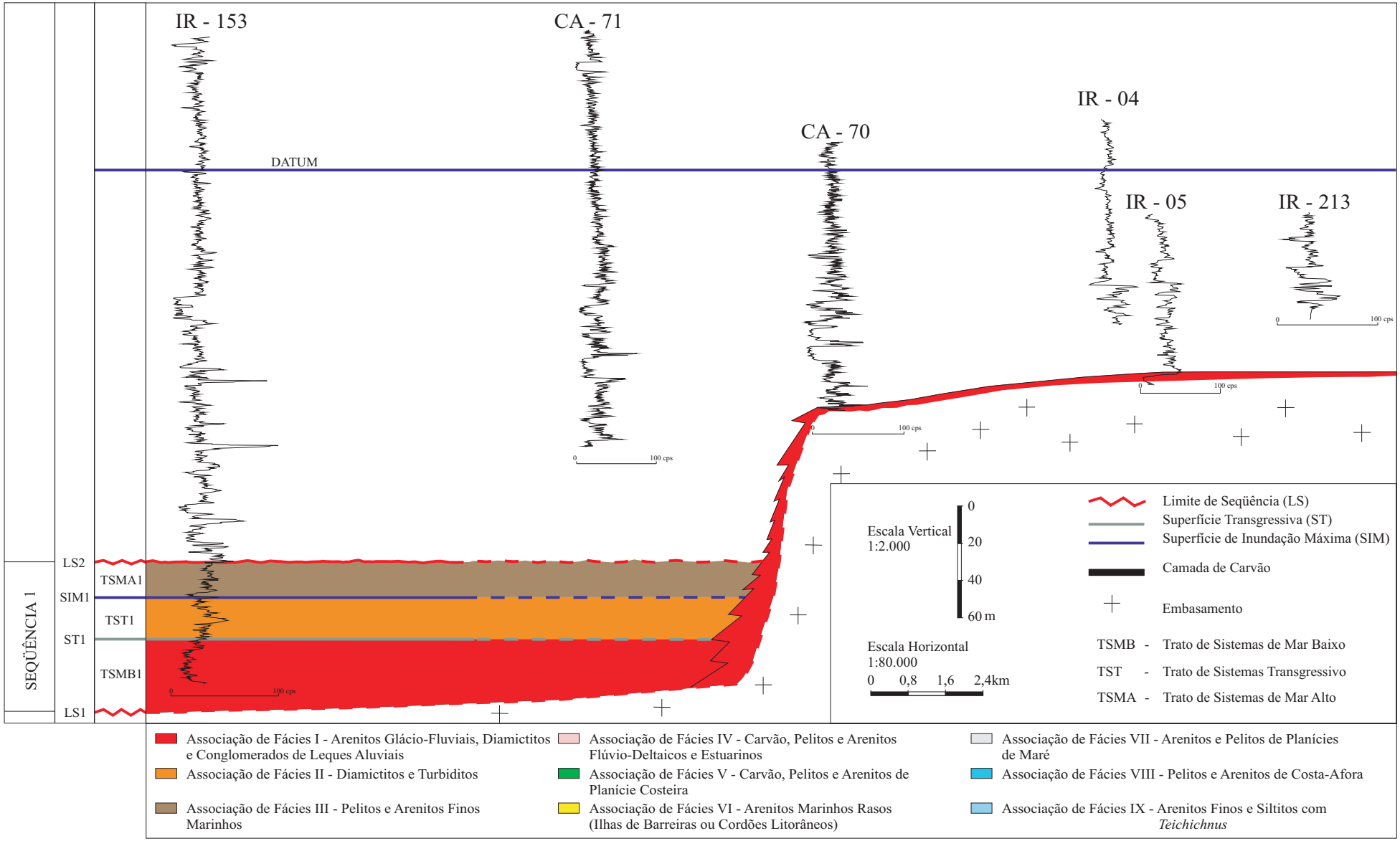


Fig. 72 - Seqüência 1 na seção de correlação *Dip* 1.

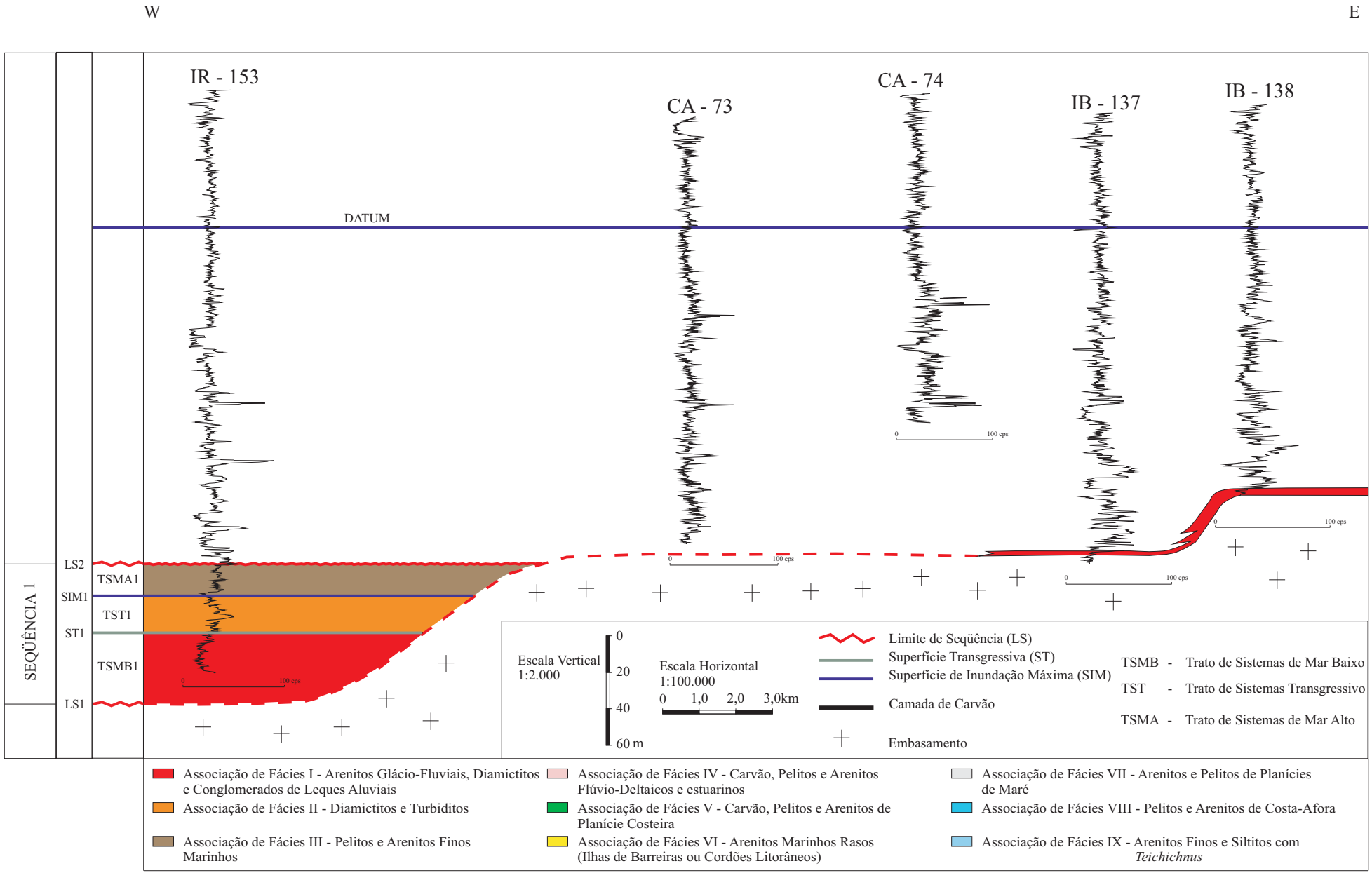


Fig. 73 - Seqüência 1 na seção de correlação *Strike 1*.

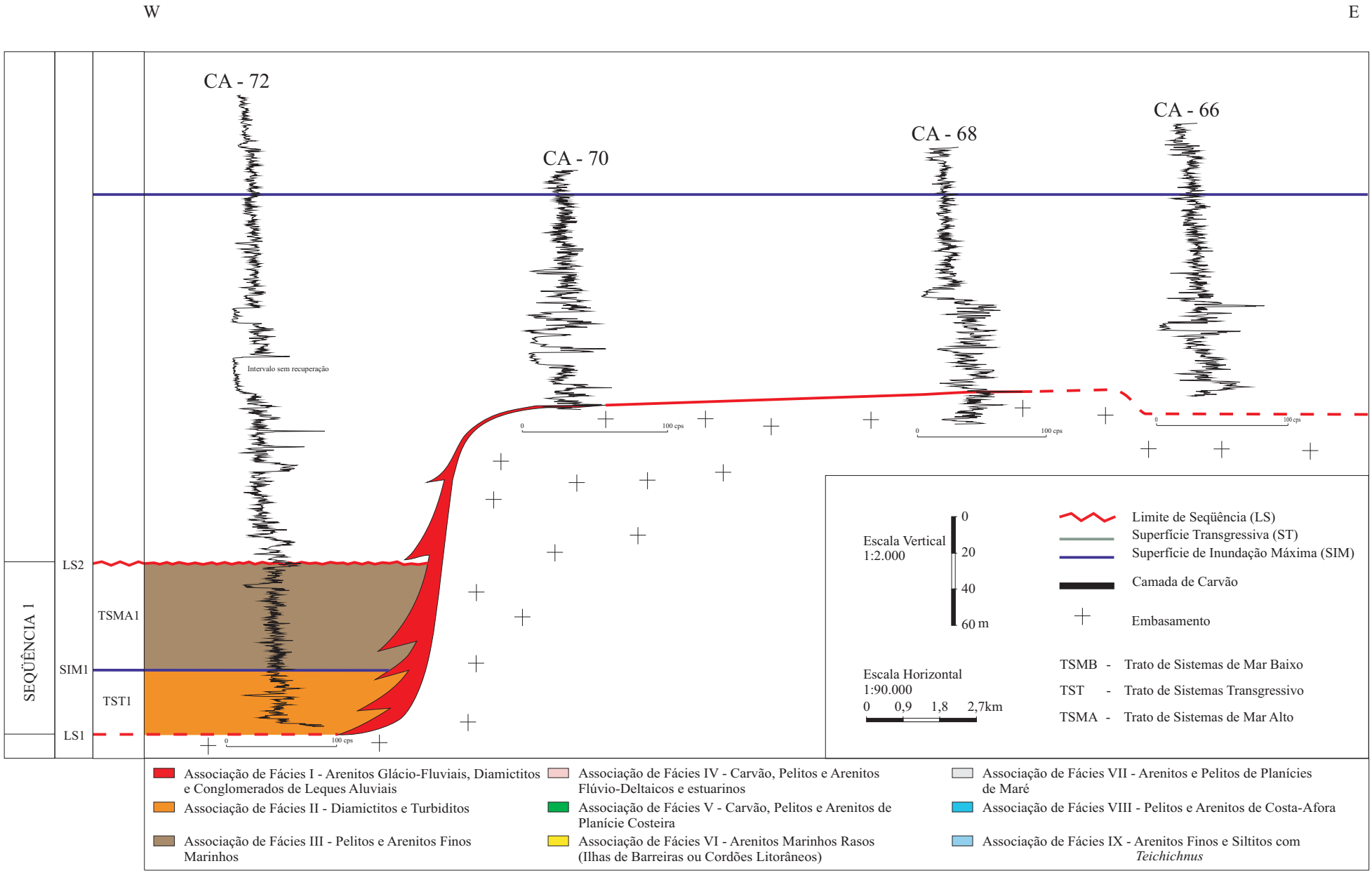


Fig. 74 - Seqüência 1 na seção de correlação *Strike 2*.

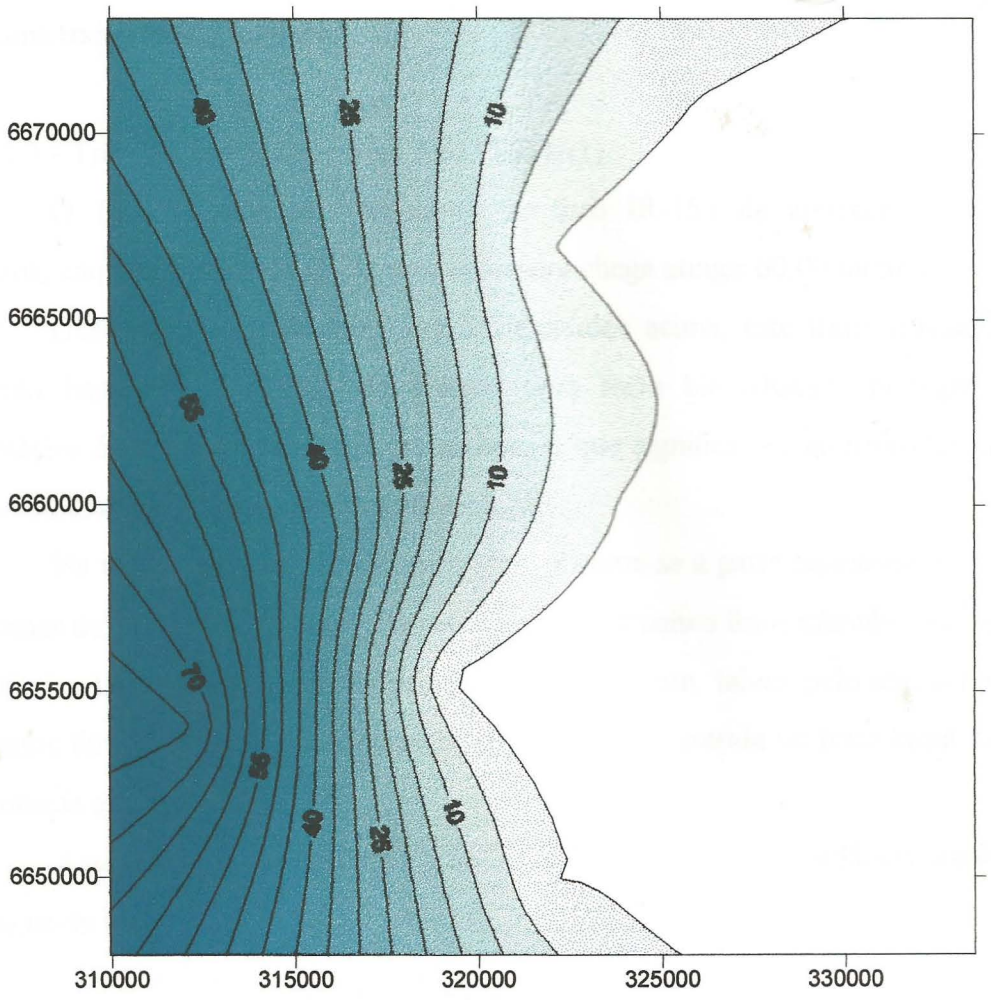


Fig. 75 - Mapa de isópacas mostrando a espessura em metros da Seqüência I. Notar o condicionamento imposto pela depressão localizada na porção Oeste da área, interpretada como um paleovale glacial.

Com seus sedimentos, ainda com deposição confinada na paleodepressão já descrita, tem-se este trato caracterizando um início da influência marinha na área. Provavelmente se configurando um contexto paleogeográfico de fiorde, e na conceituação de Edwards (1986), um ambiente pró-glacial glácio-marinho.

O caráter transgressivo destes depósitos, também é denunciado pela tendência ao crescimento dos valores da curva de raio-gama, observada nos perfis dos furos de sondagem.

O limite superior deste trato se constitui na SIM1, que representa um ponto de máxima transgressão marinha.

5.4.1.3 - Trato de sistemas de Mar Alto (TSMA1)

O TSMA1 apresenta espessura no furo IR-153 de aproximadamente 20,00 metros, enquanto no furo CA-72 esta espessura chega atingir 60,00 metros.

Descrito, principalmente, nos furos citados acima, este trato apresenta na sua porção basal, uma camada de arenito com forte bioturbação, principalmente da icnofácies *Skolithos* e estruturas de escape, o que significa um aumento de energia do sistema, com uma reativação da sedimentação.

Na maior parte dos furos analisados, observa-se a parte agradacional do trato de sistemas de mar alto, caracterizada pelos pelitos e arenitos finos marinhos da Associação de Fácies III, estando a porção progradacional ausente, talvez pelo efeito erosivo dos arenitos flúvio-deltaicos da Associação de Fácies IV, inserida no trato basal da próxima seqüência a ser descrita.

Assim, o limite superior do TSMA1 se coloca nesta discordância erosiva, a qual designa-se LS2.

5.4.2 - Seqüência 2

Esta seqüência apresenta como superfícies limítrofes a LS2 e a LS3, constituindo um pacote sedimentar que atinge espessuras de até 96,00 metros dentro do paleovale, enquanto que a parte de topo da seqüência que consegue recobrir as áreas altas do paleorelevo, atingem no máximo 27,00 metros. As figuras de 76 a 80 ilustram, através das seções de correlação, a maneira como se distribui esta seqüência na área. Nas seções de correlação das figuras 76, 79 e 80, pode-se verificar que só neste momento as litofácies

do topo desta seqüência passam a se distribuir por toda a área, não estando mais confinada e condicionada pelo paleorelevo.

Na parte basal, o padrão da curva de raio-gama com valores baixos em CPS (choques por segundo), com “caixotes de areia” e formas do tipo “sino invertido”, além das informações advindas da análise dos testemunhos, caracteriza um trato de sistemas de mar baixo, o qual designa-se Trato de sistemas de Mar Baixo 2 (TSMB2).

Sobrepondo-se neste trato, a superfície ST2 denuncia uma inundação marinha, antecedendo, assim, um trato de sistemas transgressivo, designado Trato de sistemas Transgressivo 2 (TST2), com possibilidade, inclusive, de verificação através das seções de correlação, do padrão retrogradacional de empilhamento das parasseqüências descritas.

Distribui-se nestes tratos as associações de fácies IV, V e VI, estando o TSMB2 formado unicamente com a Associação de Fácies IV, enquanto o TST2 apresenta a parte superior desta associação IV e as demais associações V e VI.

Um trato de sistemas de mar alto não foi identificado nesta seqüência. Este fato se explica pela superposição direta de uma superfície discordante de caráter erosivo, designada anteriormente como LS3, nos sedimentitos do TST2.

5.4.2.1 - Trato de sistemas de Mar Baixo 2 (TSMB2)

Sucessivo à queda relativa do nível do mar, responsável pela formação da superfície discordante que se designou LS2, a qual limita este trato na sua base, desenvolveu-se um sistema deposicional flúvio-deltaico, que na área aparece condicionado pelo paleorelevo irregular, encaixado numa depressão por vezes já citada neste trabalho e visível no mapa de isópacas da figura 22.

A análise dos testemunhos possibilitou a caracterização dos depósitos que constituem este sistema deposicional. Foram descritos depósitos areníticos de canais distributários, pelitos com laminação *wavy-linsen* das barras de embocadura destes canais, e, finalmente, depósitos com siltitos carbonosos, paleosolos e carvão, das baías entre os mesmos.

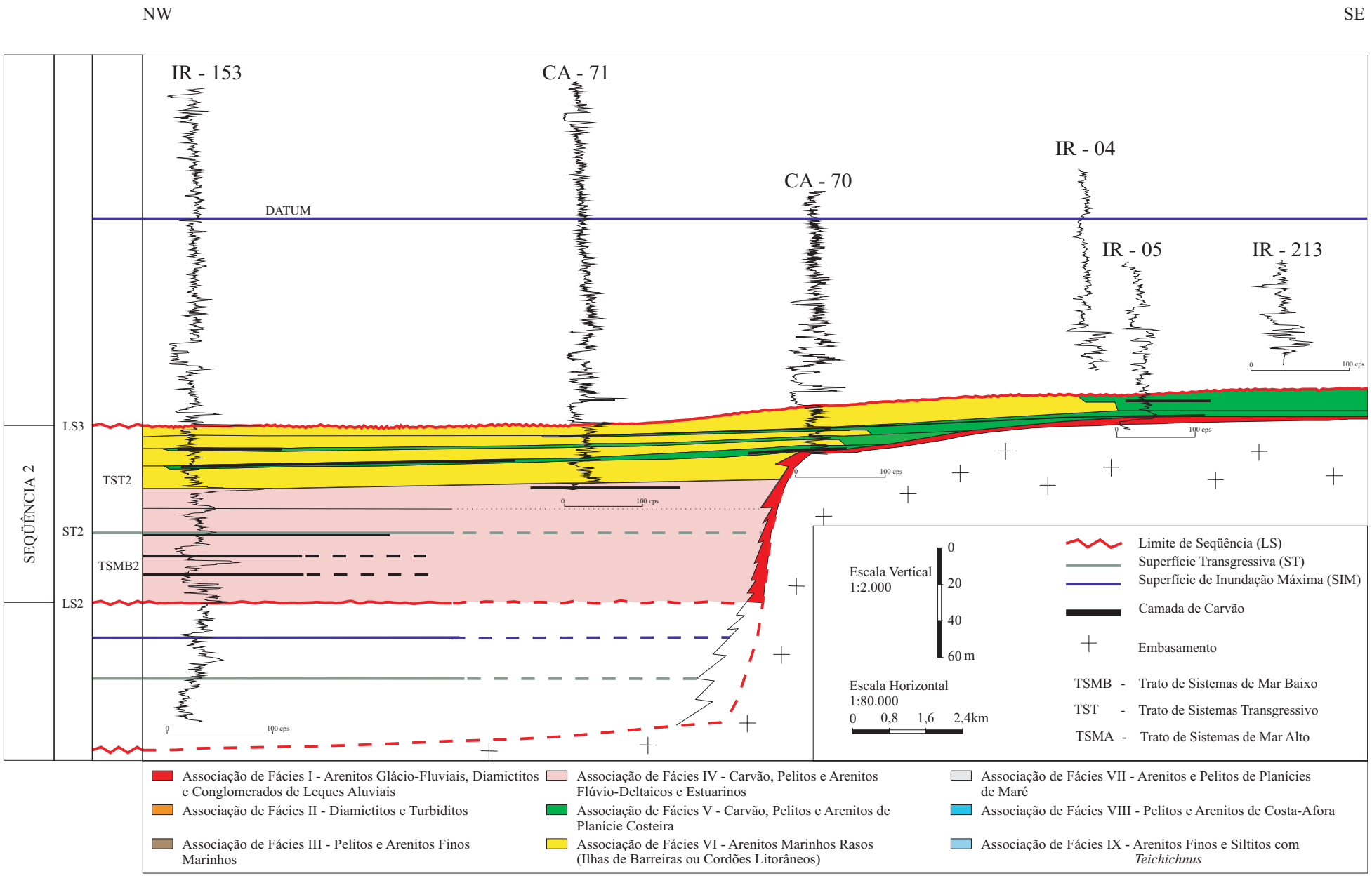


Fig. 76 - Seqüência 2 na seção de correlação *Dip* 1.

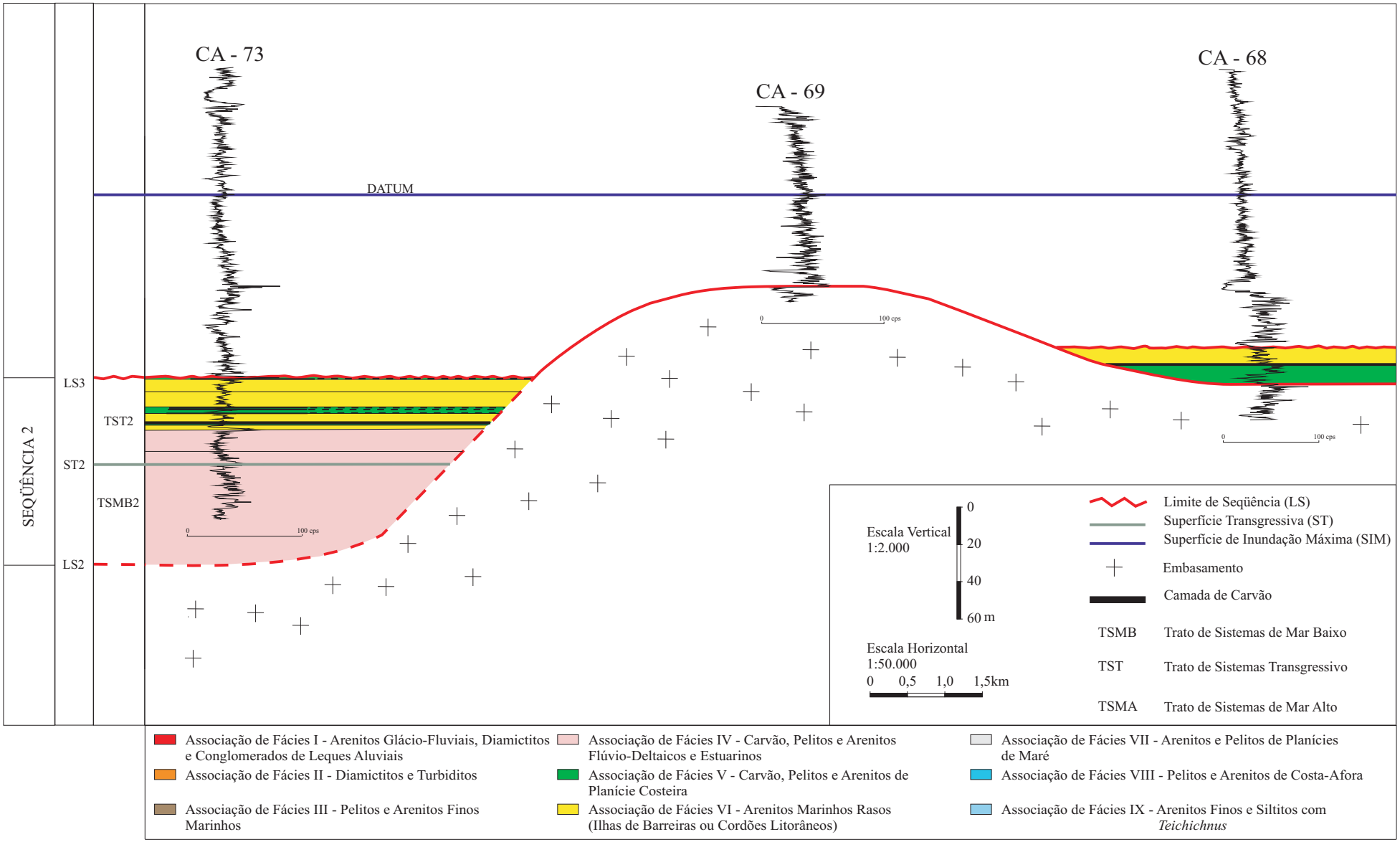


Fig. 77 - Seqüência 2 na seção de Correlação *Dip* 2.

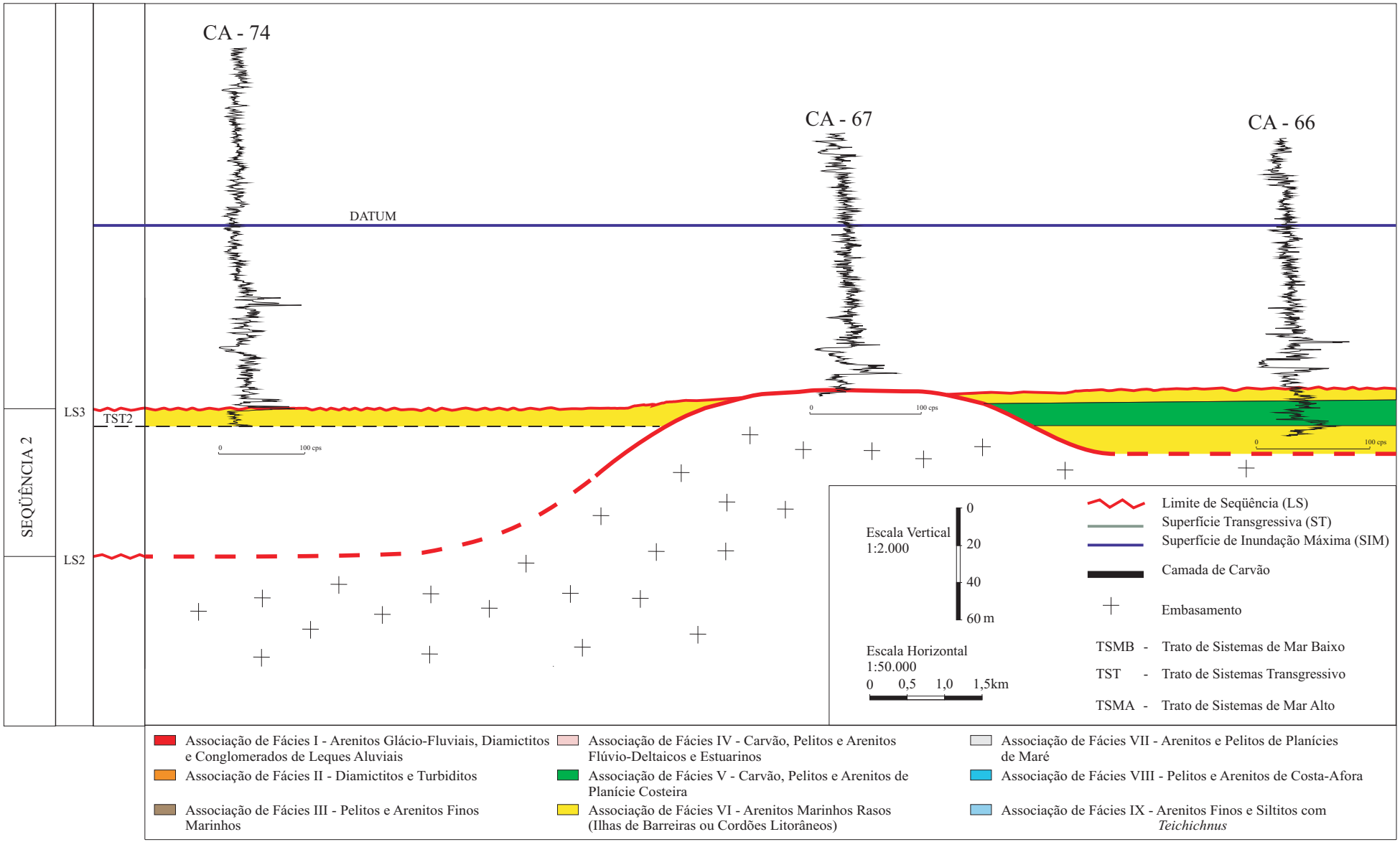


Fig. 78 - Seqüência 2 na seção de correlação *Dip* 3.

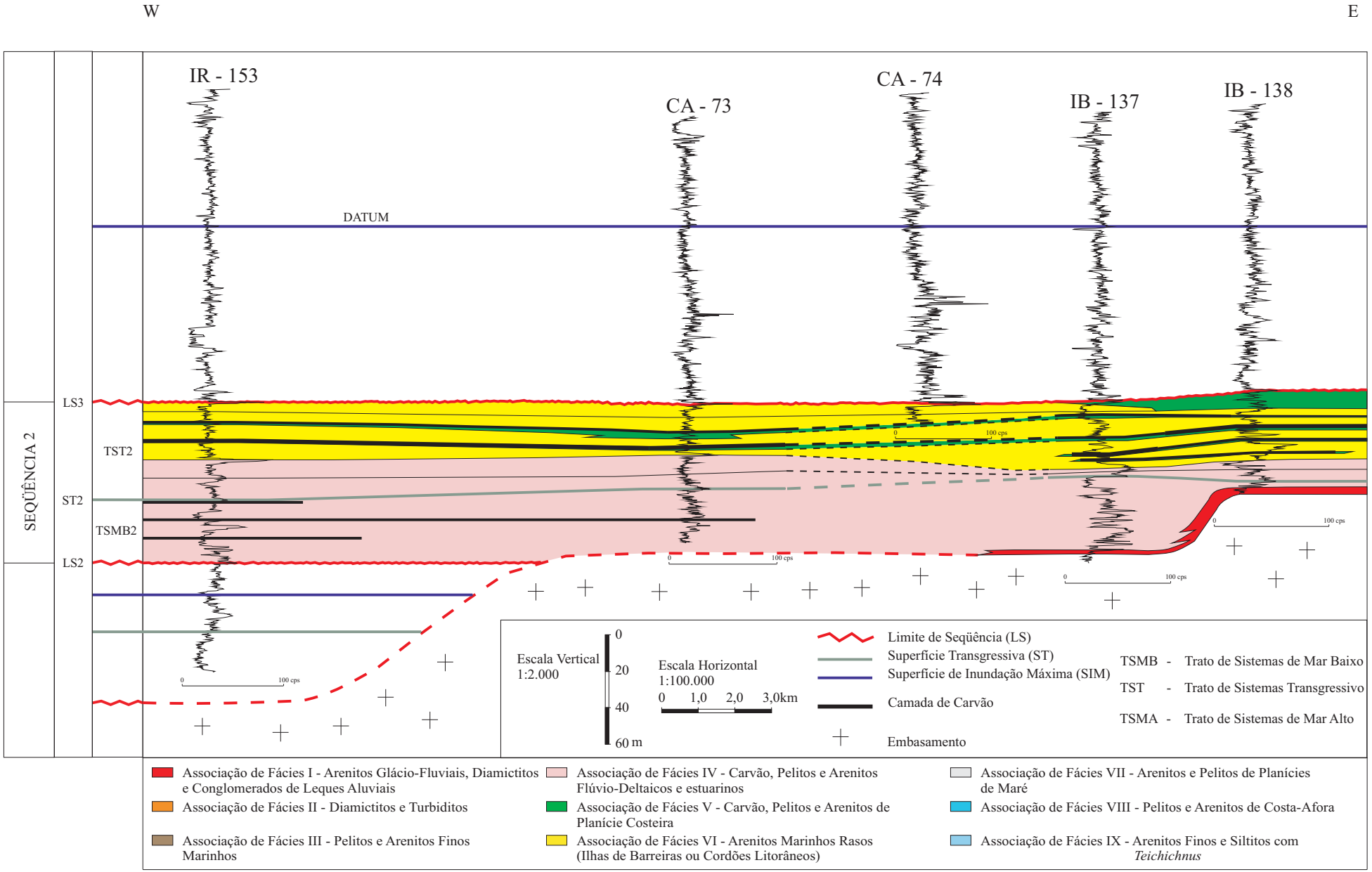


Fig. 79 - Seqüência 2 na seção de correlação *Strike 1*.

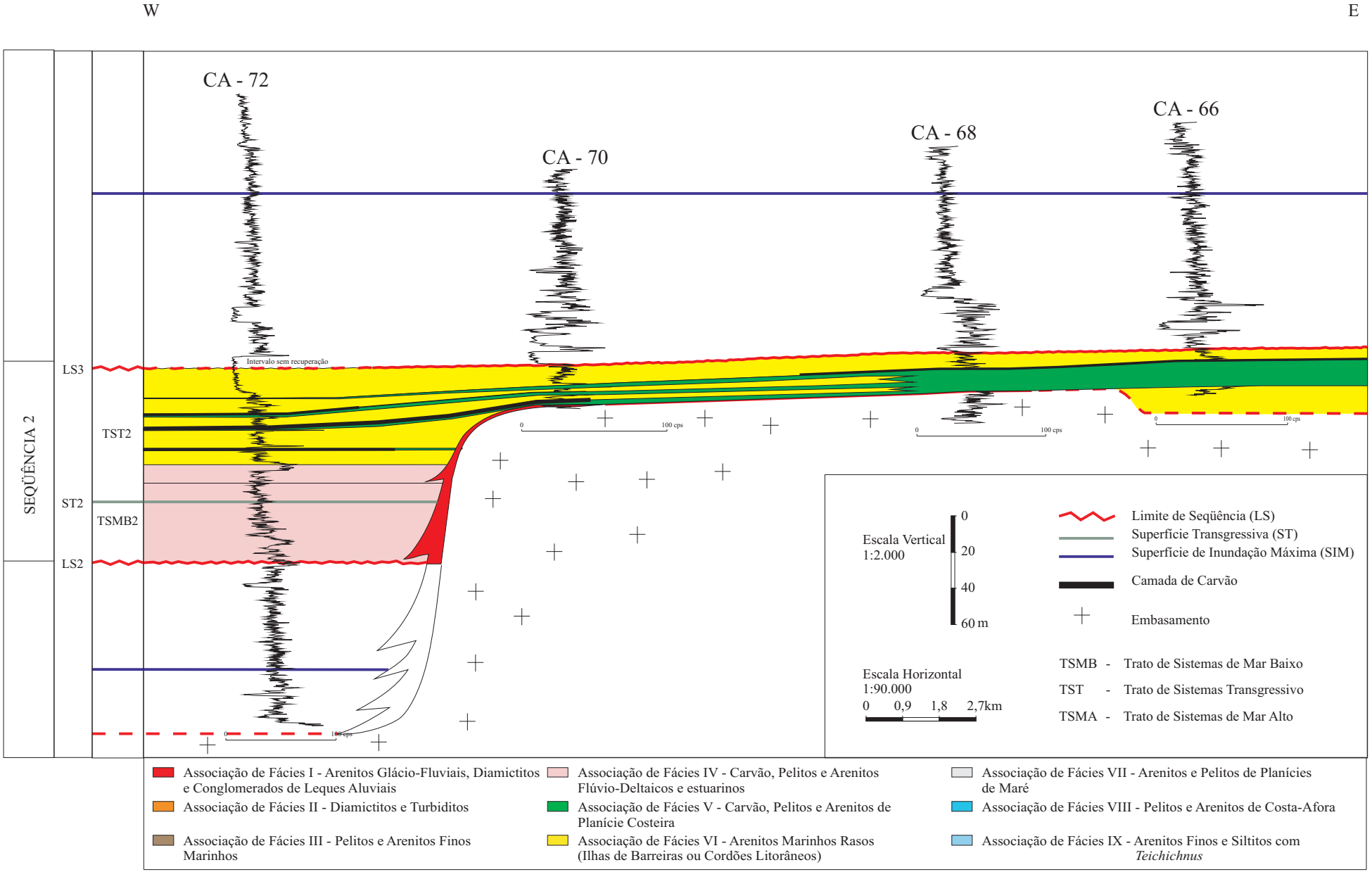


Fig. 80 - Seqüência 2 na seção de correlação *Strike 2*.

Assim, conclui-se este trato realçando que a não verificação de um vale inciso, conforme o modelo desenvolvido para uma queda do nível relativo do mar, traduz-se no modo como se apresenta este sistema deposicional, isto é, encaixado em uma estrutura preexistente do relevo. Também importante para a incisão fluvial, seria a existência na configuração da bacia, de uma quebra de plataforma, que estabeleceria um gradiente topográfico entre a área aluvial e esta plataforma exposta, gerando assim incisões de vales, o que não se verifica dada a natureza de bacia em rampa, ou seja, com baixo gradiente topográfico.

5.4.2.2 - Trato de sistemas Transgressivo 2 (TST2)

Visível tanto em testemunho como em perfil, através de um pico com alto valor na curva de raio-gama, a superfície ST2 representa um superfície de inundação marinha, resultado de um aumento do nível relativo do mar. Assim, começam a ter lugar os depósitos estuarinos da Associação de Fácies IV, caracterizados por pelitos com *wavy-linsen* e siltitos com microlaminação cruzada ondulada, além de estruturas características de marés, como: *flasers* e *drapes* de argila preta. Com estas características verificadas, interpretou-se a porção basal deste trato de sistemas transgressivo.

A sucessão vertical de fácies segue com os depósitos das associações de fácies V e VI, ou seja, camadas de carvão e pelitos lagunares, isoladas pelos arenitos de ambiente de praia em ilhas de barreiras ou cordões litorâneos, respectivamente.

A possibilidade neste trato transgressivo de se mapear parasseqüências, principalmente nos perfis dos furos de sondagem, com formas que mostram ciclos de raseamento para o topo, permite a verificação do padrão de empilhamento deste conjunto de parasseqüências, neste caso retrogradacional. Este detalhe importante pode ser verificado na figura 76. Com isso, verifica-se uma contínua inundação marinha processada numa terceira ordem na hierarquia dos ciclos, contendo quedas no nível relativo do mar numa quarta ordem de grandeza, que conforme descreve-se em quase todos os testemunhos de sondagem analisados, geram ciclos que iniciam com depósitos de face da praia inferior (arenitos com *hummocky cross stratification*) ou face da praia superior e antepraia, sendo recobertos por sedimentos lagunares. Desta forma, estas parasseqüências se apresentam com granodecrescência ascendente, assemelhando-se muito a um dos modelos apresentados por Van Wagoner (1991). Em resumo, tem-se um trato transgressivo de uma seqüência de terceira ordem, onde a inundação marinha foi se desenvolvendo em passos, “como se subisse os degraus de uma escada”. Entre cada passo,

um cessar periódico de subida relativa do nível do mar, numa quarta ordem, possibilitava eventos progradacionais que culminavam com a instalação de turfeiras.

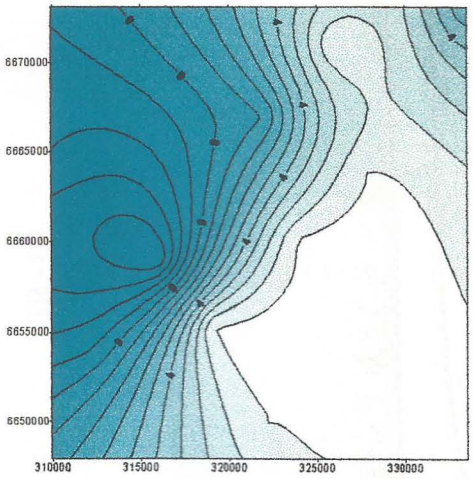
Foram seis as parasseqüências identificadas, sendo as duas primeiras (da base para o topo) formadas pelos depósitos estuarinos, separadas por uma superfície de inundação marcada num pico bastante radioativo das curvas dos perfis dos furos de sondagem IR-153 e CA-72 (figs. 76, 79 e 80). As quatro parasseqüências seguintes, apresentam nos seus topos as camadas de carvão, cujas turfeiras de origem, eram afogadas, como explicado acima, por eventos de inundação marinha.

Portanto, primeiramente, os depósitos estuarinos denunciam o aumento da influência marinha nos depósitos flúvio-deltaicos. Com o contínuo retrabalhamento dos mesmos, principalmente por ondas, mas também pelas marés, formaram-se praias em ilhas de barreiras ou cordões litorâneos, as quais serviam como barreira eventual das lagunas onde se formaram as camadas de carvão. Este sistema laguna-barreira, devido ao caráter retrogradacional das parasseqüências, pode ser identificado quatro vezes, se deslocando na direção SE, isto é, em direção ao embasamento, como ilustra a figura 76. A figura 81 também mostra, através dos mapas de isópacas, esta mesma orientação de retrogradação do sistema, ou seja, a transgressão se desenvolvia de NW para SE.

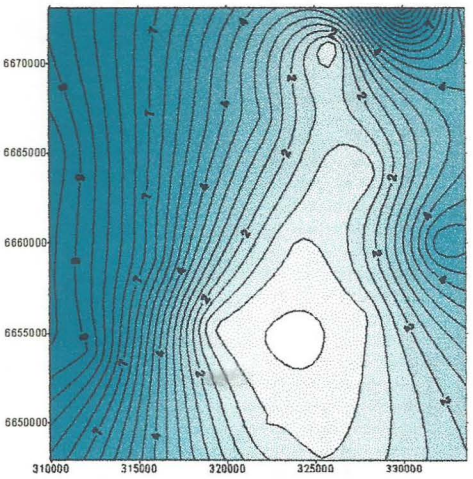
5.4.3 - Seqüência 3

A última seqüência interpretada no arcabouço cronoestratigráfico, aparece cobrindo a área de forma uniforme, visto já terem sido vencidos os altos do embasamento (paleorelevo), conforme ilustram as seções de correlação nas figuras de 82 a 86. Suas superfícies limítrofes são a LS3 e a LS4, constituindo um pacote sedimentar que atinge espessuras nas áreas proximais de aproximadamente 55,00 e mais para dentro da bacia, de até 145,00 metros.

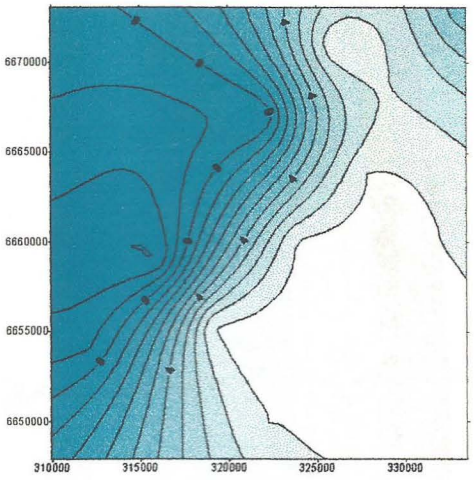
Parasseqüência 1



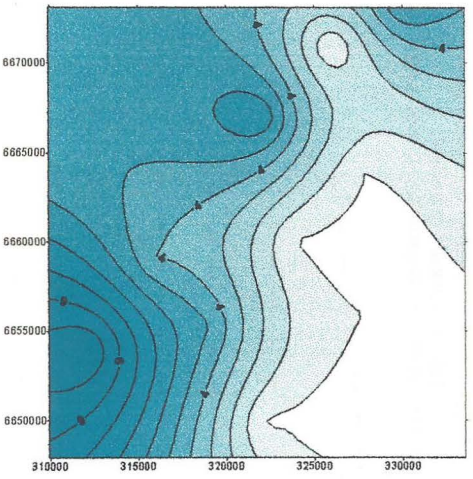
Parasseqüência 4



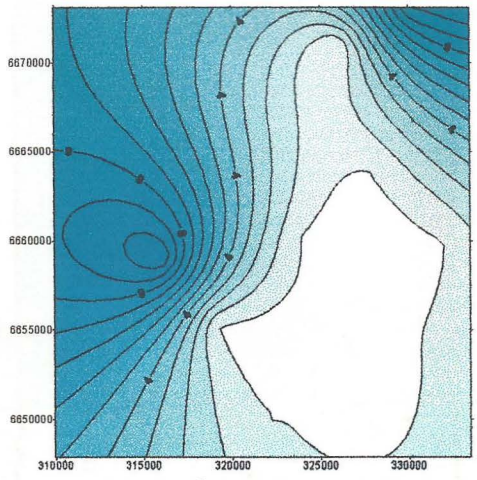
Parasseqüência 2



Parasseqüência 5



Parasseqüência 3



Parasseqüência 6

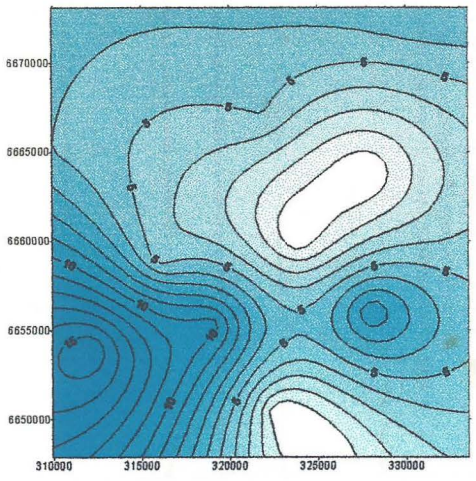


Fig. 81 - Mapas de isópacas mostrando as espessuras, em metros, dos arenitos de shoreface da Associação de Fácies VI nas parasseqüências 1 a 6 do trato de sistemas transgressivo da Seqüência 2 (TST2).

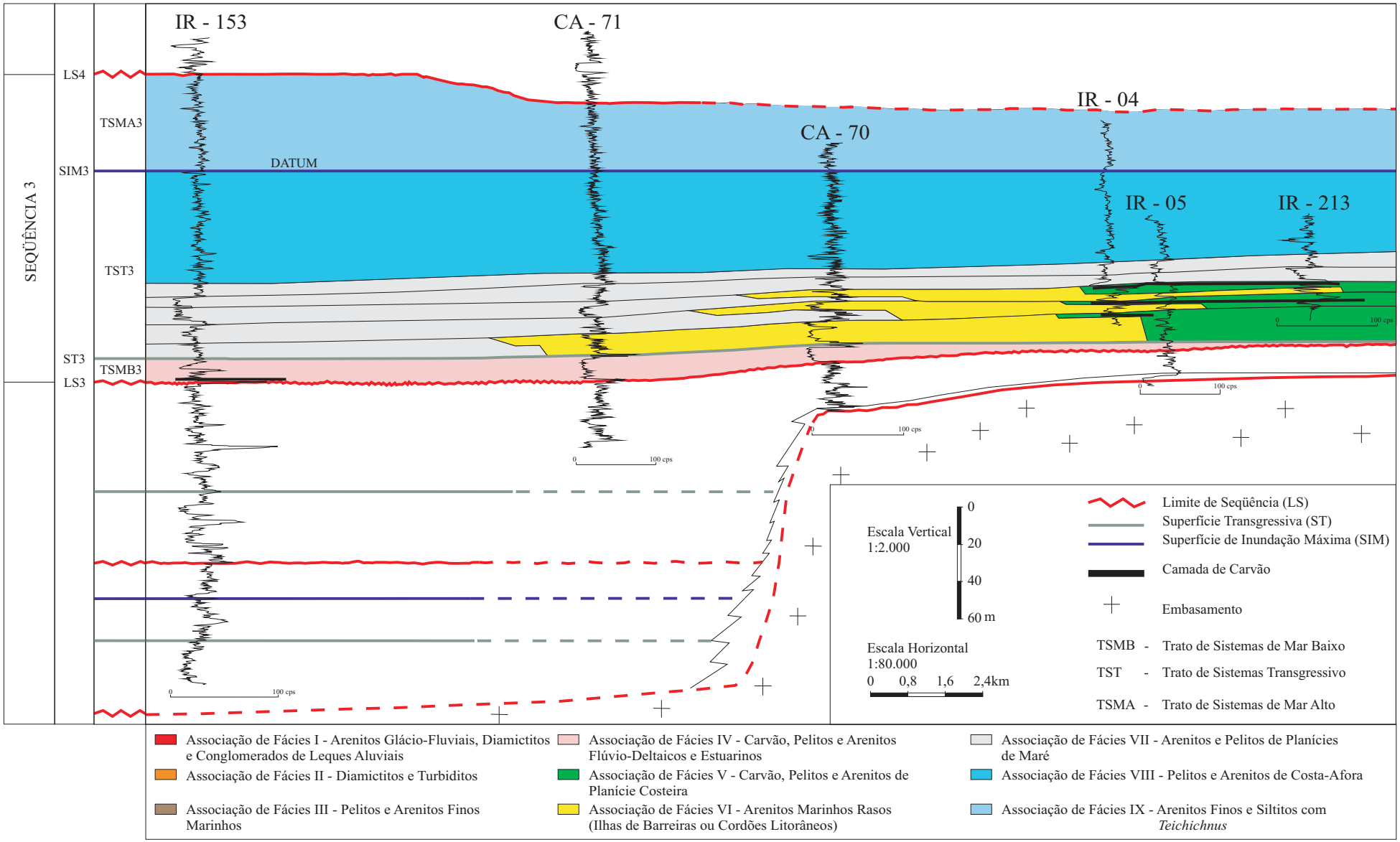


Fig. 82 - Seqüência 3 na seção de correlação *Dip* 1.

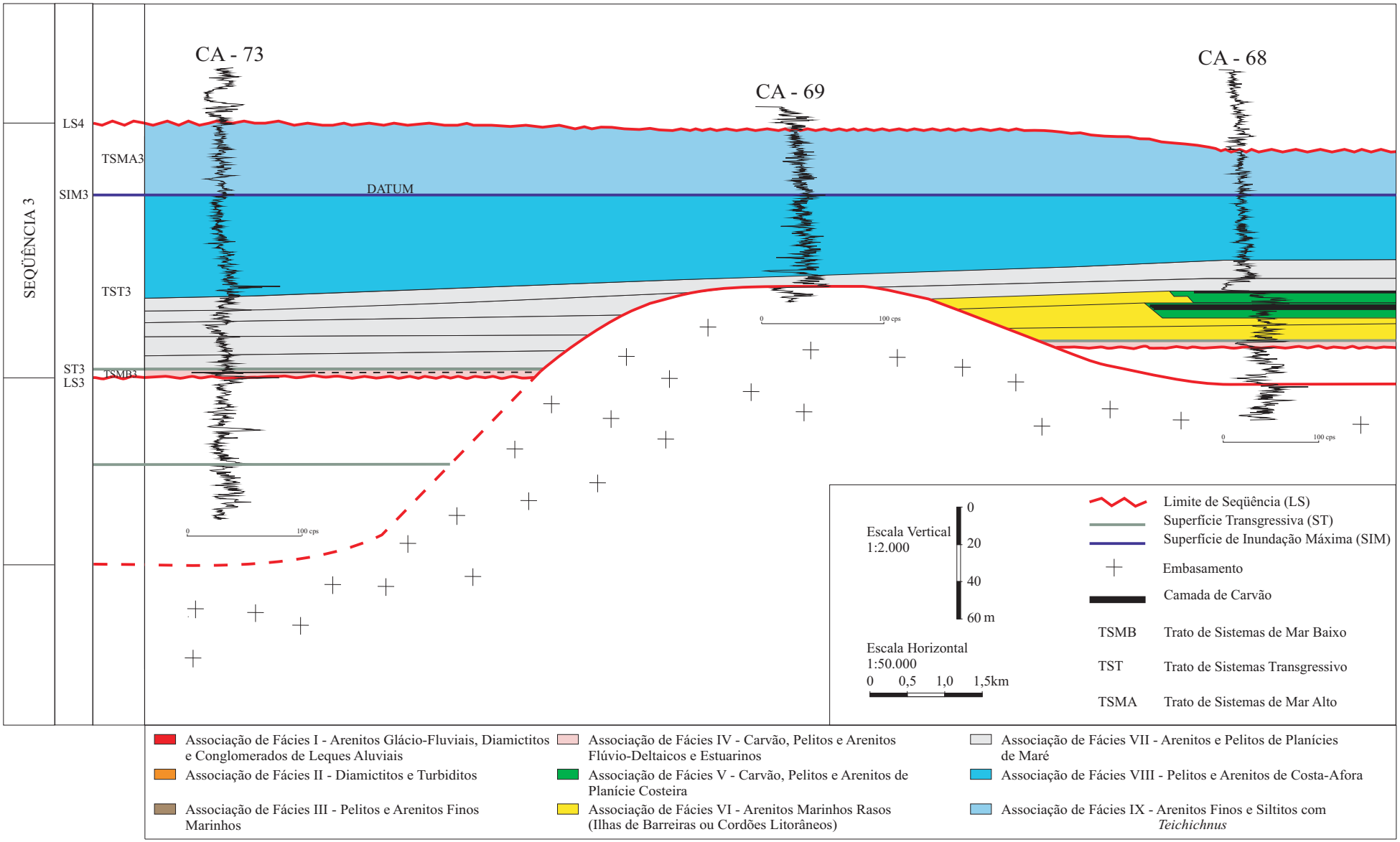


Fig. 83 - Seqüência 3 na seção de Correlação *Dip* 2.

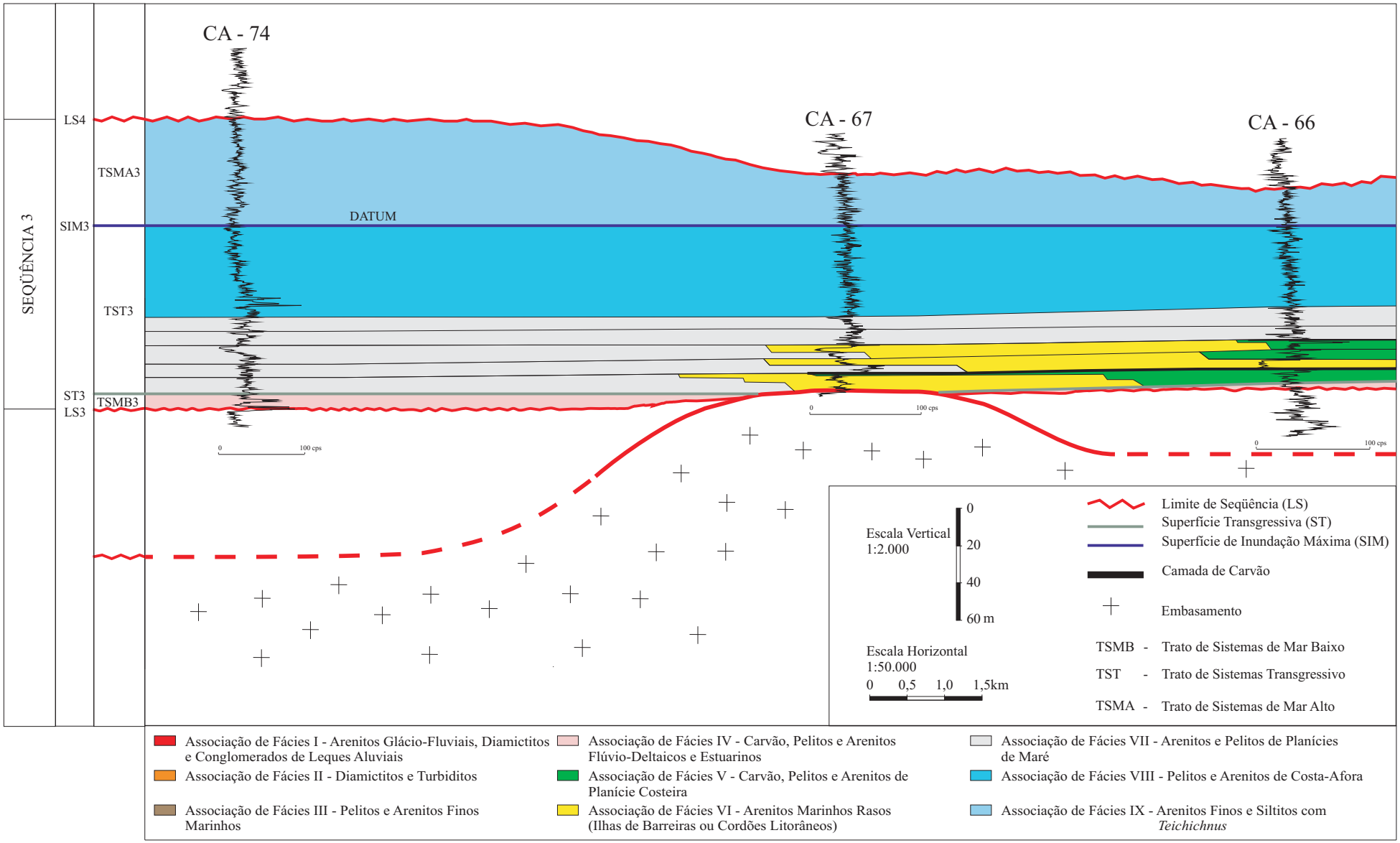


Fig. 84 - Seqüência 3 na seção de correlação *Dip* 3.

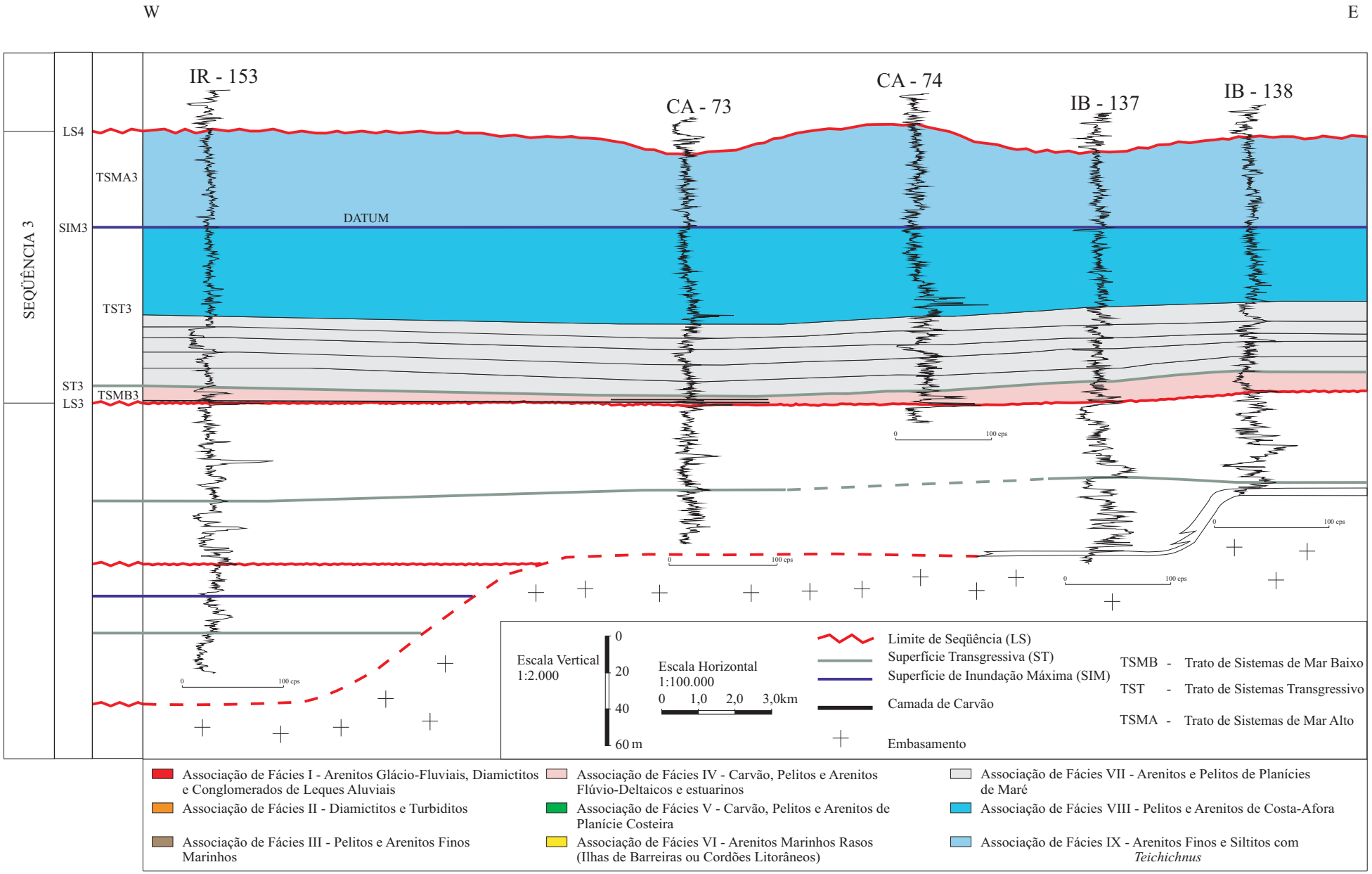


Fig. 85 - Seqüência 3 na seção de correlação *Strike 1*.

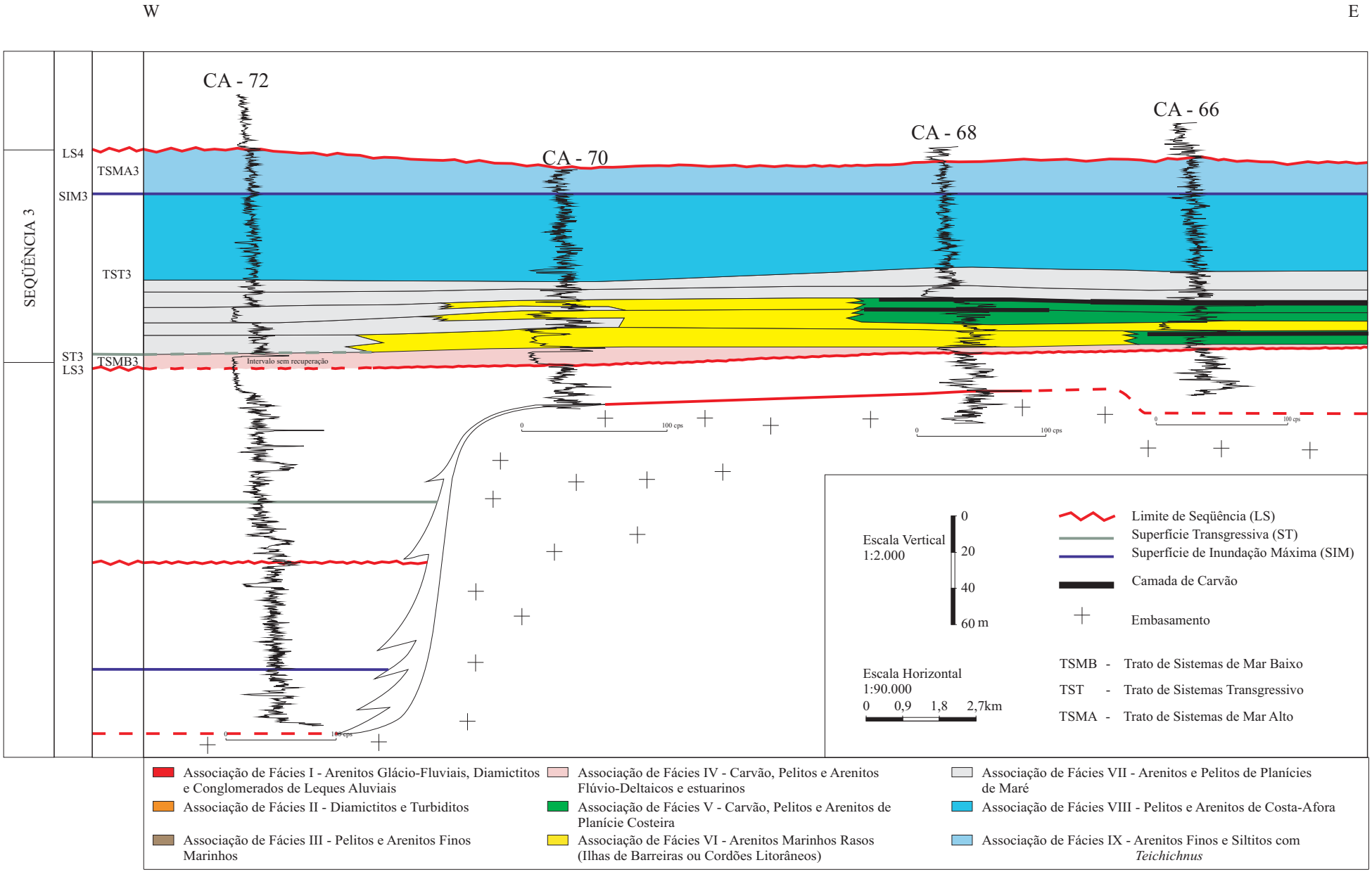


Fig. 86 - Seqüência 3 na seção de correlação *Strike 2*.

Na base desta seqüência, descreveu-se um trato de sistemas de mar baixo, caracterizado, principalmente, pela descrição de camadas de arenitos médios a grossos da Associação de Fácies IV, o qual recebe a denominação de Trato de sistemas de Mar Baixo 3 (TSMB3). Após uma superfície de inundação marinha designada ST3, denuncia a chegada de um trato de sistemas transgressivo, designado Trato de sistemas Transgressivo 3 (TST3). A seqüência termina com um trato de sistemas de mar alto, que sucede a SIM3, antes caracterizada. Este trato recebe a denominação de Trato de sistemas de Mar Alto 3 (TSMA3).

5.4.3.1 - Trato de sistemas de Mar Baixo 3 (TSMB3)

Este trato, seqüente a LS3 e limitado no seu topo pela ST3, apresenta a Oeste da área espessura máxima de 10,00 metros e para Leste espessura de até 12,00 metros. Esta incisão, mesmo que não tão significativa, cresce para Oeste e para Leste, conforme verifica-se na figura 70, onde o furo CA-73 posicionado aproximadamente no centro desta seção *strike* aparece com a espessura de apenas 4,00 metros.

A situação dos fatores como nível eustático e subsidência para desenvolvimento deste trato de sistemas de mar baixo, é de uma taxa de queda eustática maior que a taxa de subsidência produzindo uma queda relativa no nível do mar. Esta queda relativa, causa, pela diminuição do espaço de acomodação, uma regressão forçada. Assim, há um deslocamento para a região de costa-afora dos sistemas deposicionais (*bypassing* de sedimentos), neste caso de um sistema deposicional flúvio-deltaico, caracterizado pelas litofácies de arenitos médios a grossos da Associação de Fácies IV (Fig. 87).

A existência de vales incisos (*incised valley*) conforme apregoa o modelo da Estratigrafia de Seqüências quando de uma queda relativa do nível do mar, não encontra aqui uma situação favorável para estas grandes incisões, principalmente pelo tipo de bacia com baixo gradiente topográfico.

Portanto, a realidade que se interpreta das seções de correlação, é uma superfície irregular fruto da erosão, que é preenchida após o rejuvenescimento fluvial verificado, por sedimentos flúvio-deltaicos.

(a)

(b)

Fig. 87 - Exemplo dos arenitos flúvio-deltaicos da Associação de Fácies IV pertencentes ao TSMB3. Descrição no furo IR-153. a) Arenitos médios a grossos de composição quartzo-feldspática e coloração cinza-clara, com contatos erosivos basais, bolas de argila e nódulos de sulfetos. b) Detalhe destes arenitos.

5.4.3.2 - Trato de sistemas Transgressivo 3 (TST3)

A interpretação de um trato de sistemas transgressivo para esta parte da seqüência, baseia-se no fato de suceder uma superfície de inundação marinha, caracterizada no item 5.1 deste capítulo como ST3; no fato de se apresentar nas curvas dos perfis com uma tendência de deflexão ascendente à direita; e, pela possibilidade de se identificar na sua metade inferior, um conjunto de parasseqüências, cujo empilhamento apresenta um padrão retrogradacional.

Foram identificadas cinco parasseqüências, das quais as três primeiras (da base para o topo) terminam em camadas de carvão. O padrão de empilhamento retrogradacional, da mesma maneira que se analisa no TST2, causa a retrogradação de três sistemas laguna/barreira.

As duas últimas parasseqüências representam depósitos numa paisagem onde passa a predominar uma planície de marés, resultado da progressiva transgressão operante, que acaba por afogar as últimas turfeiras. Estas parasseqüências separam-se por uma superfície marcada num pico com alto valor em CPS, caracterizada por uma superfície de inundação marinha. O limite superior da última parasseqüência é descrito facilmente no afloramento da Mina da Cascatinha, onde depósitos de costa-afora da Associação de Fácies VIII, de coloração amarelada, característicos da unidade litoestratigráfica Formação Palermo, sobrepõem-se aos arenitos das barras de *longshore* retrabalhadas por marés, e aos pelitos com *wavy-linsen* das planícies de marés; litofácies estas, pertencentes à Associação de Fácies VII.

Estes depósitos de costa-afora, com pelitos e arenitos das barras de costa-afora, acumulam-se até uma superfície de inundação máxima, a qual designada SIM3, representa a máxima transgressão atingida. Estando assim caracterizada, esta superfície antecede um trato de sistemas de mar alto.

5.4.3.3 - Trato de sistemas de Mar Alto 3 (TSMA3)

Seqüente à SIM3, como colocado logo acima, este trato de sistemas de mar alto ainda apresenta como litologia predominante pelitos e siltitos da Associação de Fácies IX; semelhantes aos litótipos que formam o TST3. Só que mesmo num primeiro momento, apresentando-se com um caráter agradacional, resultado de uma criação de espaço de acomodação igual ao de influxo sedimentar, começa-se a notar uma maior quantidade de siltitos e arenitos finos em relação ao TST3, os quais são observados, principalmente, nas estruturas de bioturbação, preenchendo escavações de icnofósseis do tipo *Teichichnus*.

Vale lembrar, que estes icnofósseis, conforme já discutido no Capítulo 4, denotam taxas de energia significativas do ambiente, equivalentes às zonas de face da praia inferior (*lower shoreface*). Portanto, por esta nova disponibilidade de sedimentos, somadas às condições ambientais de maior energia, verifica-se uma leve progradação, com sedimentos de face da praia progradando sobre os pelitos e arenitos de costa-afora.

Este trato é de fácil identificação nos testemunhos de sondagem, aparecendo com espessuras entre 20,00 e 60,00 metros, cobrindo toda a área. Seu limite superior materializa-se numa superfície que antecede as brechas calcáreas, representando uma discordância designada, conforme visto anteriormente, de LS4.

5.5 - Síntese Paleogeográfica

Neste item far-se-á uma tentativa de reconstruir a história geológica da área, usando os conhecimentos adquiridos até então. O quadro-resumo mostrado na figura 88, onde se relaciona as seqüências aqui mapeadas com unidades geocronológicas e inserção em seqüências tectono-eustáticas de segunda ordem, pode auxiliar no entendimento da evolução paleofisiográfica que será apresentada a seguir.

Primeiramente, durante o Artinskiano, na região estudada, a paisagem era formada por um relevo alto ocupado por geleiras relacionadas à glaciação Neo-Carbonífera/Eo-Permiana. As estruturas preexistentes do embasamento, que condicionavam a existência de vales fluviais, serviram de sítios deposicionais nesta época. Após a glaciação, o degelo foi responsável pelos depósitos das Associações de Fácies I, II e III, os quais gradativamente foram preenchendo estas depressões, passando de um vale fluvial para um vale com configuração de fiorde, já com uma influência marinha maior, resultante do aumento do nível relativo do mar. Este quadro de invasão marinha atingiria seu ápice no tempo de deposição dos depósitos da Associação de Fácies III, estando caracterizada, neste momento, uma mínima contribuição dos depósitos continentais.

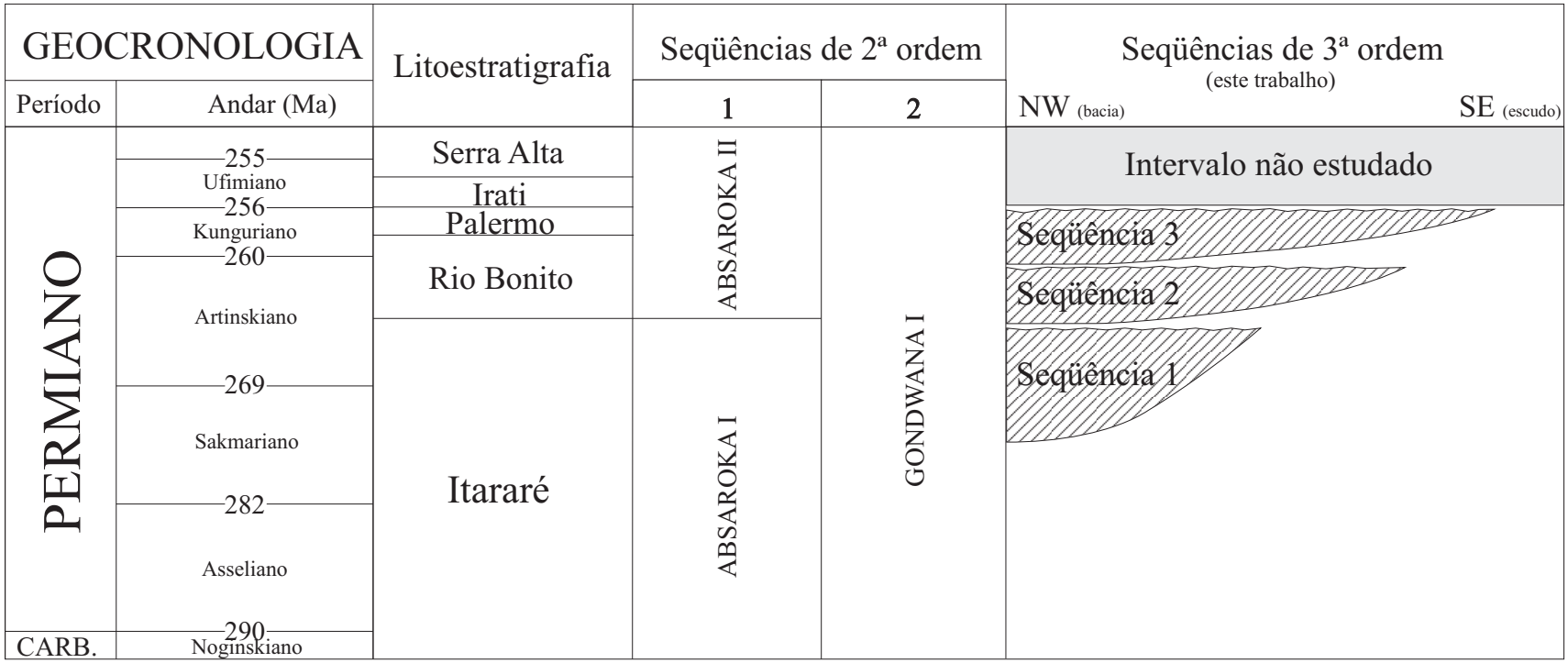


Fig. 88 - Quadro-resumo do arcabouço estratigráfico do intervalo estudado para a região de Cachoeira do Sul. Geocronologia segundo Harland *et. al*. (1989), litoestratigrafia segundo Milani *et. al*. (1994), e seqüências de 2ª ordem: 1 - segundo Sloss (1963) e 2 - segundo Milani (1997).

Este panorama muda quando se presencia o desenvolvimento de um sistema deposicional flúvio-deltaico, resultado de uma queda do nível relativo do mar. A presença desta paisagem formada por canais distributários, baías interdistributários, numa planície deltaica, ainda se desenvolvia na região deprimida a oeste da área.

Ao passar dos tempos, esta paisagem começa a assumir características estuarinas, pela inundação marinha verificada com a superfície transgressiva ST2. Dá-se início, assim, o TST2 com os depósitos basais estuarinos, e após com o retrabalhamento por ondas dos sedimentos flúvio-deltaicos, formou-se uma planície costeira com praias em ilhas de barreiras ou cordões litorâneos. Estas praias, momentaneamente, isolavam lagunas, onde se acumulavam turfeiras que vieram a formar as principais camadas de carvão da área. Este sistema de praias e lagunas, ou, em outras palavras, sistemas laguna/barreira, se repetiram quatro vezes retrogradacionalmente, e só estes depósitos que, finalmente, venceriam os altos do relevo. Em conseqüência disto, deste ponto em diante os sistemas deposicionais começam a se desenvolver numa superfície relativamente plana.

Sobre estes depósitos costeiros, após um rebaixamento do nível relativo do mar materializado pela superfície LS3, ocorre nova deposição clástica com progradação de um novo sistema deposicional flúvio-deltaico. Esta paisagem apresentava, novamente, canais distributários em planícies deltaicas, desenvolvendo-se de sul para norte, preenchendo superfícies irregulares pela erosão, com formas acanaladas semelhantes a vales incisos pouco profundos.

Esta paisagem flúvio-deltaica, após a superfície transgressiva ST3, começa a dar lugar a uma planície de marés, embora em áreas mais proximais ainda tenham se formado três sistemas laguna/barreira, também com caráter retrogradacional.

A continua transgressão que se processou, após formar a planície de marés, toma características essencialmente marinhas com a região de costa-afora tomada por barras arenosas, resultantes de eventos de tempestades que atingiam a costa erodindo os sedimentos desta zona de praia e redistribuindo-os na plataforma, na forma de barras de costa-afora, com estruturas do tipo *hummocky* características da influência destes eventos.

Assim, a progressiva transgressão marinha foi gradualmente restringindo as áreas do relevo ainda emersas e diminuindo a contribuição da sedimentação continental. Este fato atingiu uma máxima expressão areal no terço superior da Formação Palermo, entre as associações de fácies VIII e IX. Após uma leve retomada da sedimentação, resulta na progradação dos ambientes praiais, mais precisamente de face da praia inferior nos sedimentos de costa-afora.

A paleogeografia descrita termina em uma nova superfície erosiva, resultado de uma nova queda do nível relativo do mar e antecedente aos sedimentos da Formação Irati, os quais não foram detalhados neste trabalho.

5.6 - Fatores controladores da sedimentação

O intervalo estudado, como já salientado anteriormente, insere-se na Superseqüência Gondwana I de segunda ordem de Milani (1997), a qual segundo o mesmo apresenta como controladores da sedimentação, tanto a tectônica como a eustasia. A superfície limítrofe basal seria originada a partir de grandes soerguimentos continentais relacionados à orogenia Herciniana, enquanto que o seu limite de topo estaria originado a partir da orogenia da Faixa do Cabo/La Ventana.

È válido, neste momento, colocar algumas características do embasamento da bacia. Conforme Holz (1995), a grande heterogeneidade do embasamento, com inúmeros blocos com subsidência diferencial, reflete movimentações de terceira ordem que pontuavam os eventos maiores que seriam as orogenias paleozóicas que formaram o Pangea II e se manifestaram através de várias fases ativas na margem Sudoeste do Gondwana.

Estes inúmeros blocos devem ter se utilizado dos lineamentos herdados do Ciclo Brasiliano para se movimentarem entre si. Contudo, pelas dimensões restritas da área estudada, estando a mesma situada talvez em um único bloco, não foram notadas grandes diferenças nas taxas de subsidência e/ou soerguimento ao nível de terceira ordem, mantendo-se estas taxas mais ou menos constantes ao longo da área.

A exata avaliação de cada controlador da sedimentação, como a eustasia, a tectônica e o clima; fica prejudicada pela aquisição, nesta pesquisa, de dados puramente estratigráficos. Contudo, é possível identificar a assinatura estratigráfica no registro destes fatores, podendo-se avaliar em certas situações a atuação mais preponderante de um em relação aos outros.

Em relação à primeira seqüência identificada neste trabalho, avalia-se que o clima teve um papel fundamental. Segundo Holz (1995) há um consenso na literatura de que o clima era frio, devendo-se isto, principalmente pela posição do Gondwana em relação ao pólo Sul. A glaciação Neo-Carbonífera/Eo-Permiana e o posterior degelo, sem dúvida

foram fatores que condicionaram a distribuição das fácies na área, as quais tinham como sítio deposicional um vale, localizado na porção Oeste da área, formado a partir de uma estrutura preexistente do embasamento (lineamento, falha). Este vale condicionou a deposição da Seqüência 1 e a parte inferior da Seqüência 2.

Já a superfície discordante entre as seqüências 1 e 2, designada como LS2, pode ter um controle tectônico, tendo se originado a partir do soerguimento do embasamento, mais especificamente do escudo sul-rio-grandense. Zalán *et. al*. (1990) colocam para esta porção da seqüência, uma discordância que seria resultado de movimentações tectônicas na bacia, correspondentes à orogenia tardi-herciniana. Este soerguimento poderia também ser relacionado ao alívio de carga, após o degelo das calotas de gelo, o que causaria uma movimentação positiva do embasamento (soerguimento isostático).

As seqüências 2 e 3, iniciam ambas com um trato de sistemas de mar baixo, que resultam de uma queda do nível relativo do mar, como dito anteriormente, e que possivelmente tenham como controlador desta, a influência da tectônica. É provável que um soerguimento no embasamento, na zona de borda da bacia, tenha causado estas regressões forçadas, com o deslocamento faciológico para dentro da mesma. O restante destas duas seqüências é caracterizado por uma progressiva transgressão marinha, resultante da interação entre subsidência e elevação eustática no nível do mar, que causam um aumento do espaço de acomodação, caracterizando, assim, os tratos de sistemas transgressivos 2 e 3.

O TSMA3 da Seqüência 3, representa uma taxa de aporte sedimentar maior e de caráter local, que resulta na regressão normal dos sedimentos praiais, que acabam, com isso, progradando sobre a SIM3, a qual limita o topo dos depósitos de costa-afora do TST3.

Em relação à existência das camadas de carvão das associações de fácies IV e V, podem estas serem controladas por condições locais de aporte sedimentar ou de evolução dos sistemas deposicionais, estando assim associadas à progradação deltaica ou restrição de lagunas por cordões litorâneos. Outro controlador, sem dúvida, é o clima, pois o carvão é um importante indicador paleoclimático, principalmente em relação à umidade, visto que condições de umidade e chuvas consistentes por todo o ano, são imprescindíveis para o crescimento e formação de turfeiras.

5.7 - Correlação com áreas vizinhas

Finalmente, procurando-se correlacionar o arcabouço cronoestratigráfico e integrar os dados faciológicos com aqueles existentes na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul e em Candiota, nota-se que as correlações são possíveis através das superfícies-chaves do arcabouço cronoestratigráfico de segunda ordem. Já que a nível de terceira ordem, as superfícies-chaves, como limites de seqüência e superfícies transgressivas, não são representativas numa extensão de caráter regional, devido ao contexto de borda de bacia, onde o relevo é muito irregular, reforçado, como dito no item anterior, pela grande heterogeneidade do embasamento, estando o mesmo compartimentado em diferentes blocos. Assim, pela subsidência diferencial, num mesmo tempo algumas áreas podiam se encontrar altas, portanto servindo como áreas fontes, outras se encontrarem mais baixas e, com isso, suscetíveis a eventos de inundação marinha, por exemplo.

Portanto, as superfícies LS1, LS2 e LS4 são correlacionáveis, tanto para a região de Candiota (Della Fávera *et. al*., 1994; Menezes, 1994; e Alves & Ade, 1996), como para a região estudada por Holz (1995). A LS1 seria correspondente a discordância colocada no contato dos sedimentos do Grupo Itararé com o embasamento, portanto mapeado também nessas áreas vizinhas, principalmente no interior dos paleovales. A LS2 correspondente ao contato entre as unidades litoestratigráficas: Grupo Itararé e Formação Rio Bonito, também é verificada nestas áreas. Finalmente, a LS4 corresponde ao contato entre as formações Palermo e Irati, e tanto na área estudada, como na estudada por Holz, antecede brechas calcáreas, sendo assim de fácil correlação.

Embora a correlação do arcabouço de terceira ordem seja possível, as fácies sedimentares identificadas neste trabalho nem sempre podem ser correlacionáveis, não havendo continuidade lateral para todas as áreas vizinhas. Isto decorre em virtude da tectônica diferencial entre blocos, podendo fazer, por exemplo, com que num mesmo tempo de formação e em blocos vizinhos se desenvolvessem fácies fluviais em áreas com soerguimento, enquanto que em áreas com subsidência pronunciada, eventos transgressivos causavam o avanço das fácies marinhas em direção ao continente.

Disto, conclui-se que um estudo feito com ênfase no comportamento estrutural para esta porção da bacia, tentando detalhar taxas locais de subsidência e/ou soerguimento, e avaliar possíveis reativações de antigos lineamentos, pode quem sabe

propiciar uma melhor correlação do arcabouço estratigráfico e o melhor entendimento da distribuição lateral das fácies sedimentares para as áreas vizinhas.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões desta pesquisa. Conforme pode ser verificado em cada uma das considerações colocadas abaixo, os objetivos foram plenamente alcançados. A pesquisa, além de cumprir estes objetivos, levantou novos questionamentos, reforçou idéias preexistentes e impulsionou novas pesquisas, como a que seguiu com a descoberta das conchas desarticuladas de lingulídeos.

Assim, iniciando estas conclusões e considerações finais, a respeito da faciologia sedimentar, a sucessão vertical das fácies sedimentares iniciou com arenitos glácio-fluviais, depositados dentro de um paleovale glacial. Seguiu com a sobreposição de ritmitos caracterizados por turbiditos distais (depósitos glácio-marinhos, que antecedem a sedimentação, já num contexto marinho, de siltitos e pelitos. A evolução se dá com uma retomada da sedimentação continental, com deposição flúvio-deltaica. Este quadro mudou com os depósitos estuarinos, representantes de um novo avanço marinho, responsável pelo retrabalhamento dos depósitos anteriores, formando uma paisagem de planície costeira com litorais, em cordões litorâneos ou ilhas de barreiras, e corpos lagunares, os quais se constituíram no principal local de formação das camadas de carvão descritas. Seguiu-se uma nova progradação de sedimentos flúvio-deltaicos, antes que se verificasse o afogamento definitivo da região. Este afogamento, primeiramente foi responsável pela instalação de uma planície de marés nos locais onde depositavam-se os sedimentos lagunares, e, depois, tornou possível o predomínio dos sedimentos marinhos de costa-afora, num contexto de sedimentação plataformal. A faciologia descrita terminou com a progradação dos depósitos praiais da Associação de Fácies IX.

Com relação ao estudo icnológico, conclui-se que o mesmo trouxe uma grande contribuição para o entendimento da distribuição física dos paleoambientes deposicionais. Tornou-se possível, por exemplo, verificar a pouca atividade biogênica nos depósitos da Sequência I, correspondente na nomenclatura formal à unidade Itararé. Já para a Seqüência II, somente no depósitos da Associação de Fácies VI, situados no

topo da mesma, notou-se a ocorrência eventual da icnofácies *Skolithos* em depósitos de face da praia.

Um grau de bioturbação mais forte foi encontrado na Seqüência III, onde o ambiente de planícies de marés interpretado para a base desta seqüência, com a intercalação dos subambientes de planície arenosa, mista e lamosa, condicionava a ocorrência das icnofácies. Nos arenitos das planícies arenosas, notou-se um domínio da icnofácies *Skolithos* e da icnofácies *Glossifungites*, a qual aparecia demarcando o topo de ciclos de raseamento para o topo. Esta relação mudava da porção intermediária para o topo da mesma, onde verificou-se a interface *Skolithos*/*Cruziana* nas porções de planície mista e lamosa.

Nos depósitos de costa-afora desta Seqüência III, especialmente nas litofácies mais pelíticas, onde as taxas de energia e sedimentação do meio eram baixas, encontrou-se um predomínio da icnofácies *Cruziana*. Este predomínio já não ficava tão evidente, quando se observava as barras de costa-afora, onde se visualizava uma interface das icnofácies *Skolithos* e *Cruziana*.

No terço superior da Seqüência III, com os depósitos da Associação de Fácies IX, verificou-se um predomínio do icnogênero *Teichichnus*. Este fato aliado a outras evidências, como: a pouca quantidade de matéria orgânica e altos níveis de energia do ambiente, denunciados pela presença de *spreiten* retrusivos; significava um meio agitado e com maiores taxas de sedimentação, comparando-se com a situação encontrada na Associação de Fácies VIII, subjacente. Esta informações contribuíram para a interpretação de um trato de sistemas de mar alto (TSMA3) para esta porção do arcabouço cronoestratigráfico.

Outra conclusão a que se chegou, diz respeito às ocorrências verificadas da icnofácies *Glossifungites*, importante no estabelecimento de descontinuidades. Analisadas dentro do arcabouço cronoestratigráfico, verificou-se que em algumas situações demarca superfícies transgressivas, em outras podem responder a situações locais em ambientes protegidos, não dando uma resposta para a ordem em que foi quebrada a seqüência. Outra possibilidade verificada, foi a relação com variações eustáticas do nível do mar numa quarta ordem de grandeza, marcando processos de transgressão ou regressão a nível de parasseqüência.

Com relação à principal ferramenta utilizada para a interpretação e entendimento da estratigrafia, ou seja, à Estratigrafia de Seqüências, esta mostrou-se como uma

metodologia capaz de proporcionar plenamente o entendimento das relações estratigráficas entre associações de fácies, avaliação da importância de cada descontinuidade do registro sedimentar, através das discordâncias ou superfícies de inundação marinha, bem como proporcionar a construção de um arcabouço cronoestratigráfico, que mesmo com a falta de dados referentes a datações, torna possível uma interpretação estratigráfica dinâmica no tempo, oferecendo idealizações a respeito da paleofisiografia, onde pode-se ter uma idéia tridimensional de fácies e visualizar melhor a distribuição de diferentes ambientes autocíclicos.

Com o uso desta ferramenta, conseguiu-se identificar três seqüências deposicionais, as quais separam-se entre si, por superfícies discordantes que se colocaram como resultado de movimentos tectônicos impulsionados por reativação de antigos lineamentos, ou por soerguimento, reflexo do alívio de carga pela retirada da capa de gelo após o degelo que se processou na bacia. A primeira seqüência é dividida nos tratos de sistema de mar baixo, transgressivo e de mar alto. Na segunda, está ausente um trato de sistemas de mar alto, e, finalmente, a terceira seqüência apresenta-se também completa, com os três tipos de tratos de sistema.

Para finalizar, concluiu-se como evidente o condicionamento para a Seqüência I e Seqüência II (porção basal a intermediária), da depressão localizada na porção oeste da área, constituída em um paleovale glacial. Também foi facilmente notável, a concomitância das associações de fácies V e VI, formadas em um ambiente costeiro caracterizado por lagunas e cordões litorâneos ou ilhas de barreiras, respectivamente; estando os sedimentos lagunares colocados, principalmente, na porção sudeste da área.

Recomendações

- Pesquisar e procurar novas ocorrências dos arenitos encontrados da base do furo de sondagem IR-153, aqui interpretados como depósitos glácio-fluviais. Embora apresentada esta interpretação, pelo fato de ter sido identificado unicamente neste furo, uma melhor e mais embasada interpretação poderia ser alcançada com novas ocorrências, seja em testemunhos como em afloramentos;
- Prosseguir na pesquisa e estudo das conchas de lingulídeos encontradas através deste trabalho, comparando com outras ocorrências identificadas em áreas vizinhas. Também é possível tentar relacionar os traços fósseis identificados na seqüência, com estes

organismos, procurando encaixar: organismos produtor com a sua respectiva estrutura de bioturbação;

- Detalhar melhor as evidências do controle tectônico sobre a sedimentação;

- Elaborar pesquisa para entender o porquê da presença quase que única do icnofóssil do tipo *Teichichnus* no topo da Seqüência 3, correspondente ao topo da Formação Palermo. Assim, responder-se-ia a perguntas, como: O que controlou a existência única dos organismos que produziam este tipo de escavação, visto que estão ausentes as icnofácies *Skolithos* e *Cruziana,* presentes até então? Não será esta verificação correlacionável regionalmente, constituindo num ótimo *datum* a ser utilizado em novas correlações?

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, J.R.L. 1983. Studies in fluviatile sedimentation: bar complexes and sandstone sheets (low sinuosity braided streams) in the Brownstones (I. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology*, (33):237-293.

ALVES, R.G. & ADE, M.V.B., (1996), Sequence Stratigraphy and coal petrography applied to the Candiota coal field, Rio Grande do Sul, Brazil: a depositional model. *International Journal of Coal Geology*, (30):231-248.

BORTOLUZZI, C.A.; PICCOLI, A.E.M.; CORREA DA SILVA, Z.C.; CAZZULO-KLEPZIG, M.; BOSSI, G.E. & ANDREIS, R.R. 1980. Estudo geológico da Bacia Carbonífera de Gravataí-Morungava. *In:* XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Camboriú, SC. *Anais*...(1):157-74.

CANT, D.J. 1992. Subsurface Facies Analysis. *In:* WALKER, R.G. & JAMES,N.P. (Eds.). 1992. *Facies Models - response to sea level change*. Geological Association of Canada. p.27-45.

CARVALHO, P.F. 1932. Reconhecimento geológico do Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletim do Serviço Geológico e mineralógico*, (66):1-72, Rio de Janeiro.

CHAVES, H.A.F.; DELLA FÁVERA, J.C.; PEREIRA, E.; MEDEIROS, M.A.M. & CÂMARA FILHO, L.M., (1994), Eventos cíclicos na seqüência Permiana da região de Candiota - RS - Brasil. *Acta Geológica Leopoldensia*, 39 (1):221-34.

CLOETINGH, S. 1988. Intraplate stress: a tectonic cause for third-order cycles in apparent sea level? *In:* WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.S.C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A; VAN WAGONER, J.C. (Eds.) 1988. Sea-level

changes: an integrated approach. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 42:19-29.

CORREA DA SILVA, Z.C. & ARRONDO, O.G. 1977. Tafoflora Permiana de Mariana Pimentel, Município de Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 7:27-44.

DAEMON, R.F. & QUADROS, L.P. 1970. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. *In:* XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Brasília. *Anais...*, p.359-412.

DAEMON, R.F. & MARQUES-TOIGO, M. 1991. An integrated biostratigraphic column for the Paraná Basin, Brasil. *In:* INTERNATIONAL CONGRESS OF CARBONIFEROUS-PERMIAN GEOLOGY AND STRATIGRAPHY. Buenos Aires, Argentina. *Compte-Rendu*.

DALRYMPLE, R.W. 1992. Tidal Depositional Systems. *In:* WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (Eds.). 1992. *Facies Models - response to sea level change*. Geological Association of Canada. p.195-218.

DELANEY, P.J. & GOÑI, J. 1963. Correlação preliminar entre as formações gondwânicas do Uruguai e Rio Grande do Sul. *Boletim Paranaense de Geografia*, Curitiba, v.8/9, p.1-21.

DELLA FÁVERA, J.C.; CHAVES, H.A.F.; PEREIRA, E.; MEDEIROS, M.A.M. & CÂMARA FILHO, L.M., (1994), Evolução geológica da seqüência Permiana da região de Candiota - RS - Brasil. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, 39 (1):235-246.

DELLA FÁVERA, J.C. 1995. Fundamentos da Estratigrafia Moderna. *Notas de Aula*. 2ª ed. Departamento de Geologia e Geofísica, Laboratório de Análise de Bacias e Correlação Geológica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 165p.

DIAS, M.E.R. 1993. Associações microflorísticas dos paleovales do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul, Permiano da Bacia do Paraná, Brasil. *Pesquisas*, Porto Alegre, 20(2): 132-140.

EDWARDS, M. 1986. Glacial environments. *In:* READING, H.G. (Ed.). 1986. *Sedimentary Environments and Facies*, 2nd ed. Blackwell. Oxford. p.445-470.

ELLIOT, T. 1986. Siliciclastic shorelines. *In:* READING, H.G. (Ed.). 1986. *Sedimentary Environments and Facies*, 2nd ed. Blackwell. Oxford. p.155-188.

ETGETON, V.R. 1997. *Aplicação de conceitos da Estratigrafia de Seqüências ao intervalo Permiano-Eotriássico da Bacia do Paraná na região nordeste do Rio Grande do Sul - Brasil*. UFRGS, Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação de Mestrado. 137p.

EYLES, N. & EYLES, C.H. 1992. Glacial depositional systems. *In:* WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (Eds.). 1992. *Facies Models - response to sea level change*. Geological Association of Canada. p.73-100.

FERREIRA, J.A.F.; SUFFERT, T. & SANTOS, A.P. 1978. Projeto Carvão no Rio Grande do Sul. *Relatório Final*. Porto Alegre, DNPM-CPRM, 1978. v. I e II, Jazidas do Rio Grande do Sul; v. III a IX, anexos; v. X a XVI, apêndices.

GAMA Jr., E. & PERINOTTO, J.A.J. 1992. Seqüências e tratos de sistemas deposicionais do Permo-Carbonífero da Bacia do Paraná. *In:* XXXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, São Paulo, SP. *Boletim de Resumos*, p.515-516.

GOLDRING, R. 1993. Ichnofacies and Facies Interpretation. *Palaios*, (8):403-405.

GOODWIN, P.W. & ANDERSON, E.J. 1985. Punctuated aggradational cycles. *Journal of Geology*, (93):515-533.

GORDON Jr, M. 1947. Classificação das formações gonduânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, *Notas Preliminares e Estudos*, Rio de Janeiro, n. 38, p.1-20.

GUERRA-SOMMER, M.; CAZZULO-KLEPZIG, M. & MARQUES-TOIGO, M. 1979. Revisão fitoestratigráfica do Grupo Itararé do Rio Grande do Sul. III - área de Faxinal. *Boletim IG*, Instituto de Geociências, USP, São Paulo. II:76-84.

GUERRA-SOMMER, M.; PICCOLI, A.E.M.; MARQUES-TOIGO, M. & SALDANHA FILHO, P.C. 1985. Estudo integrado de icnocenose associada a molde de invertebrado e palinologia em varvitos do Grupo Itararé (Permiano Inferior do Rio Grande do Sul). *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, Fortaleza. *Anais*... (no prelo).

HARLAND, W.B.; ARMSTRONG, R.L.; COX, A.V.; CRAIG, L.E.; SMITH, A.G. & SMITH, D.G. 1989. *A geologic time scale*. Cambridge University Press, Cambridge. 263p.

HARMS, J.C.; SOUTHARD, J.B.; SPEARING, D.R. & WALKER, R.G. 1975. Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course* Nº 2, Dallas.

HOLZ, M. & DIAS-FLOR, M.A. 1984. Análise estratigráfica da Formação Rio Bonito (Permiano Inferior) na área de Cachoeira do Sul. XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Rio de Janeiro, 1984. *Anais*..., Rio de Janeiro: SBG, p.993-1006.

HOLZ, M. 1995. *Análise estratigráfica do intervalo gonduânico basal (Eo-Permiano) na região nordeste do Rio Grande do Sul - um exercício de estratigrafia*. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre. Tese de Doutoramento. 2V, 250p.

HOLZ, M.; ZWETSCH, G.; SIMÕES, M.G. & CARLUCCI, R.B. 1998. Tafonomia dos invertebrados na Formação Palermo (Kunguriano) da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul: Lingulídeos desarticulados em fácies de tempestitos. XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Belo Horizonte, 1998. *Anais*..., SBG. p.453

LAVINA, E.L.; NOWATZKI, C.H.; SANTOS, M.A.A. & LEÃO, H.Z. 1985. Ambientes de Sedimentação do Supergrupo Tubarão na região de Cachoeira do Sul, RS. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, (21):5-68.

LAVINA, E.L. & LOPES, R. da C. 1987. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no estado do Rio Grande do Sul. *Paula-Coutiana*, Porto Alegre, (1):51-103.

LEIZ, V. 1937. Estudos sobre a glaciação Permo-Carbonífera do Sul do Brasil. *Bol*. Rio de Janeiro, DNPM-SFPM, (21):1-55.

LINDSAY, J.F.; KENNARD, J.M. & SOUTHGATE, P.N. 1993. Application of Sequence Stratigraphy in an intracratonic setting, Amadeus Basin, central Australia. *In:* POSAMENTIER, H.W.; SUMMERHAYES, C.P.; HAQ, B.U. & ALLEN, G.P. (Eds.) 1993. Sequence Stratigraphy and facies associations. Oxford: Blackwell Scientific Publications. *Special Publication 18, IAS*. p.605-631.

LOPES, R.C.; LAVINA, E.L. & SIGNORELLI, N. 1986. Fácies sedimentares e evolução paleoambiental do Supergrupo Tubarão na borda leste da Bacia do Paraná. Uma seção regional nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Goiás, GO. *Anais*... (1):206-218.

LOPES, R.C. 1995. *Arcabouço aloestratigráfico para o intervalo "Rio Bonito-Palermo" (Eo-Permiano da Bacia do Paraná), entre Butiá e São Sepé, Rio Grande do Sul*. São Leopoldo, 254p. Dissertação de Mestrado em Geologia. Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

MacEACHERN, J.A.; RAYCHAUDHURI, I. & PEMBERTON, S.G. 1992. *In:* PEMBERTON, S.G. (Ed.). 1992. Applications of Ichnology to petroleum exploration - A Core Workshop. *Society for Sedimentary Geology* - SEPM Core Workshop Nº17. p.169-198.

MACHADO, M.A.P. 1994. *O degelo final Permiano e o seu registro geológico na borda sudeste da bacia do Paraná (Paleovale de Candiota-RS)*. UFRGS, Porto Alegre, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação de Mestrado. 165p.

MARQUES-TOIGO, M. 1988. *Palinologia, bioestratigrafia e paleoecologia do Neo-Paleozóico da Bacia do Paraná dos estados do RS e SC, Brasil*. Tese de doutoramento, Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre. 259p.

McCUBBIN, D.G. 1982. Barrier-Island and strand-plain facies. *In:* SCHOLLE, P.A. & SPEARING, D. (Ed.). 1982. Sandstone depositional environments. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*, (31):247-279.

MEDEIROS, R.A. 1996. Sistemas deposicionais - Processos, Fácies e Ambientes sedimentares. *Notas de Aula*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Curso de Pós-Graduação em Geociências.

MENEZES, J.R.C., (1994), Seqüências de segunda e terceira ordens (0,5-50 ma) do Permiano da Bacia do Paraná na região de Candiota (RS). *In:* XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Camboriú, SC. *Boletim de resumos expandidos*, (1):597-98.

MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B. & SCHNEIDER, R.L. 1994. Bacia do Paraná. *In:* FEIJÓ, F.J. (Ed.). 1994. Cartas estratigráficas das bacias sedimentares brasileiras. Rio de Janeiro, *Boletim Geociências da PETROBRAS*. Rio de Janeiro, (8):1-249.

MILANI, E.J. 1997. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre. Tese de Doutoramento. 2V. 255p.

MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R. & THOMPSON, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. *In:* PAYTON, C.E. (Ed.). 1977. Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 26:53-62.

NETTO, R.G. & GONZAGA, T.D. 1985. Paleoicnologia do Grupo Guatá (Supergrupo Tubarão) nos sedimentitos da Mina do Iruí, Cachoeira do Sul, RS. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, 21 (IX):77-102.

NETTO, R.G. 1995. *A Paleoicnologia como ferramenta de trabalho na seqüência sedimentar Rio Bonito/Palermo*. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre. Tese de Doutoramento. 2V., 272p.

NORTHFLEET, A.A.; MEDEIROS, R.A. & MUHLMANN, H. 1969. Reavaliação dos dados geocronológicos da Bacia do Paraná. *Boletim Técnico Petrobrás*, 12(3): 291-346.

PEMBERTON, S.G.; FREY, R.W; RANGER, M.J. & MacEACHERN, J.A. 1992a. The conceptual framework of ichnology. *In:* PEMBERTON, S.G. (Ed.). 1992. Applications of Ichnology to petroleum exploration - A Core Workshop. *Society for Sedimentary Geology* - SEPM Core Workshop Nº.17. p.1-32.

PEMBERTON, S.G.; MacEACHERN, J.A. & FREY, R.W. 1992b. Trace fossil facies models: environmental and allostratigraphic significance. *In:* WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (Eds.). 1992. *Facies Models - response to sea level change*. Geological Association of Canada. p.47-72.

PEMBERTON, S.G. & WIGHTMAN, D.M. 1992. *In:* PEMBERTON, S.G. (Ed.). 1992. Applications of Ichnology to petroleum exploration - A Core Workshop. *Society for Sedimentary Geology* - SEPM Core Workshop Nº.17. p.141-168.

PICCOLI, A.E.M.; HOLZ, M.; SARTURI, J.A.D.; MUNARO, P.; GRANITOFF, W. 1985. Estratigrafia da Bacia Carbonífera de Charqueadas, Santa Rita, RS, Brasil. *Pesquisas,* (17): 269-310.

PICCOLI, A.E.M.; LOPES, R.C. & CAMOZZATO, E. 1986. Análise paleoambiental das jazidas de carvão do estado do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, 22 (X):35-54.

PICCOLI, A.E.M. 1989. Relações estratigráficas entre as fácies Budó e Suspiro (Grupo Itararé) nas Folhas de Vila Nova, Lagoa da Meia Lua e Suspiro, RS. *Pesquisas*, Porto Alegre, (22): 45-51.

POSAMENTIER, H.W.; ALLEN, G.P.; JAMES, D.P. & TESSON, M. 1992. Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: concepts, examples and exploration significance. *AAPG Bulletin*, 76 (11):1687-1709.

POSAMENTIER, H.W. & JAMES, D.P. 1993. An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. *In*: POSAMENTIER, H.W.; SUMMERHAYES, C.P.; HAQ, B.U. & ALLEN, G.P. (Eds.) 1993. Sequence Stratigraphy and facies associations. Oxford: Blackwell Scientific Publications. *Special Publication 18, IAS*. p.3-18.

READING, H.G. 1986. Facies. *In:* READING, H.G. (Ed.). 1986. *Sedimentary Environments and Facies*, 2nd ed. Blackwell. Oxford. p.4-19.

REINECK, H.-E. & SINGH, I.B. 1975. *Depositional sedimentary environments*. Springer verlag, Berlin, 439p.

RIBEIRO, H.J.P.S.; LAVINA, E.L.C.; LOPES.R.C.; ALBUQUERQUE, L.F.DE; ROSA, A.A.S. DA; GOLDBERG, K.; CALARGE, L.M.; COLOMBO, M.; VILLEGAS,

M.B.; BERTEL, S.R. & BOCALON, V.L.S. 1993. *Aplicação do conceito de parasseqüência na mina abandonada da Cascatinha. Bacia do Paraná, município de Cachoeira do Sul, RS*. São Leopoldo, UNISINOS (Inédito). (Trabalho apresentado no Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 1993, Curitiba).

SAVRDA, C.E. 1991. Ichnology in sequence stratigraphic studies: An example from the lower Paleocene of Alabama. *Palaios*, (6): 39-53.

SAVRDA, C.E. 1995. Ichnology applications in paleoceanographic, paleoclimatic, and sea-level studies. *Palaios*, (10):565-577.

SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Porto Alegre. *Anais*..., SBG. (1):41-65.

SEILACHER, A. 1967. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, (5):413-428.

SLOSS, L.L. 1963. Sequences in the cratonic interior of North America. *Geological Society of American Bulletin*, 74:93-113.

SOARES, P.C.; LANDIM, P. & FÚLFARO, V.J. 1974. Avaliação preliminar da evolução geotectônica das bacias intracratônicas brasileiras. *In:* XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Porto Alegre. *Anais*..., SBG. (4):61-83.

SYVITSKI, J.P.M.; BURREL, D.C. & SKEI, J.M. 1987. *Fjords - processes and products*. Springer Verlag, 379p.

TOMAZELLI, L.J. & SOLIANI Jr., E. 1982. Evidências de atividade glacial no Paleozóico Superior do Rio Grande do Sul, Brasil. *In:* XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Salvador, BA. *Anais*... (4):1378-89.

TOMAZELLI, L.J. & SOLIANI Jr., E. 1997. Sedimentary Facies and depositional environments related to Gondwana glaciation in Batovi and Suspiro regions, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol.10 N°.3-4 p.295-303.

VAIL, P.R.; MITCHUM, R.M. & THOMPSON, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea from coastal onlap. *In:* PAYTON, C.E. (Ed.) 1977. Seismic stratigraphy - applications to hidrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* (26):63-81.

VAIL, P.R. 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure. *In:* BALLY, A.W. (Ed.) 1987. Atlas of seismic stratigraphy, V.1. *American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology*, (27):1-10.

VAIL, P.R. & WORNARDT, W.W. 1990. Well log - seismic sequence stratigraphy: an integrated tool for the 90's. GCSSEPM Foundation Eleventh Annual Research Conference. *Abstracts*. p.379-388.

VAIL, P.R.; AUDEMARD, F.; BOWMAN, S.A; EISNER, P.N. & PEREZ-CRUZ, C. 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology - an overview. *In:* Einsele, G.; Ricken, W. & Seilacher, A. (Eds.) 1991. *Cycles and events in stratigraphy*. Springer Verlag, Berlin. p. 617-659.

VAN WAGONER, J.C; POSAMENTIER, H.W.; MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R.; SARG, J.F.; LOUTIT, T.S. & HARDENBOL, J. 1988. An overview of sequence stratigraphy and key definitions. *In:* WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.G.; ST. C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (Eds.) 1988. Sea-level changes: an integrated approach. *SEPM Special Publication*, (42):39-45.

VAN WAGONER, J.C; MITCHUM, R.M.; CAMPION, K.M. & RAHMANIAN, V.D. 1991. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series*, N°. 7, 55p.

VISSER, M.J. 1980. Neap-spring cycles reflected in Holocene subtidal large-scale bedform deposits: preliminary note. *Geology*, (8):543-546.

WALKER, R.G. & PLINT, A.G. 1992. Wave-and Storm-Dominated Shallow Marine Systems. *In:* WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (Eds.). 1992. *Facies Models - response to sea level change*. Geological Association of Canada. p.219-238.

WHITE, I.C. 1908. *Relatório sobre as Coal Measures e rochas associadas ao Sul do Brasil*. Rio de Janeiro, Com. Est. Minas Carvão de Pedra do Brasil. pt. 1. 300p.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T. & ZANOTTO, O.A. 1990. Bacia do Paraná. *In:* RAJA GABAGLIA, G.P. & MILANI, E.J. (Coords.). 1990. *Origem e evolução das bacias sedimentares.* PETROBRAS. p.135-168.

UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Instituto de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geociências

ATA Nº 343

A comissão abaixo assinada, tendo examinado a Dissertação de Mestrado do aluno **ROBERTO BERGMANN CARLUCCI**, intitulada " Análise Estratigráfica do Intervalo Eo-Permiano da Bacia do Paraná na Região de Cachoeira do Sul - RS, Brasil ", atribui os seguintes conceitos:

Prof. Dr. **Nilo chagas de Azambuja Filho.**

Conceito: "B" (Bom) - Parecer anexo.

Dr. **César Cainelli.**

Conceito: "A" (Excelente) - Parecer anexo.

Prof. Dr. **Claiton Marlon dos Santos Scherer.**

Conceito: "A" (Excelente) - Parecer anexo.

Porto Alegre, 15 de março de 2000.

Homologação pela Comissão de Pós-Graduação.	
Ata nº 02/2000	**Data:** 07/04/2000
Conceito Final: "A" (Excelente)	
Rubrica:	

Roberto Martins Pereira
Assistente em Administração
C.I. nº 03016-0/1

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
"Análise Estratigráfica do Intervalo Eo-Permiano da Bacia do Paraná na Região de Cachoeira do Sul - RS, Brasil"
Área de Concentração: Estratigrafia
Autor: **ROBERTO BERGMANN CARLUCCI**
Orientador: Prof. Dr. **MICHEL HOLZ**
Examinador: Prof. Dr. CLAITON MARLON DOS SANTOS SCHERER
Data: 23/01/2000
Conceito: A
PARECER:
EM ANEXO.

Assinatura: [signature] Data: 23/01/00

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: [signature]

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DO INTERVALO EO-PERMIANO DA BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO DE CACHOEIRA DO SUL – RS, BRASIL.

Área de Concentração: Estratigrafia

Autor: Roberto Bergmann Carlucci

Orientador: Prof. Dr. Michael Holz

Examinador: Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Data: 20/01/2000

Conceito: A

Parecer:

A dissertação analisada trata-se de um trabalho de ótima qualidade, onde o autor aplicou os conceitos da estratigrafia de seqüências em uma área-chave da seção permo-carbonífera da Bacia do Paraná no Estado do Rio Grande do Sul. O texto está bem escrito, com os objetivos claros, sendo esses plenamente atingidos. O autor demonstra, dominar o assunto apresentado, sendo pouco freqüentes os erros conceituais. As figuras são de boa qualidade, apresentando um caráter elucidativo e complementar ao texto, sendo na sua grande maioria inéditas. As legendas são claras, facilitando o entendimento das figuras. A bibliografia utilizada e bastante atualizada, cobrindo de forma equânime os diferentes assuntos abordados na dissertação. No entanto, cabe ressaltar que falta a listagem de algumas referências citadas no texto (e.g. Parrish, 1982).

Os capítulos da dissertação estão bem estruturados e apresentam um ordenamento lógico entre eles. O autor descreve as associações de fácies, discute os aspectos icnológicos e apresenta o arcabouço estratigráfico. O capítulo de icnologia, foi para mim uma grata surpresa. Normalmente, a análise estratigráfica não tem levado em conta as características icnológicas dos depósitos. No entanto, apesar de não ser o tema principal da dissertação, o capítulo está muito bem organizado, abordando o conteúdo de forma objetiva e didática, facilitando a compreensão do leitor leigo no assunto (entre os quais me incluo). A partir da análise icnológica o autor alcançou resultados que auxiliaram na interpretação paleoambiental e no arcabouço estratigráfico proposto.

Apesar de todos os méritos apresentados pela dissertação, algumas questões merecem uma reflexão mais detalhada. Cabe ressaltar, que as colocações aqui apresentadas devem servir como sugestões que visam melhorar ainda mais o trabalho para futuras publicações. Como por exemplo a parte referente a caracterização faciológica. O autor trabalha com o conceito de associação de fácies, que se entende como um conjunto de fácies geneticamente relacionada que tem algum significado ambiental. No entanto, em nenhum momento o autor apresenta as fácies que compõem cada associação. Uma vez que as fácies consistem no bloco básico da análise estratigráfica, seria interessante que constasse uma tabela com uma descrição rápida e interpretação sucinta dos processos deposicionais geradores das fácies de cada associação individualizada. Isto, com certeza, valorizaria ainda mais o trabalho apresentado.

As associações de fácies estão suficientemente descritas, embora algumas associações estão mais detalhadas que outras, o que é comum em trabalhos estratigráficos deste tipo, devido a maior ou menor familiaridade do autor com um determinado sistema deposicional. Merece destaque, a discussão acerca da AFVII, onde os depósitos gerados resultam de um sistema híbrido onda/maré. Acredito que este consiste em um dos principais pontos referentes a definição e interpretação de sistemas deposicionais. A quase totalidade dos livros textos apresenta os sistemas de forma estanque. No entanto, em muitos exemplos do registro geológico os depósitos sedimentares resultam da interação de diferentes sistemas deposicionais. Considero que este aspecto pode ser melhor explorado quando o autor for publicar os resultados da dissertação. O autor trabalhou com afloramentos com cortes tridimensionais (Barrocada e Cascatinha), onde é possível reconstruir as macroformas e interpretar com mais precisão os depósitos gerados pela interação onda e maré, semelhante ao efetuado por Rosseti (1997- *Sediment. Geol*, 114. 163-188) na Bacia de São Luiz.

A união entre as associações de fácies e o arcabouço da estratigrafia de seqüências proposto para a área foi realizado de forma clara e objetiva. Entretanto cabe ressaltar algumas questões. Os critérios para a definição de algumas das superfícies-chave não foram suficientemente discutidos. Por exemplo, a SIM1 é marcada no limite entre a AF2 e AF3. No entanto, se olharmos os perfis de raio-gama, o pico mais radiativo, que teoricamente separa um padrão retrogradacional (tendência de deflexão ascendente à direita) de um progradacional (tendência de deflexão ascendente à esquerda), encontra-se dentro da AF2.

Outra questão que necessitaria uma discussão mais detalhada são as correlações laterais das associações de fácies que compõem as paraseqüências do TST3. Segundo o autor, cada paraseqüência seria constituída por uma associação de fácies proximal (AFV) interpretada como lagunar, que passaria lateralmente para depósitos de ilhas de barreiras (AFVI), que por sua vez, interdigitaria nas suas porções mais distais com uma associação de fácies de planície de maré (AFVII). Entretanto, existe um problema conceitual a ser resolvido. Em contextos de ilhas de barreiras, os depósitos de planície de maré ocorrem dentro da laguna, próximo dos canais de maré (vide Rosseti, op. cit.; Dalrymple, 1992 – bibliografia citada na dissertação; Mckie, 1990 – J. Goel. Soc. London, 147: 785-794). As barras arenosas de *shoreface* superior/inferior, como é precisamente o contexto apresentado para a AFVII, não podem ser associados à planície de maré. Talvez, a designação mais correta para a AFVII, seja de arenitos e pelitos de plataforma mixta onda/ maré, coadunando-se, desta forma, ao modelo de correlação lateral das associações de fácies das paraseqüências do TST3.

Quanto ao empilhamento interno das seqüências, faltou uma discussão sobre os fatores que levaram a ausência do TSMA2 na Seqüência II. A falta deste trato é decorrente da erosão dos seus depósitos pelo TSMB3, ou o mesmo não teve o seu desenvolvimento na área em estudo? Se o TSMA2 não foi depositado, qual o foi o principal fator controlador? Seria decorrente de um rápido aumento seguido por uma abrupta diminuição da taxa de criação do espaço de acomodação, sem desenvolvimento do ponto de inflexão R?

Outro ponto que mereceria uma abordagem mais detalhada refere-se à correlação regional das seqüências de 2ª ordem individualizadas no trabalho. Poderia ter sido construída uma seção de correlação estratigráfica esquemática envolvendo as áreas vizinhas, ressaltando-se as similaridades e diferenças entre elas. Um aspecto

que não ficou claro, por exemplo, é por que o LS2 não foi identicado nas áreas adjacentes.

Em suma, apesar dos pontos destacados anteriormente, considero a dissertação de boa qualidade, estando o Mestre Roberto Carlucci e o orientador Prof. Dr. Michael Holz de parabéns.

Prof. Dr. Claiton M. S. Scherer
Depart. Paleontologia e Estratigrafia/UFRGS

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"Análise Estratigráfica do Intervalo Eo-Permiano da Bacia do Paraná na Região de Cachoeira do Sul - RS, Brasil"

Área de Concentração: Estratigrafia

Autor: **ROBERTO BERGMANN CARLUCCI**

Orientador: Prof. Dr. **MICHEL HOLZ**

Examinador: Dr. NILO CHAGAS DE AZAMBUJA FILHO

Data: 28/12/199

Conceito: B (BOM) PS.: A FALTA DA DEFESA PERANTE UMA BANCA TIROU A OPORTUNIDADE DO ALUNO DE DEFESA O QUE PODE TER SIDO PREJUDICIAL P/O CONCEITO FINAL.

PARECER:

A dissertação de um modo geral atende os pré-requisitos. Está bem ilustrada e encadeada dentro de um raciocínio lógico. Apesar de ser um intervalo estratigráfico bastante estudado observa-se que o autor conseguiu dar sua contribuição ao assento.

No entanto existem alguns pontos que devem ser mencionados com vistas a contribuir para o trabalho e mesmo para da preparação de eventuais publicações a partir dessa dissertação, que são os seguintes:

1- Sugiro que o Abstract seja reescrito para divulgação. Acredito que existem pessoas (professores) como o Dr. P. Potter que poderiam dar uma opinião neste sentido.

(2) Ilustração ilegíveis - pg Fig 6, 9, 10, 11

(3) Problema na descrição dos fácies Ex: pg 29 quinto fino, grosso. Deveria ser arenito com granulometria fina etc. (fine-grained sandstone)

4 - "Pavimentos estriados "sentido N-S" - deveria ser c/ estrias orientadas N-Sul e sentido do gelo de Sul p/ NORTE.

5- Alguns fotos deveriam ter indicações dos fenômenos mencionados no texto Ex Fig 56 (folha 6) - descrição da pg 99

6 - Faltou explicar melhor porque as fácies acima da base da TST2 são as mesmas.

7 - Não está claro para o leitor a idéia da pg 139 sobre as progradações - Deveria ter um modelo para exemplificar a idéia.

8 - Não está claro na pg 149 a importância da ocorrência do fácies de bioturbação (pg 68) e sua relação com os

Sedimentos de laguna e canyon no fundo. Embora na seção estratigráfica seja possível observar-se seu relacionamento.

9- Na pg 154. A conclusão de que o TSMA3 tem uma base de sedimentação mais alta do que os outros trato basicamente com base no Teichichnus é muito arriscado. Vale a pena fazer uma restrição a sequência 3 e aos tratos TST, TSmn3.

10- A conclusão do controle da deposição do carvão na pg 154 ficou muito teórica deveria ter sido embasada com observações do Trabalho. Neste caso deveria ter sido muito mais exemplificados os dados inclusive ressaltar a vantagem do método de análise estratigráfica para predição de novos ocorrências de camadas de carvão e o tipo, sua relação com o embasamento e estruturação.

11- VALES INCISOS:

Aqui cabe alguns pontos de observação o primeiro é que o autor menciona que a bacia por ser uma rampa com baixo gradiente não teria os vales incisos desenvolvidos. Cabe mencionar que na pg 155 o autor diz que correlações com dois vizinhos são possíveis na 2ª ordem e que as superfícies de 3ª ordem não tem correlação. (FALTA ILUSTRAÇÃO) Mas se fosse realmente uma rampa de baixo gradiente deveríamos esperar que essas correlações fossem boas inclusive na 4ª ordem. Qual a razão? O Tectonismo como o autor menciona deve ter tido o seu papel mas será que nós temos muito mais incisões do que se pensa. Qual seria a implicação econômica desta hipótese? Métodos geofísicos poderiam ser sugeridos para melhorar os dados, em especial de imageamento do embasamento.

12- por último, percebe-se que a L54 mostra um relevo expressivo no topo da TSMA-3 - implicando numa erosão de vários metros. Qual o dado para embasar isto? Ou será que é apenas um problema de correlações?

Acredito que se o autor tivesse a oportunidade de fazer a apresentação pronte uma boa parte destas dúvidas seriam facilmente resolvidas e o seu conceito final poderia ter sido A.

Assinatura: [signature] Data: 28/12/1999

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: Roberto Bergmann Corrêa

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"Análise Estratigráfica do Intervalo Eo-Permiano da Bacia do Paraná na Região de Cachoeira do Sul - RS, Brasil"

Área de Concentração: Estratigrafia

Autor: **ROBERTO BERGMANN CARLUCCI**

Orientador: Prof. Dr. **MICHEL HOLZ**

Examinador: Dr. CÉSAR CAINELLI

Data: 10/01/2000

Conceito: "A" (EXCELENTE)

PARECER:

A dissertação esta bem escrita, com poucos e normais erros. O mestrando cumpre com os requisitos esperados para um mestrando, mostrando habilidade no manuseio de um banco de dados; integrando-o; aplicando uma metodologia; e extraindo conclusões. Nota-se esmero na elaboração de Figuras e seções geológicas.

O mestrando demonstra capacidade de integrar e principalmente explicar os fenômenos que ocorrem na área de estudo, expondo uma sequência lógica e contextenada de eventos. Louva-se o esforço na utilização de icnofacies com conotação paleoambiental, assunto ainda controverso e sujeito a debates.

Um ponto crucial foi o estabelecimento de um datum de amarrações entre os poços que serviu para a construção das seções geológicas. Aparentemente, como salientado pelo mestrando, o estabelecimento desta superfície sincrona não mostra nos perfis uma consistência ou padrão muito claro. Entendo que o mestrando optou mais pela amarração das associações de Facies em detrimento das feições de perfis. Entretanto, lembro que fácies são diácronas e devem ser tomadas com certo cuidado. Independente destes comentários, o mestrando diante das limitações de não haver um claro e distinto

marco, adotou um, manteve e apresentou uma paleoevolução coerente com os dados apresentados. Às vezes, diante das limitações impostas pelos dados, é preciso determinação, consistência, coragem e postura. Isto também faz parte do aprendizado e o mestrando soube trabalhar e conviver com isto.

Segue abaixo pequenos comentários e sugestões:

pp 3 → sempre que se associa um acidente geográfico com uma figura, o mesmo deve aparecer na Fig. Exemplo Depressão Periférica deveria aparecer na Fig 1.

pp 3 item 1.1 → pelas coordenadas oferecidas a área de estudo, considerando um quadrado, seria de 2688 Km² e não 2592.

pp. 7 Fig 2 → Os furos citados IR-03, RC-73 e RC-75 não estão na Figura.

pp. 9 → Afloramento 6 (Barrocada) está fora da área de estudo considerando as coordenadas do item 1.1.

pp 11 → Faltou numerar seções dig 1, 2 e 3 como o fizeste para as strikes.

pp 26 → 3º parágrafo. Estas supersequências estão citadas no item 1.3 e não 1.2.

Capítulo 2 → Um quadro geral integrando o arcabouço estratigráfico dos vários autores teria oferecido uma visão mais clara e simples das várias nomenclaturas e subdivisões adotadas.

pp 35 → Os pacotes arenosos não contém as estruturas descritas na pp 34 (1º parágrafo).

pp 75 → item 3.10. Conclusões (1º parágrafo) A menos que a Fm. Rio Bonito faça parte do Grupo Itararé, você não estudou a Fm. Rio Bonito

pp 76 → nesta e em várias figuras faltou colocar o ambiente sedimentar da AF IX de acordo com o colocado nas outras AF's

pp 77 → última linha → ambiente de praia inf., mas no item 3.9.2. Fala-se em sedimentos de plataforma.

pp 112 → Na legenda da figura e nas outras seções geológicas deveria constar ... (Vide localização da seção na Figura 4)

Assinatura: [signature] Data: 10/01/2002

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: Roberto Bergmann Coltanni

pg 159 → 2º parágrafo. O TSMA, na verdade, não está ausente, ele pode estar pouco desenvolvido ou condensado com o TSPS. Se você está no transgressivo e vai estabelecer um limite de seqüências, necessariamente passa-se pelo TSMA.

Finalizo que os pontos e comentários acima não impactam o trabalho desenvolvido... A perfeição deve sempre ser buscada mas não será nunca alcançada.

Assim, emito parecer no sentido de considerar o candidato Roberto Bergmann Carlucci apto a receber o título de Mestre em Geociências enquanto confiro-lhe o conceito "A" (Excelente).

Assinatura: [signature] Data: 10/04/2000

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: Roberto Bergmann Carlucci