



## 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

### LITOFÁCIES DA FORMAÇÃO IRATI NO FURO DE SONDAGEM FP-01-PR (PERMIANO, BORDA LESTE DA BACIA DO PARANÁ)

Rosemarie Rohn<sup>1</sup>, Leandra Costa Lages<sup>2</sup>, Jean-René Ribeiro Penatti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UNESP-Rio Claro – Departamento de Geologia Aplicada, Av 24A, 1515. CEP 13506-900, rohn@rc.unesp.br

<sup>2</sup> UNESP-Rio Claro – Mestranda em Geologia Regional pelo PRH-05/ANP/MCT, Av 24A, 1515. CEP 13506-900, lclages@rc.unesp.br

<sup>3</sup> Halliburton - Serviços Ltda., Av. Prefeito Aristeu Ferreira da Silva, 1000. CEP 27930-070, jeanpenatti@hotmail.com

**Resumo** – A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) está sendo analisada através de testemunhos do furo de sondagem FP-01-PR, perfurado pela CPRM, (coordenadas UTM 7.384.500N/562.000E, a 513m de altitude), no Município Congonhinhas (PR). No presente trabalho, são apresentados os resultados das análises petrográficas e a seção colunar do furo, além de breves discussões sobre os contatos litoestratigráficos. Embora a Formação Irati já tenha sido exaustivamente pesquisada, algumas novas características foram constatadas, principalmente para o Membro Taquaral, da parte inferior da formação, com cerca de 22,5m de espessura. Este membro apresenta três discretos ciclos granocrescentes nos folhelhos. O ciclo médio grada para rochas heterolíticas arenosas sobrepostas por delgadas coquinas de bivalves. Não há registros anteriores de bivalves para o Membro Taquaral. O Membro Assistência, com 21,5m de espessura no furo de sondagem, assemelha-se, em geral, às ocorrências do nordeste da bacia, porém com menor espessura, apresentando ritmitos micríticos e alternância de micritos e folhelhos betuminosos, com mesossauros restritos à sua metade superior. Todos os micritos são impuros, demonstrando que sempre houve alguma contribuição siliciclástica. Também são relevantes as finas brechas com restos de peixes encontradas nos contatos inferior e superior da Formação Irati, sugerindo que os contatos são discordantes.

Palavras-Chave: Formação Irati, estratigrafia, carbonatos, bivalves, Permiano

**Abstract** – The Irati Formation (Passa Dois Group, Permian, Paraná Basin) is being analyzed in the borehole FP-01-PR of the CPRM Company (UTM cord. 3845.00N/562.000E, at the altitude of 513m), in Congonhinhas (PR). This study presents the petrographic results and the columnar section of the borehole, including some discussions about the lithostratigraphic boundaries. Although the Irati Formation has been exhaustively studied, some new aspects have been observed, especially for the 22.5m thick Taquaral Member at the lower part of the Formation. This Member presents three discrete upward coarsening shale cycles, the middle of which grades to sandy heterolithic rocks with wavy bedding, overlain by fine bivalve coquinas. There are no previous records of moluscan bivalves for the Taquaral Member. The Assistência Member, 21.5m thick in the borehole, is similar to the successions of the Northeastern Paraná Basin, but thinner, composed of micritic ritmites and alternated micrites and betuminous shales, with mesosaurs in its upper half. All micrites are impure, indicating that siliciclastic contributions were continuous. Another important aspect is the occurrence of fine breccias with fish remains at the lower and upper boundaries of the Formation, suggesting that they correspond to unconformities.

Keywords: Irati Formation, stratigraphy, carbonates, bivalves, Permian

## 1. Introdução

A Formação Irati do Permiano da Bacia do Paraná está merecendo estudos palinológicos, geoquímicos, petrográficos e cronoestratigráficos através de testemunhos do furo de sondagem FP-01-PR e outros da CPRM (Figura 1). No presente trabalho, são apresentados os resultados das análises petrográficas dos carbonatos e a seção colunar do principal furo abordado, incluindo informações sobre os contatos litoestratigráficos.

A Formação Irati pertence à parte inferior do Grupo Passa Dois e subdivide-se nos membros Taquaral e Assistência. O membro superior contém folhelhos betuminosos explorados experimentalmente em São Mateus do Sul (PR) pela Petrosix/Petrobrás. Há mais de um século, a unidade vem despertando interesse científico pela sua relativa homogeneidade lateral ao longo de centenas de quilômetros, pela alternância marcante de folhelhos e calcários, especialmente no nordeste da bacia, e pela presença dos répteis aquáticos primitivos (mesossauros), os quais também ocorrem no Permiano Inferior da Namíbia e da África do Sul.

Embora a Formação Irati já tenha sido bastante estudada, ainda permanecem muitas dúvidas sobre os seus ambientes deposicionais, o grau de restrição da bacia ou de comunicação com o oceano, a posição e a natureza dos contatos litoestratigráficos (discordantes ou concordantes), o significado das sucessões carbonáticas/siliciclásticas mistas, sua idade e as interpretações no âmbito da estratigrafia de seqüências. Trabalhos petrográficos detalhados já foram realizados por Hachiro (1996) e Araújo (2001) para afloramentos e outros poços. Ainda assim, o estudo do furo de sondagem FP-01-PR trouxe algumas novidades, especialmente a constatação de dois níveis de coquinas de moluscos bivalves na parte inferior da formação (Membro Taquaral).

## 2. Materiais e Métodos

O furo de sondagem FP-01-PR, perfurado pela CPRM no Projeto Carvão (Borda Leste), localiza-se nas coordenadas UTM 7.384.500N/562.000E, a 513m de altitude, no Município Congonhinhas (PR), na borda leste da Bacia do Paraná (Figura 1). Os testemunhos estão guardados no depósito da CPRM (LIR/AR) em Araraquara (SP).

Todos os principais carbonatos foram amostrados para a confecção de 20 lâminas delgadas (L-1 a L-20), indicadas na Figura 1, guardadas na UNESP/IGCE/DGA. As descrições dos carbonatos foram baseadas nas classificações de Folk (1962). No caso das litofácies com 50 a 70% de micrita e o restante constituído por grãos siliciclásticos finos, optou-se pelo uso do termo marga (Bissell & Chilingar, 1967). O grau de dolomitização das rochas carbonáticas foi determinado através do teste de tingimento pela aplicação de solução de alizarina.

## 3. Litofácies da Formação Irati reconhecidas no furo FP-01-PR

As litofácies estão listadas na legenda da Figura 1. Na Formação Irati, há cinco litofácies carbonáticas e quatro siliciclásticas, além de delgadas camadas de brechas ricas em restos de peixes.

**Micritos dolomíticos quase puros:** São biomicritos dolomíticos, verificados nos dois membros, nas lâminas L-3, L-4, L-5, L-14, L-18 e L-19, apresentando algumas evidências de recristalização da calcita e alguns níveis de estrutura grumosa. Há pequenos grãos de quartzo, mica e feldspato detríticos. Na lâmina L-18, observam-se lâminas submilimétricas com grandes concentrações de grãos de quartzo na base, diminuindo para o topo. Níveis com sílex na forma de lentes e nódulos (Figura 2C), de espessura milimétrica, acham-se associados, por vezes, a cristais de pirita. Os fósseis são representados por ostracodes, bivalves muito pequenos (Figura 2D), escamas e outros restos de peixes. Foram identificados icnofósseis endoestratais de *Chondrites* e *Planolites* por Tognoli (comun. verb., 2002) na lâmina L-5 (Figura 2B). Estas microbioturbações podem evidenciar um substrato pouco oxigenado (Kyungwan & Ekdale, 1997).

**Micritos dolomíticos e margas intercaladas:** São alternâncias de margas areno-argilosas, contendo lâminas de margas mais arenosas e outras mais argilosas, com micritos dolomitizados, observados nas lâminas L-1, L-2, L-6, L-15 e L-16, nos dois membros da formação. Os níveis mais arenosos apresentam grande quantidade de grãos angulosos a subangulosos de quartzo, mica e feldspato. A rocha apresenta aspecto laminado. Há lentes de sílex, cristais de pirita, restos de peixes levemente orientados (Figura 2H) e bivalves. A cerca de 224-225m de profundidade, ocorrem intercalações de coquinas de bivalves, descritas abaixo. Pode-se observar, ainda, pequenas deformações evidenciadas pelas micro-ondulações presentes nas margas. Cavidades e fraturas podem estar impregnadas de hidrocarboneto viscoso (betume).

**Micritos dolomíticos brechados:** São constituídos por fragmentos angulosos de micrito dolomítico e/ou marga areno-argilosa, verificados nas lâminas L-7, L-8, L-9, L-11, L-12 e L-13, na base do Membro Assistência. Às vezes, os fragmentos apresentam alguns níveis de estrutura grumosa, além de grãos na fração silte de quartzo, feldspato e mica. Entre os fragmentos, há calcedônia fibrosa, calcita e, às vezes, betume. A litofácies caracteriza-se por apresentar muitas deformações e fraturas irregulares, com organização caótica dos fragmentos carbonáticos (Figuras 2E, F), podendo haver porções com aspecto rítmico deformado. Intercala-se a estratos delgados de folhelhos carbonosos ou normais.

**Rítmito:** Esta fácies caracteriza-se pela alternância rítmica de micritos dolomíticos com folhelhos carbonosos em lâminas milimétricas a submilimétricas, verificada nas lâminas L-10, L-17 e L-20. O micrito apresenta pseudomorfo de gipso. Os folhelhos são sericíticos, com grandes quantidades de illita e esmectita. Há intercalações de delgadas lâminas

Lito-estrat.	Raios Gama	Lâminas/Figuras	Litologias/Estruturas	Fósseis	Resist.	Legenda
Fm Serra Alta						Brecha
						Arenito médio
						Arenito fino
						Folhelho siltoso
						Folhelho argiloso
						Coquina de bivalves
						Micrito dolomítico quase puro
						Micrito dolomítico e marga intercalada
						Ritmito de micrito dolomítico e folhelho (lâminas milimétricas)
						Micrito dolomítico brechado com intercalações irregulares e deformadas de marga
						Laminação plano-paralela
						Interlaminacões areníticas arranjadas em acamamento wavy e lenticular
						Estratificação cruzada hummocky
						Nódulos de pirita
						Nódulos de sílex
						Diques clásticos de marga
						Iconofósseis
						Moluscos bivalves
						Escamas/dentes de peixes
						Crustáceos
						Mesossauros
						1m Escala da seção colunar

Figura 1. Localização do furo de sondagem FP-01-PR e seção colunar do intervalo da Formação Irati.

ou lentes de grãos detríticos subangulosos, na fração silte e areia muito fina, constituídas por quartzo, feldspato e mica. Ao nível microscópico, o ritmo pode apresentar acamamento finamente ondulado a lenticular (Figura 2G).

**Coquinas de bivalves:** São constituídas por valvas bastante delgadas, pouco convexas, silicificadas, fragmentadas, com extremidades angulosas, densamente empacotadas, em posições sub-horizontais a caóticas de bivalves, provavelmente espécies novas. Em planta, algumas valvas alcançam 6mm de comprimento. As coquinas ocorrem apenas no Membro Taquaral, com espessuras milimétricas (lâminas L-1, Figura 2A) a centimétricas (L-2) e também no furo FP-03-PR. As coquinas estão intercaladas às litofácies de micritos dolomíticos e margas. Há muitos grãos de quartzo associados.

**Folhelhos siltosos e folhelhos argilosos:** São as rochas siliciclásticas predominantes e, freqüentemente contêm nódulos de pirita e escamas dispersas de peixes. No Membro Taquaral, percebem-se ligeiras variações granulométricas ao longo dos folhelhos, notando-se tendência muito discreta de organização granocrescente ascendente em três corpos com cerca de 6 a 8m de espessura. O corpo médio grada para rochas heterolíticas de folhelhos e arenitos (vide abaixo) e coquinas. O terceiro corpo tem granulação mais fina e apresenta, na parte inferior, uma intercalação de micrito dolomítico quase puro com bivalves e *Chondrites*. No Membro Assistência, os folhelhos são betuminosos. O primeiro corpo de folhelho, acima do micrito dolomítico brechado, apresenta diques clásticos irregulares de marga. Os corpos de folhelhos seguintes têm espessuras de 1 a 2m, com granocrescência ascendente mais evidente que nos folhelhos do Membro Taquaral. Mais acima, os folhelhos são relativamente homogêneos e maciços, alcançam espessuras centimétricas a decimétricas e apresentam nódulos de sílex, intercalando-se aos micritos dolomíticos quase puros. Próximo ao topo da formação, após os últimos calcários, os folhelhos voltam a ser mais espessos, com granocrescência ascendente, às vezes, com ligeiras interlaminações de arenitos muito finos.

**Rochas heterolíticas com acamamento wavy:** Correspondem a dois corpos decimétricos, na porção média do Membro Taquaral (a 224-225m de profundidade), formados por arenitos muito finos e folhelhos, com acamamento *wavy* e bioturbação, ambos sobrepostos por delgados micritos dolomíticos com margas e coquinas de bivalves intercaladas.

**Arenitos muito finos:** Na parte inferior do Membro Assistência (aproximadamente a 211m de profundidade), há um arenito decimétrico com estratificação cruzada *hummocky*, depositado por ondas induzidas por tempestades.

**Brechas com restos de peixes:** Apresentam espessura irregular de 0,5 a 1,5cm, contato basal erosivo, sendo constituídos por intraclastos irregulares de carbonatos, escamas, dentes e prováveis coprólitos de peixes, e possíveis fragmentos de conchas. Ocorrem no contato basal da Formação Irati e no topo (ou na base da Formação Serra Alta).

#### 4. Caracterização Litoestratigráfica

A Formação Irati, no furo de sondagem FP-01-PR, apresenta cerca de 44m de espessura, sendo 22,5m do Membro Taquaral e 21,5m do Membro Assistência.

No contato inferior com a Formação Palermo, verificou-se um fino nível brechóide que pode ser interpretado como um *lag* transgressivo, indicando a presença de discordância. A natureza do contato inferior tem sido bastante discutida na literatura. As brechas basais também foram observadas em Santa Catarina e São Paulo (segundo alguns autores *apud* Hachiro, 1996) e nos furos FP-03-PR e FP-12-SP (Figura 1). Segundo Hachiro (1996) e Araújo (2001), a base do Membro Taquaral corresponderia a uma superfície transgressiva, coincidindo com a interpretação aqui apresentada. Anteriormente, o Membro Taquaral sempre foi considerado como uma unidade bastante homogênea, constituída apenas por folhelhos. No entanto, o furo de sondagem FP-01-PR demonstrou a presença de três ciclos discretamente granocrescentes, ocorrendo inclusive, no final do ciclo médio, a passagem gradual de folhelhos para rochas heterolíticas mais arenosas e micritos dolomíticos com coquinas de bivalves. O terceiro ciclo, provavelmente depositado em águas mais profundas, inclui um nível micrítico próximo à base, com bivalves esparsos e icnófósseis *Chondrites* e outros, característicos de águas pouco oxigenadas (Kyungwan & Ekdale, 1997). Na borda leste da bacia, as espessuras do Membro Taquaral são bastante variáveis (cerca de 7m em FP-12 a 25-26m em FP-03- e FP-04).

Obedecendo as propostas estratigráficas anteriores, o contato entre os membros Taquaral e Assistência foi posicionado no nível de aparecimento dos primeiros carbonatos mais espessos. Correspondem aos micritos dolomíticos brechados, os quais se assemelham a alguns calcretes (Flügel, 1982), indicativos de climas secos. Hachiro (1996) priorizou o aparecimento dos folhelhos betuminosos para reconhecer o contato, mas também comentou que tal passagem poderia estar acompanhada por carbonatos e sais de sulfatos, muitas vezes identificados por uma brecha. Araújo (2001), na base do Membro Assistência, constatou camadas de gesso/anidrita ou brechas carbonáticas de diversos tipos, onde as calcedônias de hábito fibroso (também observadas no presente trabalho) indicariam substituição pseudomórfica de sulfatos. Portanto, parece haver relativo consenso de que a parte inferior do Membro Assistência foi depositada em condições áridas ou semi-áridas. Acima da brecha, comparando-se diversos poços em Hachiro (1996), Araújo (2001) e os da CPRM em estudo (Figura 1), percebe-se que o Membro Assistência é relativamente variável quanto às intercalações carbonáticas e às respectivas espessuras. As interpretações, no âmbito da estratigrafia de seqüências (Hachiro, 1996; Araújo, 2001), também variam, deixando-se esse assunto para trabalhos futuros. No furo FP-01-PR, acima da brecha, ocorrem alguns micritos e margas intercalados entre folhelhos, nem sempre presentes em todos os poços, seguindo-se o ritmo de micrito dolomítico e folhelho, com grande extensão geográfica (correspondendo ao banco de calcário dolomítico explorado nas pedreiras do nordeste e norte da bacia). Neste ritmo há pseudomorfos de gesso, indicando, novamente, condições de aridez. No furo FP-01-PR, não foram encontrados tempestitos de coquinas de crustáceos como os verificados nas pedreiras em São Paulo (Hachiro, 1996), mas outros tempestitos foram reconhecidos. O último intervalo carbonático da Formação Irati, com pacotes centimétricos a decimé-

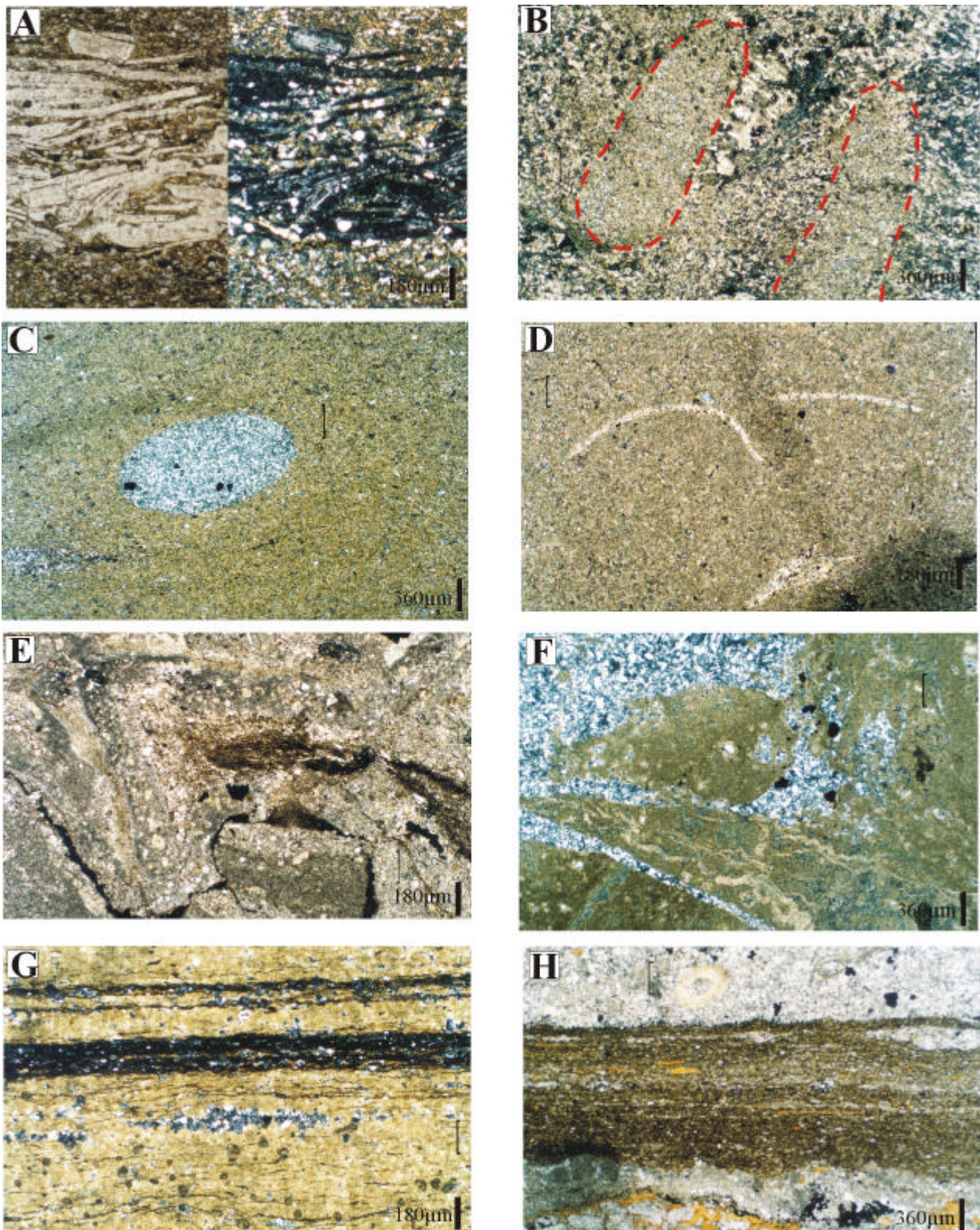


Figura 2. Principais litofácies carbonáticas da Formação Irati no furo de sondagem FP-01-PR. (Siglas: L-1 a L-20 = lâminas petrográficas, cujas posições estão indicadas na Figura 1. N// = nicóis paralelos; NX = nicóis cruzados).  
**A** – Coquina de bivalves intercalada em margem. L-1. Esquerda: N//; direita: NX.  
**B** – Icnofóssil *Chondrites* em micrito dolomítico quase puro (caracterizada por uma estrutura grumosa). L-5. NX.  
**C** – Nódulo de sílex em micrito dolomítico. L-19. NX.  
**D** – Fragmento de bivalve em micrito dolomítico quase puro. L-4. N//.  
**E** – Micrito dolomítico brechado com fragmentos irregulares e deformados de micrito e/ou margem. L-8. N//.  
**F** – Fraturas preenchidas por calcedônia no micrito dolomítico brechado. L-12. NX.  
**G** – Ritmito de micrito dolomítico e folhelho (lâminas milimétricas) e finas lentes com quartzo. L-17. NX.  
**H** – Micrito dolomítico e margem intercalada. Notar o dente de peixe na porção superior da foto. L-20. N//.

tricos alternados de folhelhos betuminosos e micritos dolomíticos, desaparece ao sul do furo FP-03 e é bem mais espesso rumo a nordeste. Tanto os ritmitos, quanto essas alternâncias mais espessas, provavelmente tiveram controle climático, já tendo sido atribuídos a ciclos de Milankovitch (Hachiro, 1996).

No furo de sondagem FP-01-PR, o topo da Formação Irati foi assinalado cerca de 3m acima dos últimos carbonatos, no nível de uma fina brecha, a qual pode corresponder ao *lag* transgressivo da Formação Serra Alta, sobreposta. Esta brecha também foi observada nos furos FP-03, FP-04 e FP-11 ou parece correlacionar-se a um nível com densidade um pouco maior de carapaças de crustáceos (FP-12). Na região de Rio Claro, Limeira e Ipeúna, o contato superior da Formação Irati é caracterizado por um arenito submétrico muito fino com estratificação plano-paralela e, localmente, em Ipeúna, estratificação cruzada *hummocky* (Rohn, 1998). Seria mais coerente interpretar que este arenito corresponda à base da Formação Serra Alta (regionalmente incluída na Formação Corumbataí), mas o pacote inclui vértebras ainda articuladas de mesossauros e crustáceos completos (não retrabalhados) típicos da Formação Irati, inexistentes na unidade seguinte. Também é digno de nota que, em áreas mais ao sul, o contato superior da Formação Irati localiza-se quase imediatamente acima do ritmito (onde o Membro Assistência pode ter menos do que 16m de espessura, como nos furos FP-03, FP-04 e FP-11), enquanto que, rumo ao norte, ocorre ainda o espesso pacote de micritos dolomíticos alternados com folhelhos betuminosos (onde o membro alcança 31m, como em FP-12). O conjunto de dados, pelo menos da borda leste/nordeste da bacia, sugere que o contato superior seja discordante, além de representar uma acentuada mudança faunística. Hachiro (1996) e Araújo (2001) consideraram que o contato superior coincide com o desaparecimento dos folhelhos betuminosos, porém não interpretaram a coincidência com uma discordância. Segundo Araújo (2001), o limite de seqüência, ou seja, a discordância, ocorreria somente mais acima, dentro da Formação Serra Alta. O furo FP-01-PR parece demonstrar que este limite deveria estar em posição um pouco mais baixa.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo apoio financeiro através do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás (PRH-05/ANP/MCT). Agradecem também à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), pelas facilidades de acesso aos testemunhos de sondagem. Especiais agradecimentos são estendidos aos professores Dr. Dimas Dias-Brito, Dr. Antenor Zanardo e ao doutorando Francisco M.W. Tognoli (UNESP - Rio Claro), pela colaboração nas análises petrográficas.

## 6. Referências

- ARAÚJO, L. M. *Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica e inorgânica nas seqüências Irati*. Porto Alegre, 260 p., Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- BISSEL, H. J. & CHILINGAR, G. V. Classification of sedimentary carbonate rocks. In: CHILINGAR, G.V.; BISSEL, H.J.; FAIRBRIDGE, R.W. (eds.). *Carbonate Rocks*. Amsterdam: Elsevier, p. 87-168, 1967.
- FLÜGEL, E. *Microfacies analysis of limestones*. Berlin, Springer-Verlag, 633 p., 1982.
- FOLK, R. L. Spectral subdivision of limestone types. In: HAM, W. E. (ED), *Classification of Carbonate Rocks*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p. 62-84, (AAPG Memoir, 1), 1962.
- HACHIRO, J. *O Subgrupo Irati (Neopermiano) da Bacia do Paraná*. São Paulo, 196 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1996.
- KYUNGWAN, J. & EKDALE, A. A. Geometric modeling of branching patterns in the trace fóssil *Chondrites*. In: *Geological Society of América*, Abstracts with Programs. 29 (6), 107 p., 1997.
- ROHN, R. O topo da Formação Irati (Bacia do Paraná, Permiano) na região de Rio Claro (SP). In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 40, Belo Horizonte. SBG, Anais..., p. 108, 1998.