FRATURAS CONTROLADORAS DA MIGRAÇÃO DE FLUIDOS NOS ARENITOS VILA VELHA, GRUPO ITARARÉ, BACIA DO PARANÁ.

SIDNEI PIRES ROSTIROLLA¹, CIRO JORGE APPI², FERNANDO MANCINI¹, RONALDO PAULO KRAFT³ & MARCELO KULEVICZ BARTOSZECK³**ABSTRACT** FRACTURE CONTROL IN FLUID MIGRATION IN THE VILA VELHA SANDSTONES, ITARARÉ GROUP, PARANÁ BASIN

A deformation model is presented, which explains the distribution and type of fracturing in the Vila Velha Sandstones, outcropping in eastern border of Paraná Basin, south Brazil. The studied sedimentary section consists of shallow sub aqueous sandstone lobes of the Campo Mourão Formation, Itararé Group, deposited in a periglacial environment. The study was based on detailed description of outcrops, interpretation of aerial photos and structural analysis of fractures and structural blocks. The sandstones occur as sub horizontal beds, tilted apart from large faults. Deformation bands, zones of deformation bands and slip planes are the recognized structural elements affecting sandstones, which are probably associated to a regional fault zone evolution. The fracture system is conjugated, striking mainly to N10-20E and N60-80W. Fracture induced permeability is inferred from large and small-scale structures in outcrops, where the wall rocks are oxidized and silicified close to slip planes. This situation suggests that the fractures functioned as conduits during its formation, being transformed to barriers to fluid migration after mineral precipitation.

Keywords: Fractured Reservoir, Intracratonic Basin, Permian.

RESUMO Este trabalho apresenta um modelo estrutural para a distribuição e o tipo de fraturamento dos Arenitos Vila Velha, aflorantes na borda leste da Bacia do Paraná, sul do Brasil. A seção sedimentar estudada compreende lobos arenosos subaquáticos, depositados em ambiente periglacial, situados estratigraficamente na Formação Campo Mourão, Grupo Itararé. O estudo foi baseado em interpretação de fotografias aéreas, levantamento de dados de campo em escala de detalhe e análise estrutural descritiva e cinemática de fraturas e blocos estruturais. Os arenitos ocorrem como camadas subhorizontais, basculadas a partir das falhas maiores. Bandas de deformação, zonas de bandas de deformação e planos de deslizamento foram os elementos estruturais reconhecidos, que afetam os arenitos e estão associados provavelmente à evolução de uma zona de falha de caráter regional. Dentre as várias direções observadas, predomina um sistema de fraturas conjugadas, dispostas segundo as direções N10-30E e N60-80W. A permeabilidade induzida pelo fraturamento foi inferida a partir de estruturas de pequena e grande escala presentes em afloramentos, onde as rochas adjacentes aos planos de deslizamento estão oxidadas e silicificadas. As fraturas serviram como condutos durante a fase principal de movimentação, porém funcionam atualmente como barreiras à migração de fluidos devido à precipitação mineral subsequente.

Palavras-chaves: Reservatório fraturado, Bacia intracratônica, Permiano.

INTRODUÇÃO O Grupo Itararé contém, em sua seção colunar, vários níveis estratigráficos onde predominam arenitos com bom potencial para reservatórios. Estes arenitos têm sido alvo de exploração na Bacia do Paraná, principalmente visando à descoberta de gás proveniente da Fm. Ponta Grossa. A determinação desses alvos considera a migração de hidrocarbonetos ao longo de falhas e em zonas adjacentes a diques de diabásio, quando tais estruturas conectam as rochas geradoras (devonianas) aos reservatórios (permianos e carboníferos). No Campo de Barra Bonita (Milani & Catto 1998), Bacia do Paraná, a acumulação de gás ocorre preenchendo os espaços porosos de arenitos do Grupo Itararé, estruturados em trapa anticlinal e capeados por uma soleira de diabásio.

Devido à deposição associada ao degelo, a arquitetura estratigráfica e a tipologia de fácies é complexa no Grupo Itararé, ocorrendo rochas reservatório de origem variada, desde fácies canalizadas e de lobos deposicionais geradas por processos gravitacionais subglaciais, até depósitos deltaicos periglaciais, plataformais rasos ou de canais e barras de desembocadura com influência glacial direta. Não obstante o caráter de complexidade sedimentológica/estratigráfica, que tem sido objeto de estudo por muitos pesquisadores, as características deformacionais também influenciam sobremaneira a migração de fluidos entre camadas reservatório e a circulação interna de fluxo nos corpos arenosos, tal como evidenciado em muitos exemplos de afloramentos na bacia. Em função da escala localizada, tais características são normalmente negligenciadas em estudos exploratórios, em virtude da dificuldade em detectar tais estruturas por métodos sísmicos ou poços. Porém, em escala de afloramento é comum a observação de fraturas controladoras da migração de fluidos, representadas ora por faixas cimentadas (condutos antigos) ora por zonas com convergência de fluidos (condutos atuais).

Este trabalho apresenta e discute aspectos descritivos e cinemáticos destas fraturas, expostas nos Arenitos Vila Velha, localizados na Fazenda Rivadavia, BR 376, que liga Curitiba a Ponta Grossa (Fig. 1). O termo "Arenitos Vila Velha" foi cunhado informalmente por França *et al* (1996), para representar a seção arenosa aflorante no Parque Estadual Turístico de Vila Velha, Ponta Grossa, PR. O objetivo principal do estudo foi caracterizar os elementos estruturais existentes na região, representados principalmente por falhas com pequeno deslocamento, sistemas de juntas e bandas de deformação. Como produtos intermediários foram elaborados painéis de afloramentos, seções colunares e um mapa geológico simplificado da área, com a discriminação das unidades faciológicas e das feições estruturais principais.

O trabalho envolveu uma análise fotogeológica inicial, com a descrição de elementos texturais e estruturais em aerofotografias 1:25.000 (ITC/PR 1980), discriminando as feições lineares (lineações e alinhamentos) e as rupturas de declive (quebras positivas e negativas). A interpretação das fotos resultou em uma compartimentação do terreno, com definição dos pequenos blocos estruturais e feições deformacionais rúpteis. Adicionalmente, foram definidas também subunidades mapeáveis na escala 1:25.000 e seus graus de resistência, representativos de tipos faciológicos diferenciados. Após a análise de fotos-aéreas, foi desenvolvido um reconhecimento de campo, quando foram levantadas informações estruturais e sedimentológicas em escala de detalhe.

CONTEXTO GEOLÓGICO-ESTRATIGRÁFICO As rochas estudadas fazem parte da Formação Campo Mourão, Grupo Itararé, Bacia do Paraná, sendo representadas pelos "Arenitos Lapa-Vila Velha" (França *et al.* 1996). Segundo França e Potter (1988), o Grupo Itararé é uma unidade glaciogênica com cerca de 1200 metros de es-

1 - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia, Caixa Postal 19001 Centro Politécnico, 81531-990 Curitiba - PR. E-mail: sidnei@geologia.ufpr.br, ferman@geologia.ufpr.br

2 - Petróleo Brasileiro S.A., Centro de Pesquisas Leopoldo A. Miguez de Mello - CENPES, Quadra 7, Ilha do Fundão, Cidade Universitária, 21949-900 Rio de Janeiro - RJ. E-mail: appi@cenpes.petrobras.com.br

3 - Bolsista CNPq/IC, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia, Caixa Postal 19001 Centro Politécnico, 81531-990 Curitiba - PR

Figura 1 – Localização da área de estudo.

Figura 2 – Carta estratigráfica do Grupo Itararé (mod. França e Potter 1988, apud França et al. 1996).

peçura, que compreende as Formações Lagoa Azul, Campo Mourão, Taciba e Aquidauana (Fig. 2). Na área dos Arenitos Lapa-Vila Velha, o Grupo Itararé é representado por arenitos e conglomerados basais da Formação Campo Mourão, sobrepostos discordantemente a folhelhos marrom-chocolate, ritmitos e diamictitos, correlatos à Formação Lagoa Azul. Os depósitos estudados compreendem fácies arenosas, localmente conglomeráticas e argilosas, geradas em contexto periglacial, durante a evolução de um sistema subaquoso canais-lobos.

França et al. (1996) descrevem os Arenitos Lapa, que ocorrem da cidade de Lapa, PR, para sul, como um corpo de morfologia linear, alongado na direção norte-sul e encaixado em diamictitos, ritmitos e folhelhos. Segundo aqueles autores, os Arenitos Vila-Velha, aflorantes

no Parque Estadual de Vila Velha são representados por arenitos sobrepostos a ritmitos e diamictitos, na forma de platôs subhorizontais. A interpretação de França et al. (1996) considera ambos componentes de uma mesma sequência deposicional, com os Arenitos Lapa representando os canais e os Arenitos Vila Velha como lobos subaquosos, depositados num ambiente glacialmente induzido.

Na área, podem ser individualizadas quatro subunidades faciológicas da Formação Campo Mourão, denominadas informalmente de subunidades Icm1 a Icm4 (Fig. 3), além de afloramentos da Formação Ponta Grossa e rampas de colúvio nas áreas mais baixas do terreno. A subunidade Icm1 compreende folhelhos e siltitos cinza-escuros, com intercalações de camadas de arenito muito fino. A subunidade Icm2, imediatamente sobreposta, é constituída de arenitos finos a médios, maciços, com constantes estruturas de fluidização, configurando fácies de lobos de suspensão e barras de desembocadura depositados por desaceleração de fluxo. A subunidade Icm3 compõe-se de lobos arenosos maciços, com forma lenticular a acunhada, com estruturas de amalgamação; sua interpretação é semelhante à subunidade Icm2, porém com maior densidade de fluxo e tendência a processos trativos mistos com desaceleração de fluxo; na parte superior desta subunidade, gradacionalmente ocorrem arenitos grossos a conglomerados. A subunidade Icm4 contém camadas contorcidas, depositadas em discordância sobre a subunidade Icm3, em contexto de fluxos gravitacionais. Ocorrem níveis com feições de deslizamento e, sobre esses, arenitos grossos a médios, com estratificação plano-paralela ou em cunha. A parte superior da subunidade Icm4 contém algumas camadas de barras sigmoidais, rítmicas, gradacionais na base e topo, tendendo a gradação inversa, marcando um novo ciclo, apenas parcialmente preservado da erosão atual.

França et al. (1996) levantaram várias seções colunares em toda a área de abrangência dos arenitos Lapa-Vila Velha. Uma destas seções (referenciada como "ponto 15" naquele trabalho) está localizada na escarpa onde foi efetuado o presente estudo (Fig. 4). Nesta seção, ocorrem arenitos, folhelhos e diamictitos componentes de um conjunto de sistemas de lobos deposicionais, típico dos Arenitos Vila Velha. A seção inicia, em sua porção inferior, com lobos arenosos e diamictitos de um trato de sistemas de leques de assoalho, sobrepostos por um trato de sistemas de mar baixo e acima um trato de sistemas transgressivos (Fig. 5). A porção superior, sobre o segundo nível de folhelhos (Fig. 4), compreende o platô onde foram feitos os levantamentos estruturais de detalhe.

A seção arquitetural da figura 6 retrata uma sucessão vertical transgressiva-regressiva de alta resolução, com as associações de fácies basais (I e II) compreendidas na subunidade Icm3 e as associações superiores (III a VI) compoem a subunidade Icm4. De modo geral, as camadas apresentam geometria tabular, com variação lateral das espessuras e texturas, representando lobos amalgamados. No setor leste do painel, a seção inicia na base com arenitos mal selecionados, imaturos e feldspáticos (Associação I), passando a arenitos também mal selecionados a imaturos com estratificação cruzada acanalada, decimétrica, em corpos amalgamados (Associação II), depois arenitos com média seleção, menos feldspáticos e com estratificação cruzada de grande porte (Associação III); acima ocorre uma associação de transição, com média seleção na base, granocrescência ascendente e aumento de cimentação no topo, passando de estratificações cruzadas em cunha para plano-paralela e de baixo ângulo (Associação IV); sobrepostos ocorrem arenitos quartzosos grossos, com estratificação plano-paralela bem marcada no topo (Associação V); no topo arenitos muito grossos gradam lateralmente para arenitos médios, maciços e com boa seleção, contendo níveis silicificados (Associação VI). As associações I a VI provavelmente representam uma parassequência, interna ao trato de sistemas transgressivos de França et al. (1996, Fig. 5), com deposição de barras de desembocadura deltaicas na base, de costa afora na porção intermediária e fácies litorânea inferior (*lower shoreface*) na porção superior, evidenciando um ciclo de arrasamento para o topo. No setor oeste repete-se a sequência, porém com inversão granulométrica das associações IV e V, que apresentam características de deposição diferenciada em função de variações locais de energia do regime.

Figura 3 – Mapa geológico de detalhe, mostrando a distribuição das unidades mapeadas (pg – Formação Ponta Grossa e coberturas quaternárias; Icm1, Icm2, Icm3 e Icm4 – subunidades da Formação Campo Mourão), frequência de fraturas descritas em afloramentos (diagramas de rosetas, total de 506 medidas), indicação dos pontos de afloramentos (círculos preenchidos), falhas (feições lineares maiores) e sistemas de juntas (conjuntos de feições lineares menores). À direita, foto utilizada para interpretação (foto n. 47953, escala original 1:25.000, ITC-PR).

ANÁLISE ESTRUTURAL Elementos Estruturais O acervo estrutural da área compreende um arranjo sistemático de pequenas fraturas e falhas em escalas variadas. Os principais elementos estruturais foram obtidos a partir do traçado de feições lineares em fotografias aéreas (Fig. 3), reconhecimento de campo em toda a área mapeada (diagramas estruturais nas figuras 3 e 7 e fotos na Fig. 8) e análise detalhada das associações faciológicas, zonas de falha e blocos estruturais (painel da Fig. 6). De modo geral, as camadas dispõem-se na posição subhorizontal, com leves basculamentos, gerados por rotação e abatimentos de blocos. Ocorrem dois sistemas principais de fraturas N10-30E e N60-80W, com maior frequência na direção N10-20E, subverticais (Figs. 3 e 7 e foto 1 na Fig. 8). Existem também juntas isoladas em outras direções, embora menos frequentes. A distribuição final configura um sistema de pequenos *grabens* e *horsts*, limitados por falhas com pequeno rejeito, da ordem de dezenas de centímetros a localmente poucos metros (foto 2, Fig. 8). O movimento ao longo destas falhas é evidenciado por lineações (foto 4, Fig. 8) e feições anastomosadas em escala métrica (foto 5, Fig. 8). Em escala de mão ou microscópica observam-se bandas de deformação (fotos 6 e 7, Fig. 8), onde ocorre microfraturamento com caráter anastomosado e cimentação característica por óxidos de ferro e/ou sílica.

O basculamento de blocos é observado tomando-se como base o nível inferior da associação V (Fig. 6), representado por um diastema, sobre o qual ocorrem dobras convolutas sindeposicionais. Esse nível, discordante, serve como marcador da deformação, configurando uma situação de vales e altos, alinhados segundo a direção N10E, com deslocamento vertical de cerca de 2 a 3 metros, comparando-se a parte mais alta com a parte central ou bloco baixo (fotos 2 e 3, Fig. 8). Ao

longo das fraturas limitadoras destes blocos concentra-se a cimentação, que em muitos casos também percola níveis primários dentro das camadas.

As zonas de cisalhamento foram classificadas como bandas de deformação (conforme definição de Aydin 1978), por apresentarem características de deformação intergranular em material poroso, concentrada em faixas estreitas com rejeitos de decímetros a poucos metros. Tanto em campo como nas fotos aéreas, a caracterização dessas zonas cisalhadas é facilitada pela cimentação, indicando que tais zonas foram mais propensas à migração de fluidos quando ativas. Quando inexistente uma cimentação adicional, as bandas de deformação são de difícil visualização.

Na literatura, as bandas de deformação são também denominadas bandas de cisalhamento, fraturas de cisalhamento e zonas de compactação tabular (Aydin 1978, Antonellini e Aydin 1994) ou “fraturas preenchidas com *gouge*” (Nelson 1985, *apud* Antonellini e Aydin 1994). Por definição, uma banda de deformação é uma estrutura tabular muito pouco espessa, usualmente com 0,5 a 2 mm, alcançando raramente poucos centímetros, com razoável continuidade lateral e pequenos rejeitos (até poucos decímetros). Segundo Aydin (2000), rejeitos da ordem de metros a dezenas de metros originam uma falha propriamente dita. Entretanto, bandas de deformação com rejeitos métricos são descritas por Jamison e Stearns (1982), sendo restritas a faixas próximas a grandes falhas.

Nos Arenitos Vila Velha, as bandas de deformação apresentam rejeitos de poucos milímetros a centímetros e são abundantes. Fraturas

As bandas de deformação são mais conspícuas nas subunidades Icm3 e Icm4, embora a intensidade da deformação seja semelhante nas

Figura 6 – Seção arquitetural elaborada sobre painel fotográfico. Explicações no texto.

Figura 7 – Diagramas estruturais de fraturas observadas em afloramentos (a – isolinhhas; b – roseta de frequência, com indicação das direções prováveis para a tensão máxima; 506 medidas).

da falha. Porém, atualmente funciona como barreira hidráulica, em virtude da presença da sílica e do óxido de ferro.

A tipologia das zonas cisalhadas indica que o movimento ocorreu ainda com os sedimentos pouco consolidados, tendo em vista a deformação principalmente intergranular. Em tal situação é de se supor um aumento volumétrico dentro da zona fraturada, com ampliação dos espaços para migração e, portanto, diminuição da pressão efetiva (pressão total menos a pressão de fluidos). Uma vez que é a pressão efetiva que controla o fraturamento em rochas porosas (Mandl e Harkness 1987), as fraturas podem ter sido geradas ou mesmo ter condicionado novas fraturas em regiões adjacentes. Tal modelo deverá ser testado em estudos futuros.

Interpretação Cinemática A organização em famílias de fraturas indica origem tectônica, gerada por esforços regionais, na qual a pressão de fluidos atuou como um fator secundário, podendo ser entendida mais como consequência do que como causa da deformação. Obviamente, os dados estruturais são escassos para uma interpretação definitiva acerca do sistema deformacional atuante. Não obstante podem ser destacados os seguintes aspectos: (1) a geometria é caracterizada por *grabens* e *horsts*, com concentração de uma deformação distensional em corredores de deformação (Fig. 6); (2) as falhas têm invariavelmente ângulos altos de mergulho, tendendo a subverticais; (3) alguns indicadores cinemáticos evidenciam movimentação oblíqua a direcional; (4) as duas direções principais de fraturas existentes (N10-30E e N60-80W, Fig. 7) formam, provavelmente, um conjunto de fraturas conjugadas ao longo das quais teria ocorrido um sistema de deformação de duplo-deslizamento, indicando que a tensão intermediária σ_2 apresenta mergulho alto; (5) somando tais evidências ao caráter cinemático oblíquo das falhas N10-20E, infere-se duas possibilidades para a direção de esforço máximo σ_1 : N20-30W ou N50-60E, o que poderia ser indicativo de um sistema distensional oblíquo ou transtraccional.

Cabe ressaltar que o sistema de fraturas estudado é restrito em área e ao nível estratigráfico mapeado, provavelmente representando estruturas de segunda ordem de um sistema regional. As alternativas propostas para este sistema regional seriam: distensional com componentes locais oblíquos, transtraccional ou, ainda, associado a intrusões

ígneas subaflorantes. Convém ressaltar, também, que as direções observadas não coincidem com aquelas normalmente referenciadas como direções estruturais importantes na Bacia do Paraná (Zalán *et al.* 1990, Soares *et al.* 1982, Soares 1991).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Modelo estrutural-hidrodinâmico

Do ponto de vista do controle hidrodinâmico, é importante destacar que os Arenitos Vila Velha apresentam características de reservatório para óleo e gás e são compartimentados em pequenos blocos na escala de metros a dezenas de metros, configurando geometrias tipo *horst* e *graben*. A tipologia das falhas delimitadoras destes blocos e os indicadores cinemáticos indicam uma deformação distensional oblíqua a transtraccional. Esta deformação é representada por zonas de cisalhamento restritas ou “bandas de deformação” milimétricas a centimétricas, que mostram cimentação intensa e apresentam características de barreiras à migração de fluxo.

A compartimentação estrutural, somada à heterogeneidade sedimentológica, imprime uma característica de unidades de fluxo com forma de prismas retangulares, marcados por camadas tabulares cortadas por conjuntos de falhas com direção predominante norte-sul. Neste contexto, as barreiras hidráulicas atuais formadas devido à cimentação refletem condutos potenciais à época da formação das fraturas.

Dessas características conclui-se que a influência na migração de fluidos em reservatórios similares às rochas estudadas deve ser resultante tanto da compartimentação estrutural como dos fatores estratigráficos, com algumas dessas fraturas atuando como zonas de fechamento lateral (possíveis *spill-points*). É muito provável que as falhas de pequeno rejeito, assim como as juntas secundárias, sejam fundamentais para o ordenamento e distribuição de fluidos dentro de trapas no Grupo Itararé, porém essas estruturas são de difícil identificação e localização, dado a sua escala reduzida, não perceptível em levantamentos sísmicos de baixa resolução. Trabalhos de campo de detalhe são, portanto, fundamentais para o reconhecimento dessas estruturas.

Com base nas informações apresentadas, embora em caráter preliminar, é possível inferir possibilidades de migração de fluidos em escala local na Bacia do Paraná e unidades de drenagem existentes nos reservatórios. A considerar as características geológicas e o tempo de

Foto 1 - Zona de falha N10-20E (vale central), com basculamento centrífugo dos blocos. Visão para sul.
 Foto 2 - Geometria tipo *horst* (laterais) e *graben* (centro). Visão de sul para norte.
 Foto 3 - Movimento de blocos ao longo da direção principal de falhamento. Notar o ressalto causado pela cimentação, nos planos de falha.
 Foto 4 - Lineação (200/30) em plano de falha oxidada (N22E/87SE). Visão do bloco que subiu.
 Foto 5 - Zona de falha anastomosada, com sigmóides métricos. Visão para sul.
 Foto 6 - Detalhe de uma banda de deformação. Observam-se duas zonas bem distintas, uma zona externa oxidada (mais clara) e uma zona interna com intensa silicificação.
 Foto 7 - Zona com concentração de bandas de deformação anastomosadas.

Figura 8 – Prancha com fotos de estruturas em afloramentos.

Figura 9 – Características texturais das bandas de deformação. Acima: Fotomicrografia em luz não polarizada (aumento original de 25 vezes) com a seção longitudinal aproximadamente N-S. Abaixo: Interpretação dos traços estruturais sobre a imagem. Observar o caráter descontínuo das microfraturas e o padrão serrilhado dos contatos entre grãos previamente facetados pela deformação, sugerindo que a compactação foi posterior ao fraturamento.

evolução, a Bacia do Paraná pode ser considerada uma bacia hidrologicamente madura, o que significa que a geometria mapeada deve ter influenciado a migração de fluidos em épocas diversas.

Permanece ainda controversa a questão de falhas serem selantes ou

Figura 10 – Modelo conceitual de zona de falha. A elipse representa a magnitude e orientação relativa do tensor de permeabilidade bidimensional (k), que pode ser associado com cada componente arquitetural distinto da zona de falha (Chester e Logan 1986, Smith et al. 1990, apud Caine et al. 1996). Comparar o modelo com a banda de deformação retratada na foto 6 (Fig. 8).

não, embora numerosos artigos tratem do assunto. As características observadas nos Arenitos Vila-Velha corroboram a hipótese de falhas comportarem-se como condutos quando ativas e barreiras quando inativas, já que é bastante visível a presença da cimentação ao longo de bandas de deformação. Isto sugere que a migração de fluidos tenha ocorrido ao longo das estruturas durante sua formação e que a cimentação associada a esta migração tenha ocasionado a formação de barreiras.

Agradecimentos Os autores agradecem ao CNPq (processos nº 520063/98-8 e 463002/00-8) e Petrobrás pelo apoio financeiro; e à UFPR pelo apoio institucional. Sidnei Pires Rostirolla agradece a concessão de uma bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq. A dois revisores anônimos da RBG pelas sugestões e críticas.

Referências

- Antonellini M., Aydin A. 1994. Effect of Faulting on Fluid Flow in Porous Sandstones: Petrophysical Properties. *AAPG Bulletin*, 78:355-377.
- Aydin A. 1978. Small Faults Formed as Deformation Bands in Sandstone. *Pageoph*, 116:913-930.
- Aydin A. 2000. Fractures, faults, and hydrocarbon entrapment, migration and flow. *Marine and Petroleum Geology*, 17:797-814.
- Caine J.S., Evans J.P., Forster C.B. 1996. Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24:1025-1028.
- França A.B., Potter P.E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatórios do Grupo Itararé (Permocarbonífero), bacia do Paraná (Parte 1). *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 2:147-191.
- França A.B., Winter W.R., Assine M.L. 1996. Arenitos Lapa-Vila Velha: Um modelo de sistemas subaquosos canal-lobos sob influência glacial, Grupo Itararé (C-P), Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 26:43-56.
- ITC/IPR. 1980. Levantamento Fotogramétrico na Escala 1:25.000 do Estado do Paraná.
- Jamison W.R., Stearns D.W. 1982. Tectonic deformation of Wingate Sandstone, Colorado National Monument. *AAPG Bulletin*, 66:2584-2608.
- Mandl G., Harkness R.M. 1987. Hydrocarbon migration by hydraulic fracturing. In: M.E. Jones e M.F. Preston (eds.) *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks. Geological Special Publication*, 29:39-54.
- Milani E.J., Catto E. 1998. Petroleum Geology of the Paraná Basin, Brazil. In: AAPG, International Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, *Abstracts*. 442-443.(CD-ROM)
- Soares, P.C. 1992. *Tectônica Sinsedimentar Cíclica na Bacia do Paraná: Controles*. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Tese para provimento da vaga de Professor Titular, 148 p.
- Soares P.C., Barcellos P.E., Csordas S.M. 1982. Análise, interpretação e integração de lineamentos a partir de imagens (Radar-Landsat) e suas relações com a tectônica da Bacia do Paraná. Paulipetro, Consórcio CESP/IPT, São Paulo, *Relatório RT-342/82*. 63p. + 12 mapas.
- Zalán P.V., Wolff S., Astolfi M.A.M., Vieira I.S., Conceição J.C.J., Appi V.T., Neto E.V.S., Cerqueira J.R., Marques A. 1990. The Paraná Basin, Brazil. In: M.W. Leighton, D.R. Kolata, D.F. Oltz, J.J. Eidel (eds) *Interior Cratonic Basins*, Tulsa: AAPG Memoir, 51:681-708.

Manuscrito A-1212

Recebido em 26 de fevereiro de 2001

Revisão dos autores em 27 de julho de 2001

Revisão aceita em 30 de julho de 2001