

OROGENIAS PALEOZÓICAS NO DOMÍNIO SUL-OCIDENTAL DO GONDWANA E OS CICLOS DE SUBSIDÊNCIA DA BACIA DO PARANÁ

EDISON J. MILANI* & VICTOR A. RAMOS**

ABSTRACT. *PALEOZOIC OROGENIES IN THE SOUTHWESTERN DOMAIN OF GONDWANA AND THE SUBSIDENCE CYCLES OF THE PARANA BASIN* The geological development of the Parana Basin was influenced by the geodynamics of southwestern Gondwana, a domain continuously affected during almost all the Phanerozoic eon by compressional stresses derived from a persistently active convergent motion between the continental block and the oceanic lithosphere of Panthalassa. The Parana Basin was supported by a cratonic basement since its inception, but had in its neighbourhood evolving collisional belts fringed by foreland basins.

Some areas were selected representing the history of subsidence along the foreland domain of southwestern Gondwana during Paleozoic times. The subsidence analysis showed that such foreland basins experienced cycles of accelerated subsidence that coincide in time with the major orogenic phases, that were related to the docking of terranes along the margin of the continent. The computation of average subsidence rates revealed the main subsidence cycles for the region as a whole.

Subsidence and sediment accumulation in the Parana Basin started during Middle to Late Ordovician times when the Precordillera terrane collided against Gondwana and produced the different contractional phases of the Oclóyic Orogeny. The intraplate response to the compressional stresses related to this orogenic cycle was transensional reactivation of weakness zones, providing the initial subsidence for the Parana Basin. Repeatedly during the geologic history of the Parana Basin orogenic cycles left their signature as periods of accelerated subsidence. Subsidence plots revealed that Early Devonian times, when the stresses generated by the Precordilleran Orogeny affected Gondwana, and Late Permian times, under the yoke of the Sanrafaelic Orogeny, were periods when intracratonic subsidence rates increased remarkably.

An integrated analysis of the sedimentary record of the Parana Basin, considering eustatic variations of the sea level and subsidence cycles of southwestern Gondwana led to the conclusion that the stratigraphic cyclicity observed in the Parana Basin was ultimately influenced by its subsidence history. The presumed global correlation peaks shown in Vail's curve, of Late Silurian, Early Carboniferous and Early Permian ages, are not present in the Parana Basin. Instead, local maximum flooding levels developed in each one of the second order transgressive cycles, during Early Silurian, Early Devonian and Late Permian times, defining the particular subsidence history of this interior basin as an intraplate response to geodynamic processes affecting southwestern Gondwana margin.

Keywords: Parana Basin, Southwestern Gondwana, tectonics and sedimentation

RESUMO A evolução geológica da Bacia do Paraná foi marcadamente influenciada pela geodinâmica do domínio sul-ocidental do Gondwana. Esta foi uma região continuamente submetida, durante praticamente todo o Fanerozóico, a esforços de natureza compressiva derivados da relação de convergência mantida entre o bloco sílico gondwânico e a litosfera oceânica do Panthalassa. A Bacia do Paraná, embora suportada por um embasamento cratônico desde sua implantação, teve em sua vizinhança ativos cinturões colisionais e bacias de antepaís a eles relacionadas. Algumas áreas foram selecionadas como representativas do comportamento da subsidência durante o Paleozóico ao longo do domínio de antepaís do Gondwana sul-ocidental. A análise de subsidência mostrou que tais bacias de antepaís experimentaram ciclos de subsidência acelerada que coincidem temporalmente com as principais fases orogênicas, estas relacionadas à aglutinação de terrenos alóctones ao paleocontinente. O cálculo de taxas médias de subsidência revelou os principais ciclos de subsidência para a região como um todo.

A subsidência e a acumulação sedimentar na Bacia do Paraná iniciaram durante o Meso a Neo-Ordoviciano, tempo em que o terreno da Precordilha colidiu contra o Gondwana e produziu a Orogenia Oclóyica. A resposta no domínio intraplaca aos esforços compressivos derivados desse ciclo orogênico foi na forma de reativação transensiva de zonas de fraqueza, o que patrocinou a subsidência inicial da Bacia do Paraná. Repetidamente durante sua história geológica, a Bacia do Paraná experimentou ciclos de subsidência acelerada induzidos por episódios orogênicos. A análise de subsidência revelou que o Eodevoniano, quando os esforços gerados pela Orogenia Precordilheirana afetaram o Gondwana, e o Neopermiano, sob o jugo da Orogenia Sanrafaélica, foram períodos em que as taxas de subsidência intracratônica cresceram marcadamente.

Uma análise integrada do registro estratigráfico da Bacia do Paraná, considerando variações eustáticas do nível do mar e os ciclos de subsidência do Gondwana sul-ocidental, conduziu à conclusão de que a ciclicidade observada na Bacia do Paraná foi, em última instância, controlada por sua história de subsidência. Os picos de uma presumida correlação global mostrados na curva de Vail, supostamente representativos de altos eustáticos no Neossiluriano, Eocarbonífero e Eopermiano, não estão documentados na Bacia do Paraná. Por seu turno, níveis de máxima inundação de caráter local, inerentes ao domínio considerado, desenvolveram-se em cada um dos ciclos transgressivo-regressivos encontrados na bacia, e correspondem a pacotes pelíticos com idades eossiluriana, eodevoniana e neopermiana. Assim, os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná parecem configurar a resposta intraplaca à geodinâmica particular da margem sul-ocidental do Gondwana.

Palavras-chave: Bacia do Paraná, Gondwana, tectônica e sedimentação

INTRODUÇÃO A Bacia do Paraná (Fig. 1), uma vasta região de sedimentação situada na porção centro-oriental da América do Sul, evoluiu durante o Paleozóico e o Mesozóico e abriga um registro estratigráfico temporalmente posicionado entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo, documentando assim quase 400 milhões de anos da história geológica fanerozóica dessa região do planeta. Seis unidades aloestratigráficas de segunda ordem ou superseqüências (Milani 1997) são reconhecidas (Fig. 1): Rio Ivaí (Caradociano-Landoveriano), Paraná (Lockoviano-Frasniano), Gondwana I (Westfaliano-Scythiano), Gondwana II (Anisiano-Noriano), Gondwana III (Neojurássico-Berriasiano) e Bauru (Aptiano-Maestrichtiano). Três delas correspondem a ciclos transgressivo-regressivos paleozóicos, e as demais são pacotes sedimentares continentais mesozóicos com rochas ígneas associadas. Estas superseqüências constituem o registro remanescente de sucessivas fases de acumulação sedimentar que se alternaram a épocas de erosão generalizada.

A Bacia do Paraná, em função de aspectos inerentes a seu posicionamento geotectônico atual e a suas características tectono-sedimentares, é considerada uma típica bacia intracratônica. O conceito de "bacia cratônica", temática cujos diversos aspectos foram sintetizados por Leighton & Kolata (1990), implica uma região de sedimentação suportada por um embasamento consolidado, um domínio crustal caracterizado por elevada resistência a esforços originados em margens de placas. Os mecanismos de subsidência de sinéclises intrac-

ratônicas são ainda controversos e muito pouco compreendidos. Uma vez que tais regiões situam-se distantes de margens de continentes, desta forma estando desacopladas de mecanismos tectônicos originados pela interação de placas, a origem e o desenvolvimento de bacias intracratônicas são frequentemente explicadas por combinações de fenômenos tais como "distensão continental, subsidência térmica sobre uma ampla área e reajustes isostáticos tardios" (Klein 1995), processos estes de precário controle geológico-geofísico.

Para uma bacia em particular, entretanto, o fato de situar-se no interior de um continente não significa necessariamente uma condição permanente e imutável desde sua implantação. Isto é especialmente verdadeiro para o caso da Bacia do Paraná. O crescimento da litosfera continental ao longo da margem sul do Gondwana foi um importante processo durante o Fanerozóico, favorecendo um contexto de fechamento progressivo do interior do continente a incursões marinhas. A Bacia do Paraná, originada como um golfo (Zalán *et al.* 1990, Milani 1992) aberto para o Panthalassa, tornou-se com o tempo uma depressão intracratônica aprisionada no interior do Gondwana.

Neste trabalho, procurou-se correlacionar a amplitude temporal dos ciclos de subsidência da Bacia do Paraná àqueles observados no domínio de antepaís adjacente, no sentido de calibrar os mais importantes períodos de subsidência numa escala continental. A análise de subsidência revelou episódios notavelmente síncronos de subsidência acelerada envolvendo tanto o antepaís quanto o domínio intra-

* Petróleo Brasileiro S.A. PETROBRAS/E&P/GEREX/GEIEST, Av. Chile, 65, 13º andar, 20035.900 Rio de Janeiro/RJ/Brasil, E-mail: ejmilani@ep.petrobras.com.br

** Dep. de Ciências Geológicas, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pabellon II, 1428 Nunez/Buenos Aires/Argentina, E-mail: andes@tango.gl.fcen.uba.ar

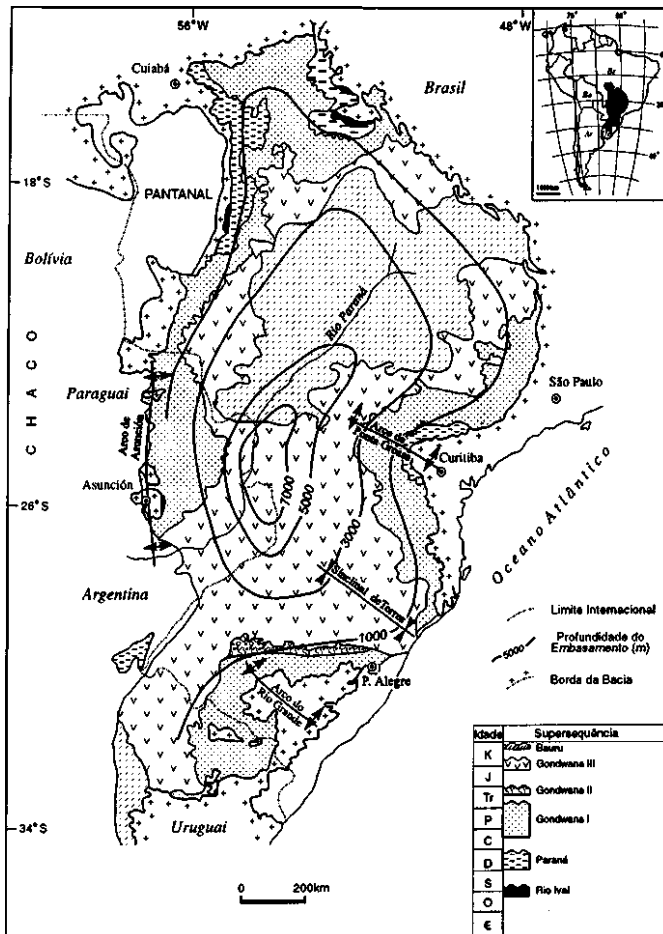


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, e distribuição no tempo das diversas unidades de seu registro estratigráfico.

cratônico, sugerindo que estas áreas possam ter compartilhado durante sua evolução geológica alguns mecanismos de subsidência, atuantes em ampla escala.

TECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO NO CONTEXTO REGIONAL A margem meridional do Gondwana, em particular o trecho que hoje em dia corresponde à borda andina da América do Sul, comportou-se durante praticamente todo o Fanerozóico como um domínio de convergência entre o bloco síalico e a litosfera oceânica do Panthalassa (Bahlburg and Breitreuz 1991, Gohrbandt 1993). Uma série de terrenos aloctones alcançaram essa região, e sua aglutinação à margem gondwânica produziu importantes episódios orogênicos (Ramos 1988, 1990). O regime compressivo aí persistentemente atuante influenciou a evolução de faixas dobradas e bacias de antepaís adjacentes às mesmas, mas afetou também o interior cratônico do continente (Zalán *et al.* 1990, Assine 1996, Milani 1997), como será exposto adiante.

Dois domínios distintos devem ser considerados ao se analisar a tectônica e sedimentação no Gondwana sul-ocidental; sua porção cratônica, correspondente ao núcleo do paleocontinente e constituída por um complexo mosaico de blocos crustais aglutinados e ligados entre si até o Cambriano (Powell 1993); de outro lado os Gondwanides (Keidel 1916), uma extensa faixa de orógenos do Fanerozóico e bacias associadas distribuídas ao longo da margem meridional do Gondwana (Fig. 2), unidade geotectônica essa também denominada como "geosinclinal Samfrau" por Du Toit (1927) e modernamente cartografada por De Wit *et al.* (1988). A Bacia do Paraná desenvolveu-se sobre o Gondwana cratônico, mas ao lado da zona móvel dos Gondwanides, experimentando assim uma influência dos esforços compressivos originados pela convergência de placas ao longo da faixa de colisão.

A sucessão de orogenias que marcaram a história fanerozóica do Gondwana sul-ocidental, resumida por Ramos (1988), compreendeu dois ciclos tectono-sedimentares principais: Famatiniano (Ordoviciano a Devoniano) e Gondwânico (Carbonífero a Triássico). O Ciclo

Famatiniano compreende dois pulsos de deformação compressiva e fenômenos sedimentares e magmáticos associados, as orogenias Oclóyica e Precordilheirana, e o Ciclo Gondwânico inclui as orogenias Chanica e Sanrafaélica.

Uma das características marcantes da geologia sedimentar fanerozóica do domínio meridional do Gondwana é sua natureza siliciclástica (França *et al.* 1995). Uma das exceções a essa regra é encontrada na Precordilheira argentina. A presença de uma espessa seqüência de carbonatos portando típicos exemplares da fauna cambriana de *Olenellus* (Borrello 1965) apoiada sobre um embasamento com afinidades à província de Greenville do Proterozóico da América do Norte, e estando o bloco assim caracterizado separado das regiões vizinhas por importantes suturas geotectônicas (Ramos *et al.* 1996), constituem fatos que levaram à interpretação de ser a Precordilheira um terreno aloctone que consolidou-se inicialmente no domínio da Laurásia, dela separou-se e afastou-se, para finalmente colidir contra o Gondwana (Ramos *et al.* 1986, Astini *et al.* 1995, Astini 1996). A colisão desse terreno, estimada como tendo ocorrido em torno do Meso a Neo-Ordoviciano, produziu o conjunto de fenômenos conhecidos na Argentina e Bolívia como Orogenia Oclóyica. Um segundo e também importante ciclo de deformação compressiva é reconhecido na região da Precordilheira como Orogenia Precordilheirana (Furque 1965, Astini 1996), responsável por um significativo incremento paleobatimétrico na bacia de antepaís e pela acumulação de uma possante sucessão de turbiditos com até 2.200 metros de espessura, correspondentes à Formação Punta Negra, do Emsiano-Givetiano. O contexto geodinâmico da Orogenia Precordilheirana não está bem estabelecido. Astini (1996) atribui este episódio à colisão de um bloco síalico conhecido como Chilena (Ramos *et al.* 1984).

Muitas questões pertinentes à história colisional paleozóica da margem gondwânica ainda estão em aberto, e uma delas diz respeito à cronologia da colisão do terreno Chilena. Admitido como um evento eodevoniano por alguns autores, como acima discutido, o fenômeno é interpretado por outros pesquisadores (Ramos *et al.* 1984, Ramos 1988) como tendo ocorrido já no Eocarbonífero. O ciclo de deformação correspondente, neste caso, é conhecido como Orogenia Chanica. Antigas zonas de sutura no antepaís (Fernández-Seveso & Tankard 1995) experimentariam reativação transtensiva sob os esforços da Orogenia Chanica, servindo este como o mecanismo iniciador da subsidência para o Ciclo Gondwânico, que se desenvolveria a seguir. As unidades mais superiores do ciclo tectono-sedimentar-magmático Gondwânico representam o clímax do vulcanismo de arco e sedimentação vulcanoclástica continental associada, ocorrida entre 275 e 250 Ma (Kay *et al.* 1989, López-Gamundi *et al.* 1994). Tais depósitos apoiam-se discordantemente sobre as seqüências precedentes e sua acumulação acompanhou os movimentos da Orogenia Sanrafaélica.

Subsidência no domínio de antepaís A região meridional do Gondwana constituiu um limite ativo de placas durante o Fanerozóico. Esta extensa e segmentada faixa assistiu à interação da placa continental com a litosfera oceânica do Panthalassa e com uma série de terrenos aloctones. A atual margem andina da América do Sul exhibe condições similares em termos de regime tectônico compressivo e processos orogênicos, de tal sorte que as condições gerais em termos fisiográficos, o magmatismo e os processos geradores de bacias sedimentares que podem hoje ser lá observados reproduzem os fenômenos dominantes na história geológica pretérita da região. Assim, da mesma maneira em que o desenvolvimento do cinturão Andino causa a subsidência flexural observada no oeste da América do Sul - a bacia do Chaco da Bolívia e Argentina - os orógenos paleozóicos influenciaram o desenvolvimento das bacias de antepaís adjacentes. A análise de subsidência destas bacias de antepaís pode revelar importantes parâmetros à interpretação tectônica regional.

Quatro áreas (Fig. 2) foram selecionadas como representativas dos vários aspectos da evolução de bacias sedimentares e seu relacionamento com a história tectônica dos Gondwanides: o Chaco boliviano, a região da Precordilheira-Bacia de Paganzo e a Bacia de Sauce Grande faixa dobrada das Sierras Australes na Argentina e as bacias do Cabo-Karoo-faixa dobrada do Cabo na África do Sul.

Sucessões paleozóicas são espessas e de ocorrência ampla na Bolívia, compreendendo cinco superseqüências relacionadas a momentos específicos na evolução da bacia de sedimentação. Tacsara, Chuquisaca, Villamontes, Cuevo e Serere são as unidades alostratigráficas reconhecidas por Sempere (1995), incluindo pacotes sedimentares predominantemente terrígenos que se distribuem do Cambriano terminal ao Eotriássico (Fig. 3). Os calcários e dolomitos pensilvanianos-eopermianos do Grupo Copacabana (Díaz-Martínez 1995), per-

tencentes & Supersequência Cuevo, incluem-se entre as escassas ocorrências de rochas carbonáticas do Gondwana sul-occidental.

Outra ocorrência de carbonates, estes cambro-ordovicianos, e a da região da Precordilheira argentina, na forma de uma espessa sec. ao de sedimentos de plataforma. Os carbonates da Precordilheira fazem parte de um fragmento da Laurasia que foi aglutinado ao Gondwana do Meso ao Neo-Ordoviciano. Na sucessão estratigráfica, sobrepõe-se aos carbonates um pacote de rochas siliciclásticas siluro-devonianas portadoras das faunas endêmicas do Gondwana, no conjunto representando o Ciclo Famatiniano de evolução dos Gondwanides (Ramos 1990). O Ciclo Gondwânico acumulou-se a seguir, estando registrado com suas maiores espessuras nas bacias de Calingasta-Uspallata e Paganzo no oeste da Argentina (López-Gamundi *et al.* 1994).

A Bacia de Sauce Grande-faixa dobrada das Sierras Australes na Argentina, e Cabo-Karoo e a faixa dobrada do Cabo na África do Sul (Fig. 3), faixas orogênicas com bacias de antepaís associadas, compartilham uma série de atributos geológicos, fruto de sua evolução comum (López-Gamundi & Rossello, no prelo). A evolução pre-carbonífera em ambas as regiões é documentada por um espesso pacote de sedimentos siliciclásticos com idade entre o Ordoviciano e o Devoniano, que tiveram por fonte as áreas crônicas situadas a norte (Andreis *et al.* 1989, Johnson 1991). Uma discordância angular aparta esses estratos dos sedimentos gondwânicos, que incluem depósitos relacionados à glaciação neocarbonífera-eopermiana (Visser 1990) seguidos por uma sucessão de rochas sedimentares e vulcanoclásticas sinorogênicas de idade permiana a eotriássica (Cole 1992, López-Gamundi *et al.* 1995).

Curvas de subsidência são ferramentas muito úteis na análise de bacias sedimentares. O formato de uma curva, representando variações nas taxas de subsidência com o tempo, reflete um regime tectônico particular (Williams 1995), e pode ser utilizado como um elemento de correlação interregional. No domínio de antepaís, a subsidência é primordialmente induzida pela sobrecarga flexural imposta a litosfera continental pelo cinturão montanhoso em desenvolvimento, de tal sorte que variações nas taxas de subsidência (aceleração-desaceleração) podem ser diretamente relacionadas a pulsos de deformação compressiva ao longo da margem ativa de placas. Um ciclo orogênico ideal seria registrado na história de subsidência do antepaís por um ciclo completo crescente-decrescente de taxas de subsidência (Fig. 4). Este conceito foi aqui empregado como chave na correlação interregional de eventos tectônicos, e na interpretação do desenvolvimento de seqüências estratigráficas no domínio intracratônico.

A história de subsidência no antepaís paleozóico do Gondwana sul-occidental foi integrada pela utilização de informações das quatro áreas de referência acima citadas (Milani 1997). Algumas curvas foram computadas por meio da técnica de *backstripping* (Steckler & Watts 1978) e, em conjunto a gráficos disponíveis na bibliografia, foram combinados numa curva de subsidência composta (Fig. 5), ilustrativa da variação com o tempo da taxa média de subsidência. As taxas médias de subsidência foram obtidas aritmeticamente a partir de

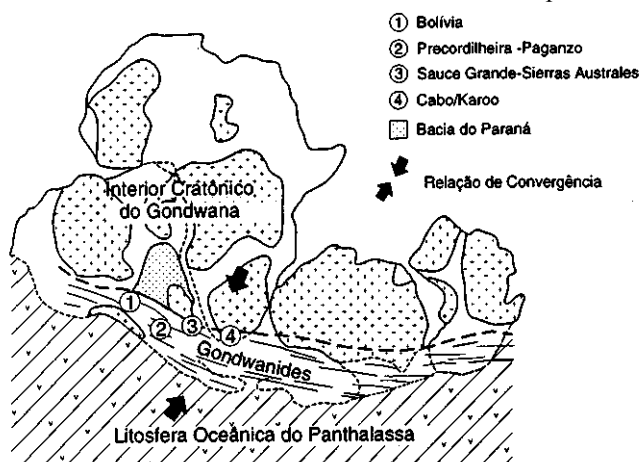


Figura 2- Contexto geotectônico fanerozóico da margem sul do Gondwana, um sítio de persistente convergência entre o paleocontinente e o assoalho oceânico do Panthalassa. Compilado de Powell (1993) e De Wit *et al.* (1988), segundo a concepção de Du Toit (1927). Números de 1 a 4 correspondem às áreas de referência utilizadas na análise de subsidência da faixa Gondwanides.

dados de cada uma das quatro áreas, considerados segundo intervalos variáveis de tempo geológico, o que resultou em uma sucessão de ciclos interpretados como representativos do comportamento oscilatório da litosfera para o domínio de antepaís, produto de um contexto geodinâmico particular em que vários episódios de colisão sucederam-se no tempo.

Sob esta abordagem, as variações nas taxas de subsidência observadas no domínio de antepaís, ilustradas na curva de subsidência composta, são interpretadas como tendo sido induzidas pela variação na intensidade da atividade tectônica ao longo da faixa orogênica, constatando-se uma notável coincidência temporal entre tais ciclos aqui estabelecidos e os conhecidos períodos orogênicos identificados na geologia do Gondwana sul-occidental, como anteriormente discutidos. Adiante, o conceito de ciclos de subsidência será utilizado como suporte à interpretação do desenvolvimento de seqüências estratigráficas em escala regional.

A BACIA DO PARANÁ Estrutura do embasamento Diversos poços já amostraram o embasamento da Bacia do Paraná. Em conjunto com informações geofísicas e dados de afloramentos, permitiram interpretações acerca da natureza, estrutura e idade desta região da crosta continental do planeta. Estudos precedentes (Cordani *et al.*

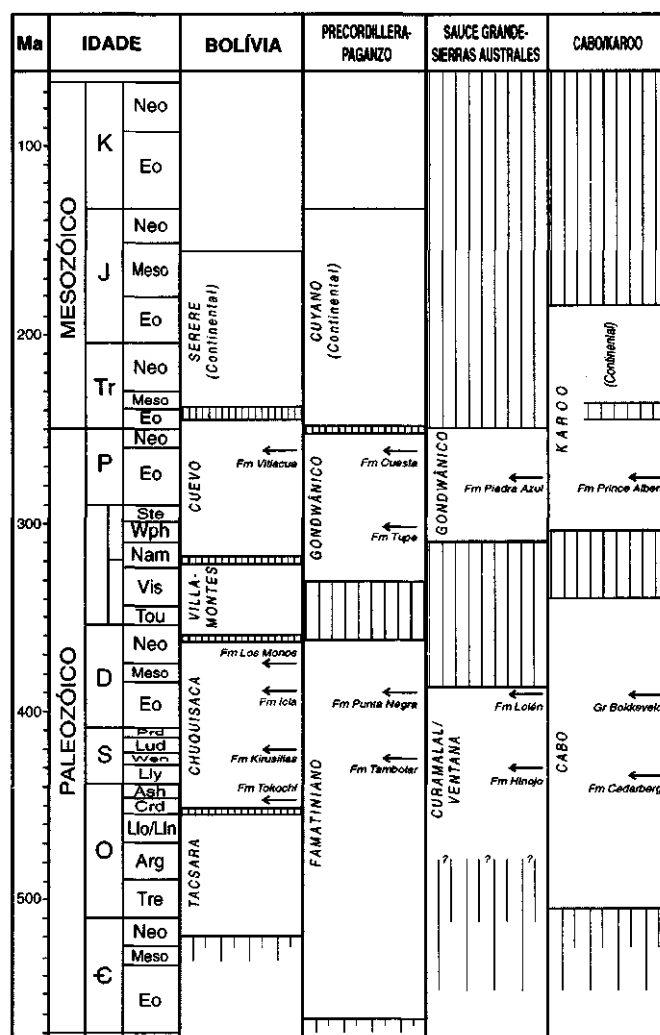


Figura 3 - Correlação estratigráfica entre as quatro áreas de referência utilizadas neste trabalho. Fontes dos dados para a Bolívia: Semper (1995); Precordilheira-Paganzo: Ramos (1990), Fernández-Seveso & Tankard (1995), e Kokogian *et al.* (1993); Sauce Grande-Sierras Australes: López-Gamundi *et al.* (1994, 1995) e Iniguez *et al.* (1989); Cabo/Karoo-faixa dobrada do Cabo: Veevers *et al.* (1994) e Cole (1992). Setas indicam momentos de importantes inundações marinhas. Denominações estratigráficas referem-se a unidades clássicas reconhecidas em cada área. Localização das seções é mostrada na Figura 2. Escala de tempo geológico segundo Cowie & Bassett (1989).

1984, Zalán *et al* 1990, Soares 1991) descreveram o assoalho da Bacia do Paraná como constituído por um "núcleo cratônico" central circundado por faixas móveis brasilianas. Tal interpretação implica a existência de um domínio estável justamente na região central da sinclise, um fato que não se ajusta à história de subsidência da bacia. Na realidade, a porção central da Bacia do Paraná abriga as maiores espessuras de quase todas as suas superseqüências, como será mostrado adiante.

Interpretações de dados geofísicos em escala de bacia, recentemente efetuadas (Marques *et al.* 1993), revelaram uma persistente orientação SW-NE de anomalias gravimétricas e magnetométricas marcando toda a área da bacia, provavelmente relacionado à estruturação do embasamento. Dados de sísmica de reflexão igualmente detectaram um padrão SW-NE de estruturas, configuradas como calhas na região central da bacia e alojando seu pacote paleozóico mais inferior, pré-devoniano. Tal feição foi denominada por Marques *et al.* (1993) como "rifte central" (Fig. 6), ajustando-se adequadamente às anomalias gravimétricas e magnetométricas dessa mesma região.

Milani (1997) mostrou uma interpretação para o arranjo geométrico predominantemente SW-NE do embasamento da Bacia do Paraná (Fig. 7). Um poço profundo perfurado no contexto do "rifte central" da

Bacia do Paraná amostrou um corpo de basalto com rochas vulcano-clásticas associadas, que ocorrem intercaladas aos sedimentos mais inferiores (ordovício-silurianos) da bacia. O "basalto Três Lagoas" constitui uma ocorrência até agora singular de material ígneo paleozóico na Bacia do Paraná (Mizusaki 1989), mas que guarda um particular significado para o entendimento dos mecanismos iniciais de subsidência da bacia.

Arcabouço estratigráfico Seis unidades alostratigráficas de segunda ordem, ou superseqüências na concepção de Vail *et al* (1977), cada uma delas compreendendo um registro geológico da ordem de algumas dezenas de milhões de anos, constituem o arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná (Milani 1997). O registro completo engloba o intervalo 450 a 65 Ma, e uma grande parte do tempo encontra-se condensado nos hiatos que separam as diversas superseqüências (Fig. 1). Rio Ivaí (Caradociano-Landoveriano), Paraná (Lockoviano-Frasniano) e Gondwana I (Westfaliano-Scythiano) materializam grandes ciclos transgressivo-regressivos paleozóicos, enquanto Gondwana II (Anisiano-Norian), Gondwana III (Neojurássico-Berriasiano) e Bauru (Aptiano-Maestrichtiano) são representados por pacotes sedimentares continentais e rochas ígneas associadas.

A Superseqüência Rio Ivaí, compreendendo as rochas sedimentares mais antigas da Bacia do Paraná, é particularmente importante no entendimento da implantação da bacia, uma vez que representa o primeiro ciclo de sedimentação fanerozóica nesta área que apoiou-se num embasamento cratônico, consolidado após os fenômenos da Orogenia Brasiliana (Almeida & Hasui, 1983). Assim, as características inerentes ao pacote ordovício-siluriano da bacia em termos de área de ocorrência e geometria de depocentros, associados a seus atributos sedimentológicos e sua associação com rochas ígneas, permite algumas considerações sobre a natureza e o desenvolvimento da subsidência inicial da Bacia do Paraná. Indiretamente, algumas inferências podem igualmente ser traçadas a respeito da estrutura do embasamento da sinclise a partir da análise desses estratos basais.

Os sedimentitos Rio Ivaí ocorrem sobre amplas porções da Bacia do Paraná (Fig. 8). Sua espessura, porém, não é uniformemente distribuída, aparecendo alguns depocentros alongados segundo a orientação SW-NE. Da mesma forma, existe uma tendência de espessamento desta seção para oeste, alcançando cerca de 1.000 metros na porção paraguaia da bacia. Um padrão regional de paleocorrentes para sudoeste, medido em seus estratos mais inferiores, foi reconhecido para o pacote Rio Ivaí (Milani *et al.* 1995, Assine 1996). Dados de sísmica de reflexão (Marques *et al* 1993) mostram que a ocorrência mais espessa do pacote encontra-se confinada a um sistema de grabens SW-NE com cerca de 600 quilômetros de comprimento, estendendo-se do Paraguai à porção nordeste da bacia, já no Estado de São Paulo (Fig. 8).

O registro completo da Superseqüência Rio Ivaí inclui conglomerados e arenitos na base (Formação Alto Garças), diamictitos (Formação

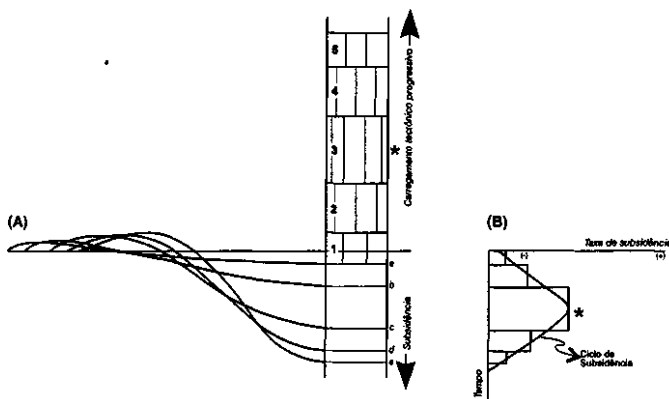


Figura 4 - (A) Esquema ilustrativo do relacionamento entre a subsidência flexural num domínio de antepaís e a variação da carga tectônica aplicada à margem de uma placa. Os números 1-5 representam a espessura do cinturão montanhoso em cinco intervalos temporais de sua história evolutiva; letras a-e mostram a subsidência cumulativa produzida por tal carga tectônica. (B) Variação nas taxas de subsidência num domínio de antepaís como resultado de um ciclo orogênico completo.

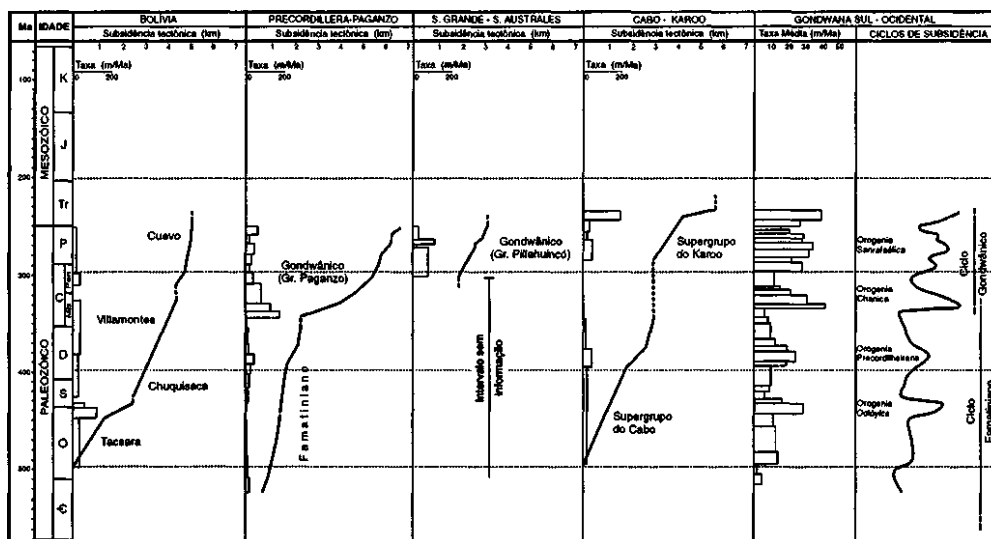


Figura 5 - Curvas de subsidência para as quatro áreas de referência no contexto dos Gondwanides, mostradas nas figuras 2 e 3. Para a Bolívia, calculou-se a curva segundo os dados estratigráficos de Gohrbandt (1993); Precordilheira-Paganzo: curva para o Ciclo Famatiniano segundo Ramos (1993), e para o Ciclo Gondwânico segundo Fernández-Seveso (1993); Sauced Grande: curva calculada segundo as informações estratigráficas de López-Gamundi *et al.* (1995); Cabo-Karoo: calculada a partir de dados de Veevers *et al* (1994) e Cole (1992). A curva calculada de taxas médias de subsidência (observar mudança de escala em relação à dos gráficos individuais), conceitualmente, mostra os principais ciclos de subsidência para a região como um todo. Escala de tempo geológico segundo Cowie & Bassett (1989).

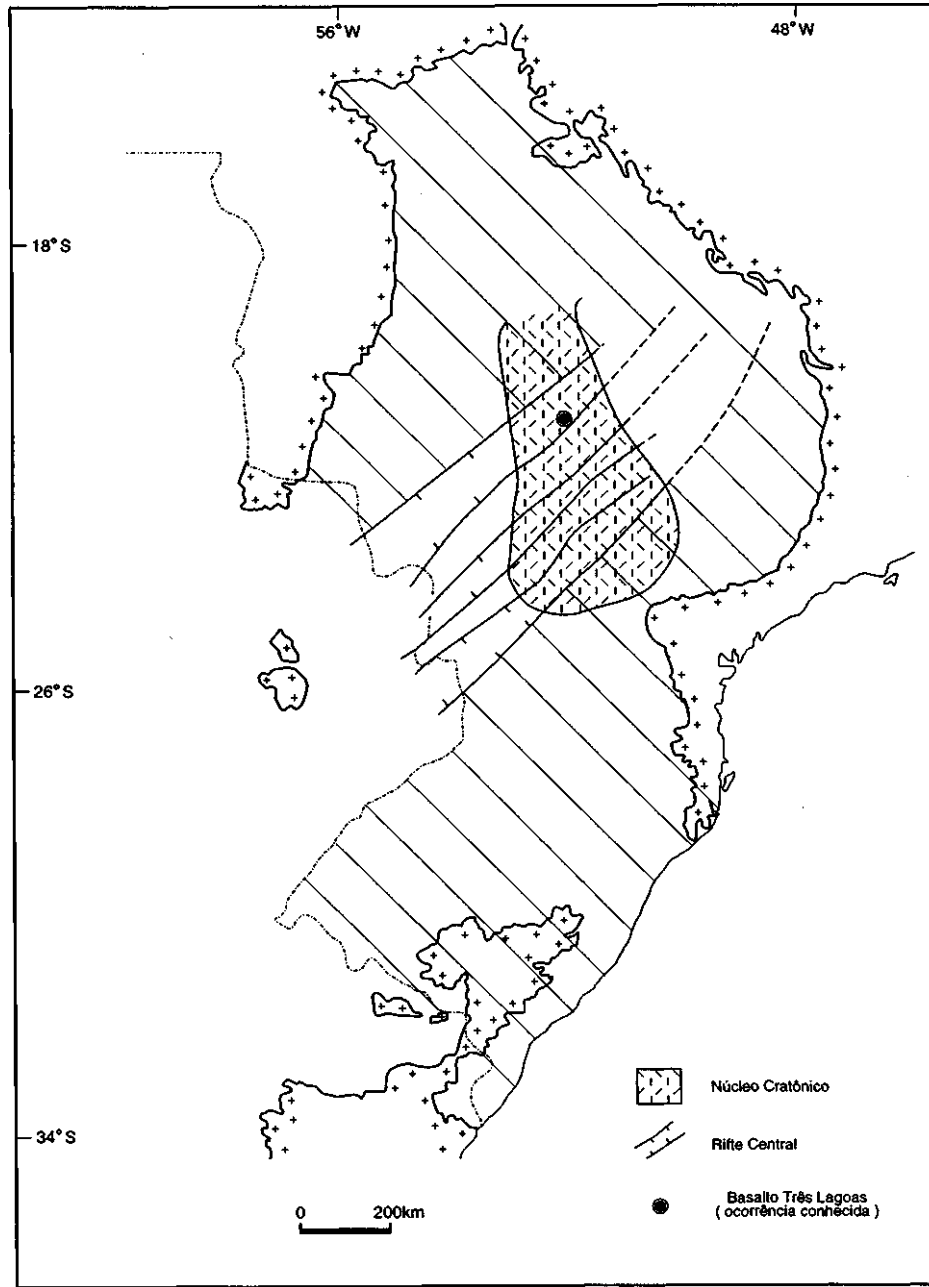


Figura 6 - Os conceitos de "núcleo cratônico" (Cordani et al. 1984) e de "rifte central" (Marques et al. 1993) da Bacia do Paraná.

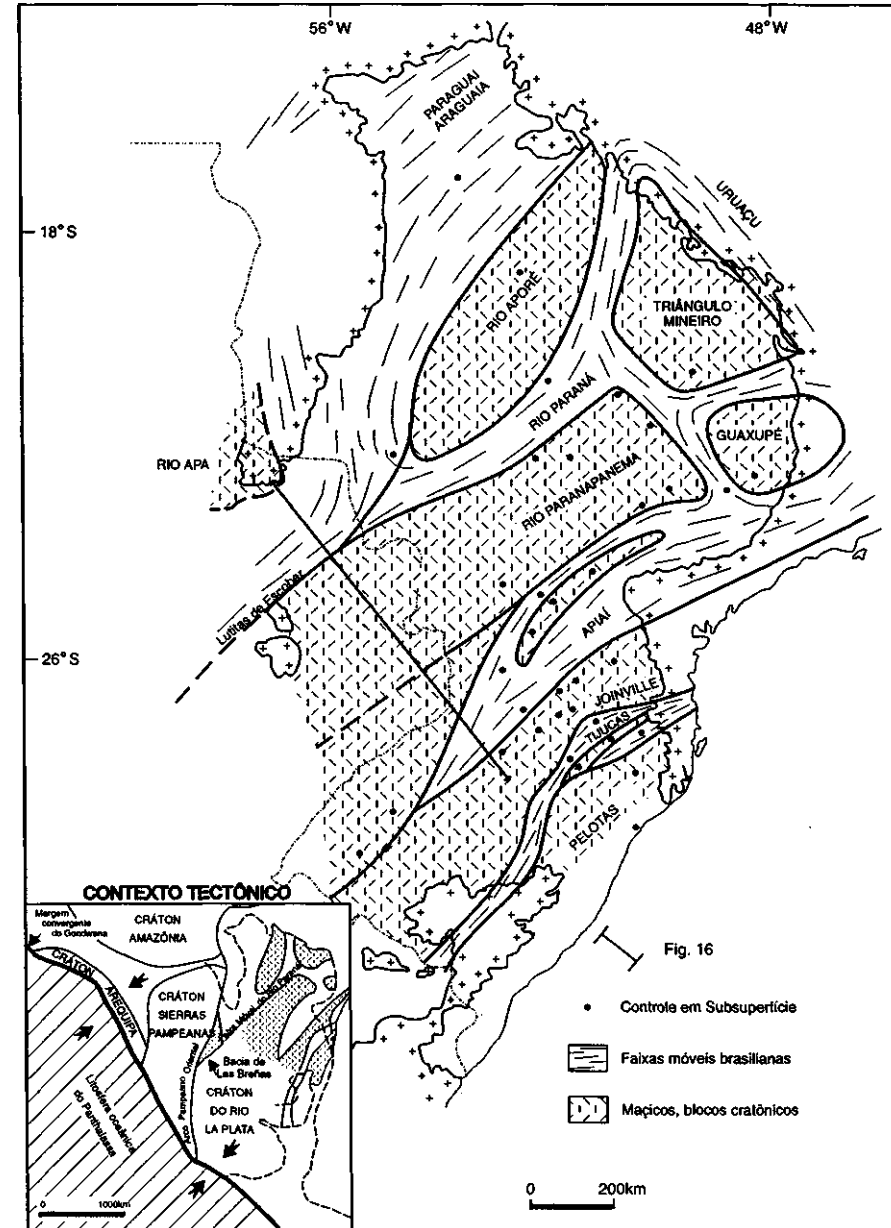


Figura 7 - Estrutura do embasamento da Bacia do Paraná. No quadro, arcabouço geotectônico regional para o domínio sul-ocidental do Gondwana, em parte baseado em Ramos & Vujovich (1993). Setas indicam o movimento convergente entre o continente e a litosfera do Panthalassa.

lapó) e folhelhos fossilíferos e siltitos (Formação Vila Maria), compreendendo o intervalo temporal Caradociano-Landoveriano. Os folhelhos documentam condições paleoambientais relacionadas à máxima inundação do ciclo ordoviciano-siluriano. A associação dos sedimentitos Rio Ivaí com rochas ígneas (basalto Três Lagoas) sugere uma tect nica sinsedimentar, provavelmente algum mecanismo de rifteamento que estaria então ligado   implantação da Bacia do Paraná.

O topo da Superseq encia Rio Ivaí   definido por uma superfície de discordância que erodiu profundamente o pacote ordoviciano-siluriano e estabeleceu um vasto e regular peneplano (Fig. 9). A Superseq encia Paraná assenta sobre essa discordância, apoiada em unidades sedimentares precedentes ou diretamente no embasamento. A Superseq encia Paraná, com sua geometria tabular de ocorrência, materializa um ciclo transgressivo-regressivo completo de oscilação do nível do Panthalassa, iniciando com sedimentitos arenosos continentais a transicionais eodevonianos (Forma o Fumas) recobertos em transição por sedimentitos marinhos siltico-argilosos (Forma o Ponta Grossa), datados do Emsiano ao Frasniano.

Os folhelhos do Emsiano guardam atributos sedimentológicos e características estratigráficas compatíveis com a máxima inundação do ciclo devoniano da Bacia do Paraná, correspondendo ao afogamento rápido da plataforma rasa Fumas. Informa es geoquímicas (França *et al* 1994), igualmente, suportam a interpretação de uma seção condensada emsiana distribuída através da bacia. A Figura 10 apresenta a ocorrência da Superseq encia Paraná na bacia.

Outra superfície de discordância em ampla escala marca o limite superior do pacote devoniano. De fato, o limite Devoniano-Carbonífero constitui um marco fundamental na geologia do Gondwana (López-Gamund  & Rossello 1993), representado na Bacia do Paraná por uma lacuna que abarca cerca de 55 Ma conhecida como "discordância pré-Itararé" ou "discordância infra-Pensilvaniano" (Milani 1997). A mesma superfície de discordância apresenta grande angularidade naquelas porções da margem do Gondwana diretamente afetadas pela Orogenia Ch nica, tais como as bacias do oeste argentino e a bacia de Sauce Grande. Fatores climáticos, entretanto, contribuíram certamente ao aparecimento da ampla lacuna de 55 Ma. A presença e

movimenta es de geleiras relacionadas   grande glaciação gondwânica, cujo clímax deu-se durante o Mississippiano, forneceram importantes mecanismos de erosão e constituíram-se em obstáculos efetivos ao transporte e   acumulação sedimentar.

A Superseq encia Gondwana I (Fig. 11) sucedeu ao ápice das condições glaciais. A sedimenta o foi retomada com o degelo (Eyles *et al* 1993), e um intenso afluxo sedimentar então teve lugar, proveniente das áreas agora expostas. O degelo patrocinou mecanismos de transporte e deposição em que fluxos de massa e ressedimenta o foram muito importantes, retrabalhando fortemente o substrato e definindo um estilo muito particular para a seção westfaliana-sakmariana da Bacia do Paraná. O pacote diretamente ligado   fase de degelo da calota gondwânica, com 1.500 metros de espessura máxima e conhecido como Grupo Itararé (Forma o Aquidauana na porção norte da bacia)   constituído predominantemente por diamictitos intercalados a arenitos, com elementos tanto glacioterrestres quanto glaciomarinhos. O pacote glaciog nico apoia-se em *onlap* de norte para sul (Fig. 12) sobre a discordância infra-Pensilvaniano, estendendo-se sobre áreas progressivamente mais amplas. No Eopermiano, a sedimenta o alcança a porção meridional da bacia, até então exposta   erosão.

Uma importante fase de rearranjo da geometria da bacia viria a seguir. O sentido regional de *onlap* das unidades sedimentares, um indicativo seguro de paleogradientes da bacia de sedimenta o, foi subitamente invertido; o padrão de norte para sul, dominante durante toda a sedimenta o Itararé,   sucedido por uma distribuição em *onlap* de sul para norte quando da acumulação do Grupo Guatá e equivalentes (Fig. 12). Condições de máximo paleobatim trico para a Superseq encia Gondwana I estão documentados na Forma o Palermo, ao início do Neopermiano. Acima, uma possante seção regressiva com até 1.400 metros de espessura (Grupo Passa Dois) foi acomodada por um ciclo de subsidência renovada do embasamento, culminando nos depósitos eólicos eotri ssicos (forma es Sanga do Cabral e Pirambóia).

Acompanhando a deforma o da margem gondwânica, do Meso a Neopermiano (Cobbold *et al* 1992), teve lugar uma progressiva e irreversível continentaliza o dos sistemas deposicionais na Bacia do Paraná, registrada na porção terminal da Superseq encia Gondwana I (Forma o Rio do Rasto). Desertos arenosos cobriram completamente a bacia e regiões vizinhas durante o Neojurássico (Forma o Botucatu), seguidos pelas lavas eocret ceas da Forma o Serra Geral.

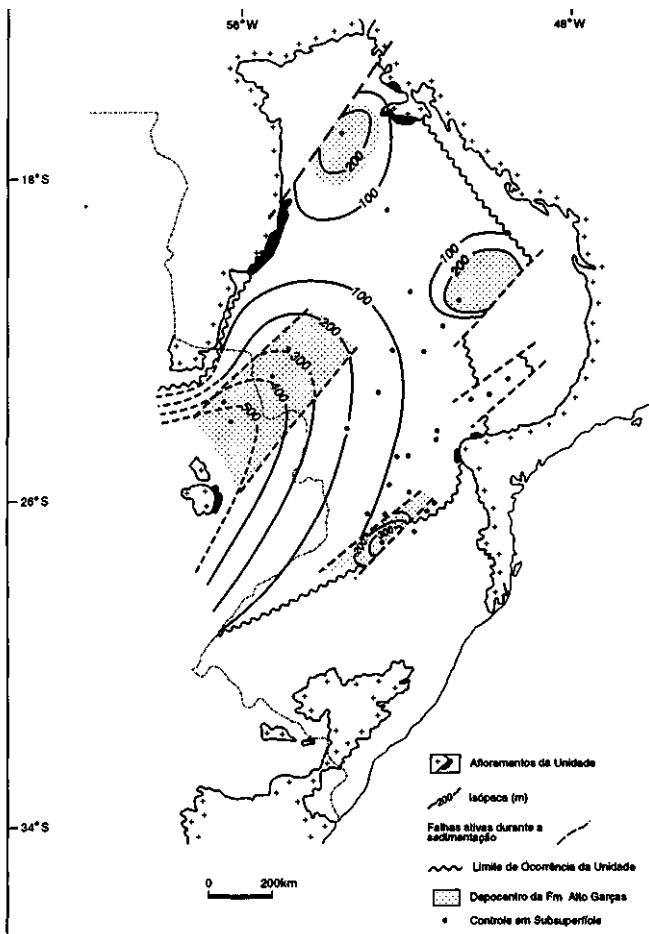


Figura 8 - Mapa de isópacas da Superseq encia Rio Ivaí.

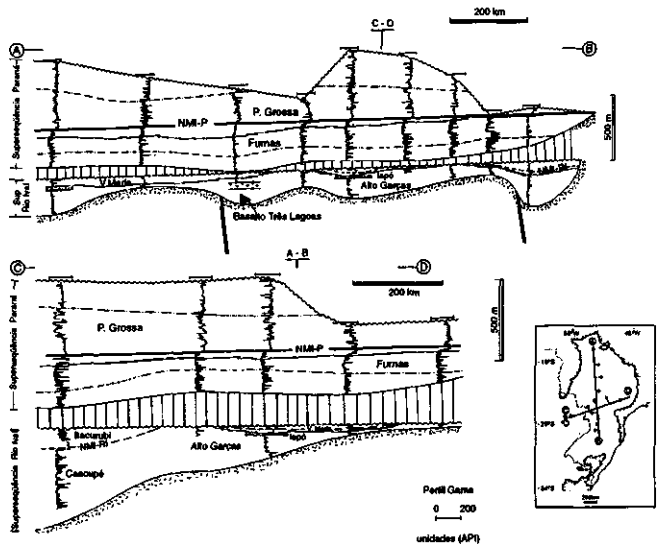


Figura 9 - Correla o de dados de poços ilustrando a ocorrência das superseq encias Rio Ivaí (ordoviciano-siluriana) e Paraná (devoniana) da Bacia do Paraná. Observar o contraste na geometria de ocorrência de cada uma delas, com uma distribuição irregular no pacote inferior, provavelmente controlada por descontinuidades antigas do embasamento; a unidade superior, embora tendo seu topo sido recortado durante o Mississippiano, exibe geometria tabular, e ambas acunham no sentido sul. Na seção C-D, observe o espessamento das duas unidades no sentido oeste, principalmente a mais antiga, refletindo a configura o de depressão aberta para o Panthalassa assumida pela Bacia do Paraná em seus estágios iniciais de desenvolvimento. NMI-P e NMI-P indicam os eventos de máxima inunda o durante a acumula o de cada uma das superseq encias.

Subsidência e acumulação sedimentar na Bacia do Paraná tiveram um último evento no Neocretáceo com a acomodação da Supersequência Bauru, um delgado pacote de sedimentitos continentais areno-conglomeráticos.

Análise de subsidência Padrões específicos de subsidência podem ser observados em bacias relacionadas a distintos contextos geotectônicos (Williams 1995). A despeito de particularidades inerentes a cada caso, que podem conduzir a combinações diversas de processos formadores de bacias, os mecanismos básicos de subsidência são ou ligados ao resfriamento da litosfera ou à flexura por sobrecarga tectônica. Exemplos de regiões que subsidem caracteristicamente por resfriamento da litosfera são as margens continentais do tipo Atlântico, enquanto a flexura litosférica por sobrecarga tectônica manifesta-se predominantemente nas faixas de antepaís adjacentes a cinturões orogênicos. Bacias intracratônicas são feições intrigantes sob o ponto de vista de seus mecanismos de subsidência, e um modelo abrangente e consolidado para explicá-las satisfatoriamente ainda não existe. Este trabalho é uma tentativa de alcançar tal entendimento para o caso da Bacia do Paraná.

Grandes dimensões, associadas a um perfil em rampa de mergulho suave e uma história de sedimentação marcada por múltiplos episódios de acumulação e subsequente erosão regional de pacotes rochosos constituem os ingredientes básicos do cenário sedimentar intracratônico. Este é o caso da Bacia do Paraná, cuja história de subsidência pode ser dividida em fases, correspondentes ao intervalo temporal documentado em suas diversas supersequências (Fig. 13).

A fase de subsidência ordovício-siluriana não pode ser adequadamente avaliada em função do pobre controle bioestratigráfico de sua seção predominantemente arenosa. A geometria da Supersequência Rio Ivaí, definindo depocentros estreitos, alongados segundo a direção SW-NE de zonas de fraqueza do substrato da bacia, e a associação dessa sedimentação com rochas ígneas básicas, permite a especulação de algum tipo de rifting como o mecanismo inicial de subsidência da sinéclise.

A fase devoniana de subsidência na Bacia do Paraná iniciou com taxas pouco pronunciadas e um substrato plano, o que também parece significar o conjunto de características sedimentológico-estratigráficas da Formação Fumas. Esse pacote arenoso exibe uma geometria tabular e uma impressionante constância em suas características de espessura e atributos sedimentares através da bacia. No Emsiano, implantou-se um padrão de subsidência acelerada, conduzindo rapidamente às condições de máxima inundação marinha, o que está documentado nos folhelhos laminados, radioativos, que compõem na porção basal da Formação Ponta Grossa. Sedimentação argilosa pontuada por progradações arenosas desenvolveu-se até o Frasniano.

Após a grande lacuna mississippiana, a sedimentação foi retomada na Bacia do Paraná no Westfaliano, prolongando-se até o Eotriássico. Esta longa fase de subsidência e acomodação sedimentar inclui alguns ciclos menores. O rearranjo na geometria da bacia que sucedeu à sedimentação Itararé é expresso nas curvas de subsidência por um intervalo com taxas decrescentes, durante o Eopermiano. Em torno do limite Eo/Neopermiano, uma brusca quebra no estilo de subsidência é percebida nos gráficos (Fig. 13), com a entrada de um ciclo de subsidência acelerada que se prolongaria até o final da acumulação da Supersequência Gondwana I, já no Eotriássico.

DISCUSSÃO A margem meridional do Gondwana constituiu um vasto domínio de sedimentação adjacente ao Panthalassa durante o Paleozóico. A persistência de uma movimentação convergente entre o paleocontinente e a placa oceânica, com a ocasional colisão de terrenos alóctones, desenhou um complexo quadro de orógenos e depocentros relacionados à margem ativa e diretamente ligados à dinâmica de tal contexto geotectônico. Variações eustáticas do nível do mar (Vail *et al* 1977, Hallam 1984) certamente também deixaram impressa sua assinatura no registro estratigráfico dessa região. A sedimentação de natureza marinha, dominante junto à margem do paleocontinente, avançou sobre o interior cratônico do Gondwana; o mecanismo pelo qual estratos marinhos acumulam-se e são preservados nas bacias intracratônicas é um ponto fundamental na discussão que segue.

Se uma bacia sedimentar implantar-se na porção central de um continente (como por exemplo a Bacia do Pantanal, no centro da América do Sul), aquele será um sítio de sedimentação de natureza não marinha. Entretanto, a marcante presença de pacotes marinhos nas bacias paleozóicas interiores requer efetivas comunicações do contexto intraplaca ao oceano durante alguns intervalos de tempo de sua história evolutiva. Duas linhas de pesquisa preocupam-se com estas questões; Sloss (1963) estudou a distribuição de pacotes sedimentares

sobre o continente norte-americano e reconheceu, em seu arcabouço de "sequências cratônicas" separadas por "discordâncias interregionais", uma estreita relação entre os domínios do interior continental (cráton) e das margens orogênicas (geossinclinais). As conclusões de Sloss foram que a acumulação de sedimentos no interior cratônico e sua remoção erosiva foram controlados por flutuações epirogenéticas dos continentes. Segundo tal raciocínio, a área alcançada a cada momento pela sedimentação marinha teria sido uma função de transgressões e regressões tectonicamente induzidas. O diagrama de Sloss (Fig. 14), ilustrando a distribuição das seis grandes sequências do interior cratônico da América do Norte, tornou-se um clássico na bibliografia estratigráfica, e foi seguido por pesquisadores em outros continentes (Soares *et al.* 1978). Sloss (1972) também reconheceu um arcabouço similar de sequências separadas por discordâncias na plataforma da Rússia, e a correlação global da epirogenese tornou-se então um paradigma. Por seu turno, Johnson (1971) sugeriu a existência de um relacionamento entre os ciclos transgressivo-regressivos documentados nas "sequências de Sloss" e o desenvolvimento dos principais períodos orogênicos no continente norte-americano.

Entretanto, se a proposta de Sloss (1963) for comparada a um diagrama análogo desenhado para a América do Sul (Fig. 14), aparece uma notável dissonância entre as duas regiões em termos do registro estratigráfico documentado em seus domínios cratônicos. Pontos de coincidência acontecem apenas eventualmente, sugerindo que a amplitude temporal das unidades preservadas em cada bloco continental foi controlada por algum tipo de fator local. Este parece ser um forte argumento contra a extrapolação das "sequências de Sloss" além dos limites da América do Norte.

Um outro grupo de cientistas assumiu a eustasia de Suess (1906) como ferramenta para estudos estratigráficos. Vail *et al* (1977) atribuíram as invasões de sequências marinhas sobre os continentes a oscilações de grande amplitude do nível do mar, sendo a tectônica, como mecanismo de controle do registro estratigráfico, por eles relegada a um plano secundário. A "curva de Vail", compilada a partir de informações de uma série de bacias através do mundo, foi publicada com o intuito de tornar-se uma referência para os ciclos transgressivo-regressivos documentados sobre os cinco continentes. A América do Sul e, por conseguinte, a Bacia do Paraná, deveriam incluir-se nesse esquema "global" de correlação estratigráfica. Mas este não parece ser o caso.

Comparando-se o registro estratigráfico da Bacia do Paraná à curva de Vail (Fig. 15), percebe-se que os melhores picos de "correlação global", definidos por aqueles momentos de máxima inundação marinha, situam-se temporalmente no Neossiluriano, Eocarbonífero e Eopermiano. O registro de tais "altos eustáticos" não se fazem presentes na Bacia do Paraná. Níveis de máxima inundação de caráter "local" foram documentados na Bacia do Paraná no Eossiluriano, Eodevoniano e Neopermiano, refletindo variações do nível relativo do mar inerentes a essa porção do continente que provavelmente responderam a uma combinação entre a história de subsidência particular da Bacia do Paraná e as oscilações eustáticas (absolutas) do nível do mar.

Notar que, neste trabalho, os principais fatores de controle do registro estratigráfico, por um lado a subsidência do embasamento de uma região específica do planeta, neste caso o domínio sul-occidental do Gondwana, e por outro as variações eustáticas do nível do mar, foram consideradas variáveis completamente independentes. Em outras palavras, se fosse possível admitir que a subsidência de uma bacia ocorresse segundo uma taxa constante, a ciclicidade observada em seu arcabouço estratigráfico seria resultado exclusivo das oscilações eustáticas. Desta forma, para o caso de uma bacia em particular, a variação do nível "global" do mar foi considerada um fator alóctone, produto de uma combinação de fenômenos em escala planetária. Originada fora dos limites daquela bacia específica, a variação eustática do nível do mar influi em seu registro estratigráfico de modo independente a sua história tectônica particular.

No desenvolvimento da Bacia do Paraná, a geodinâmica do Gondwana sul-occidental parece ter sido de grande influência. A dissipação intraplaca de esforços ao longo de antigas zonas de fraqueza e a propagação no sentido do antepaís para o interior cratônico da flexura litosférica por sobrecarga tectônica estão entre os mecanismos admitidos como controladores primordiais da subsidência e da assinatura estratigráfica nessa bacia interior (Milani 1997).

A Orogenia Oclóyica e a implantação da Bacia do Paraná

O pacote mais antigo da Bacia do Paraná, o da Formação Alto Garças, é datado como Neo-Ordoviciano e sua ocorrência é controlada por zonas de fraqueza do embasamento de orientação SW-NE (Fig. 8). Numa escala regional (Fig. 7), este conjunto de descontinuidades

SW-NE prossegue através do Paraguai e vai encontrar a Faixa Pampeana Oriental (Ramos & Vujovich 1993) na Argentina. Este arcabouço de discontinuidades em ampla escala foi muito importante no

sentido de promover uma conexão mecânica entre a margem da placa e seu interior. Ao longo destas feições lineares pré-existentes, esforços compressivos originados na margem convergente do Gondwana encontraram um modo de dissiparem-se, até mesmo no remoto interior do continente. A Bacia de Las Breñas (Fig. 7) ocorre igualmente ao

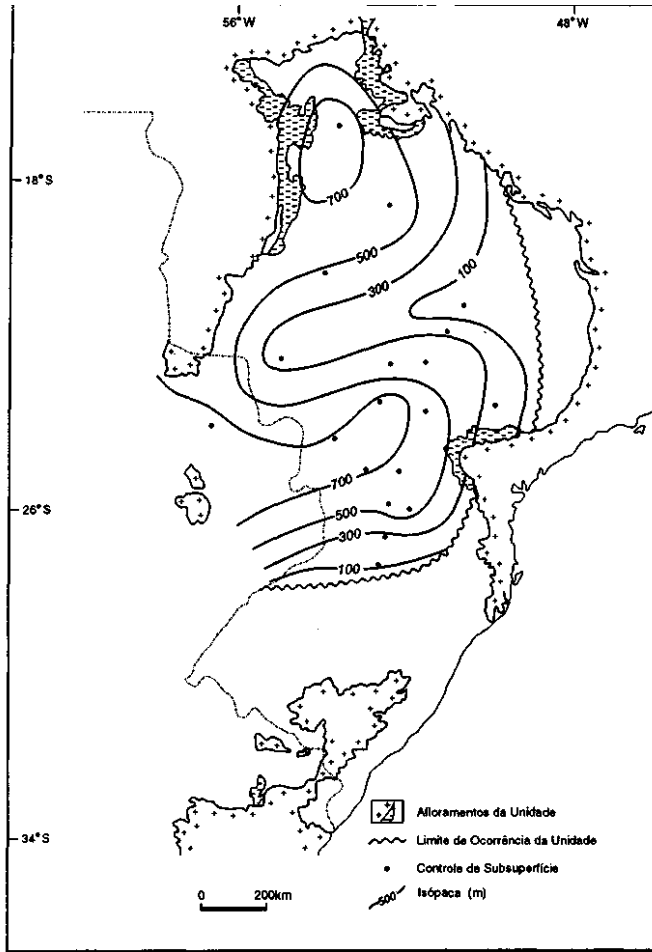


Figure 10 - Mapa de isópacas da Superseqüência Paraná.

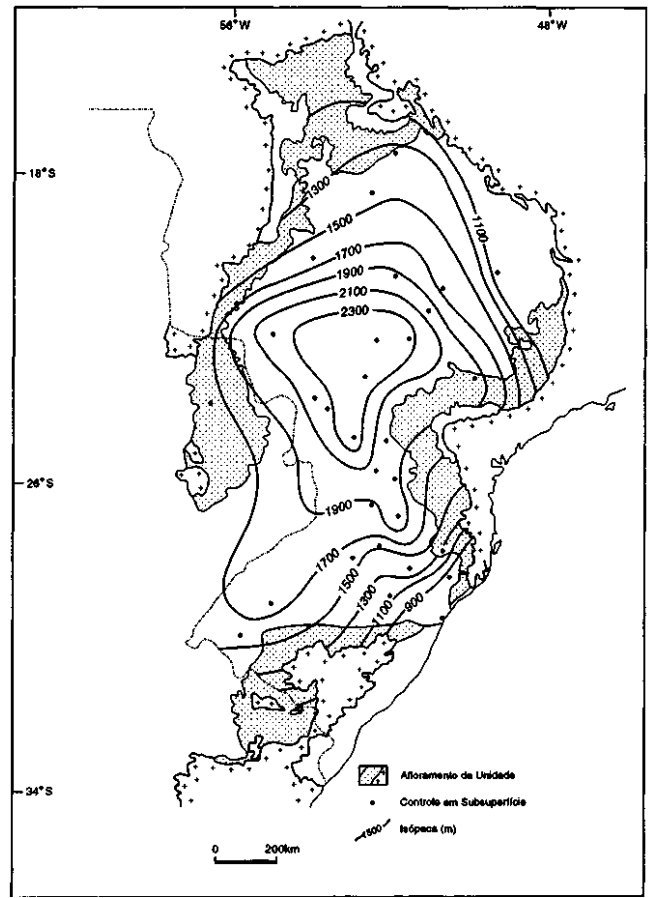


Figura 11 - Mapa de isópacas da Superseqüência Gondwana I.

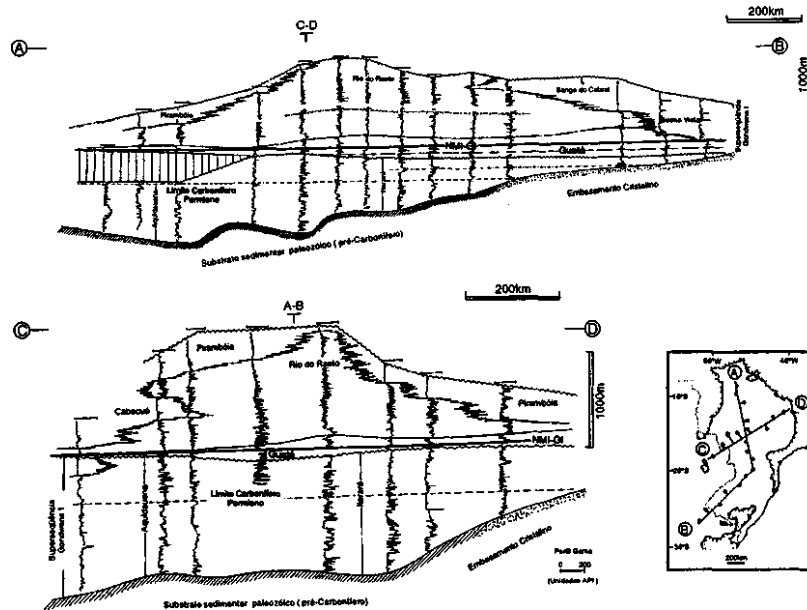


Figura 12 - Correlação de dados de poços ilustrando a distribuição da Superseqüência Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico) da Bacia do Paraná. Notar, na seção A-B, a inversão no sentido do onlap do pacote sedimentar, de norte para sul na seção mais inferior, e no sentido oposto para a sedimentação Guatá. Enquanto o Grupo Guatá e seus correspondentes estratigráficos acumulavam-se em onlap de sul para norte, a porção setentrional da bacia era submetida a exposição subaérea e intensa remoção erosiva. As informações na seção C-D sugerem a permanência, até o Carbonífero, da geometria de depressão aberta para oeste. Tal configuração foi modificada durante o Permiano e Triássico, com o avanço de sistemas continentais (formações Cabacú, Pirambóia, Sanga do Cabral e Buena Vista) no sentido do lago remanescente (Formação Rio do Rasto) que ocupava a porção central da bacia.

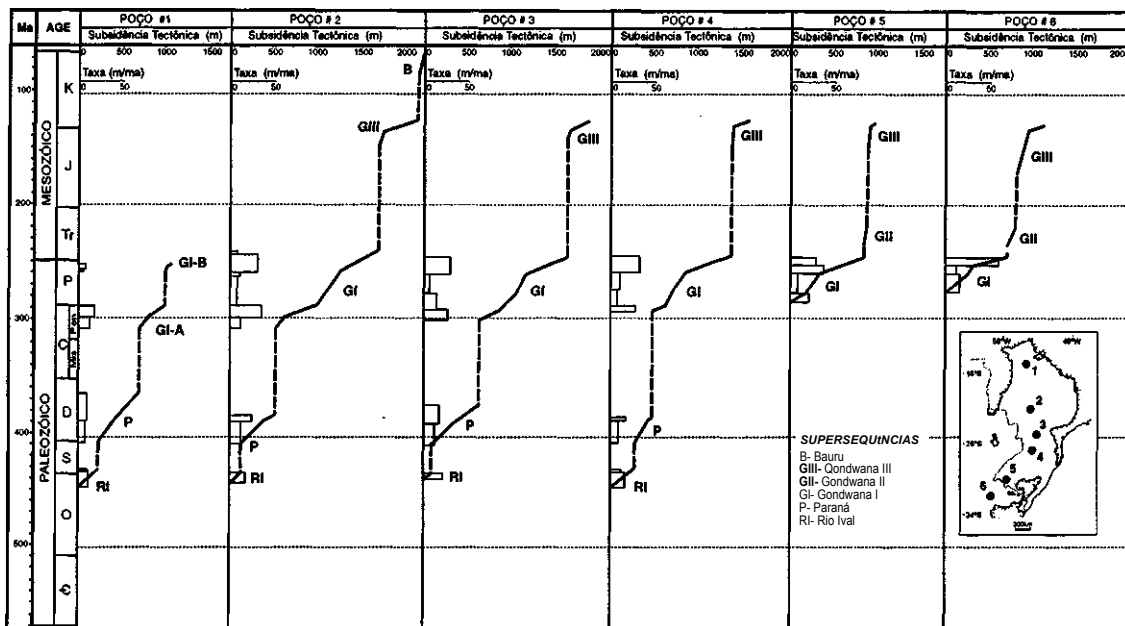


Figure 13 - Gráficos de subsidência calculados a partir de informações de seis poços da Bacia do Paraná. Escala de tempo segundo Cowie & Bassett (1989).

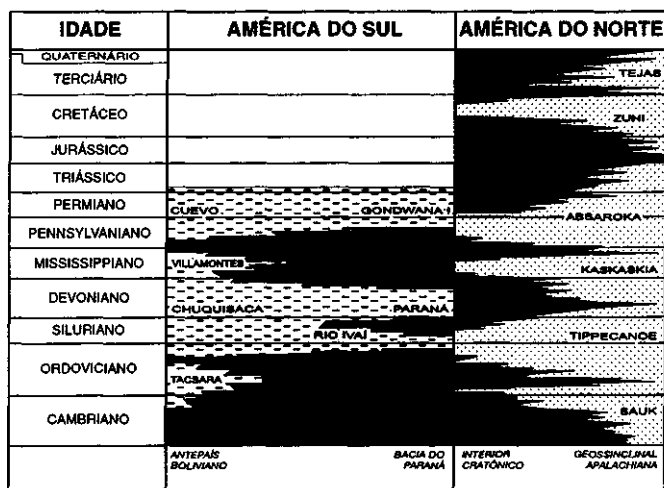


Figure 14 - Diagrama espaço-tempo comparando a distribuição de unidades estratigráficas fanerozóicas na porção oeste da América do Sul e leste da América do Norte, esta última segundo Sloss (1963). Informações da porção boliviana segundo Sempere (1995). A comparação intercontinental mostra uma conspícua dissonância entre o registro estratigráfico de cada um dessas regiões, sendo a correlação exata dos pacotes rochosos uma exceção.

longo deste trend estrutural e consiste em um graben preenchido por um pacote cambro-ordoviciano (Pezzi & Mozetic 1989) que foi deformado por um evento compressivo pré-Siluriano, muito provavelmente durante o Meso a Neo-Ordoviciano.

No Meso a Neo-Ordoviciano o terreno Precordilheira colidiu contra o Gondwana (Ramos 1990, Astini *et al.* 1996). A acomodação dos esforços da Orogenia Oclóyica na região cratônica induziu a subsidência inicial da Bacia do Paraná, na forma de depocentros transtensivos alongados na direção SW-NE. A associação da sedimentação inicial da bacia, a Supersequência Rio Ivaí, com magmatismo intraplaca sugere fortemente ter ocorrido uma reativação ordoviciano de suturas antigas do embasamento (Fig. 16), abrindo o caminho para a ascensão do basalto Três Lagoas. Da mesma forma, como já fora sugerido por Assine (1996), uma estreita correlação é observada entre a amplitude temporal do ciclo de subsidência causado pela Orogenia Oclóyica e a amplitude temporal da Supersequência Rio Ivaí (Fig. 17), estando o momento da máxima inundação desse ciclo sedimentar, no Landoveriano, muito próximo em tempo ao clímax orogênico.

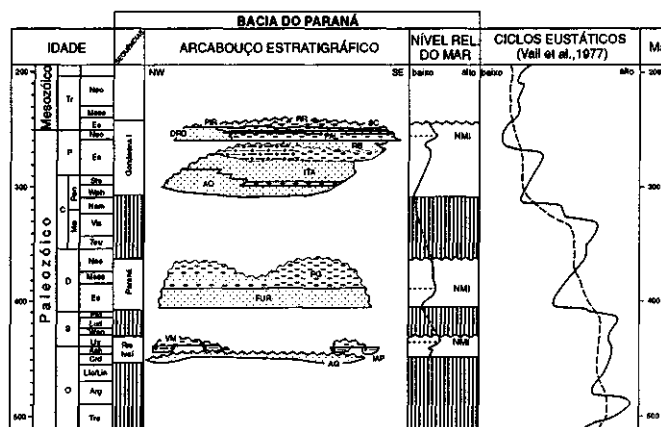


Figure 15 - O registro paleozóico marinho da Bacia do Paraná comparado à curva de Vau (Vau et al 1977). Observar que os máximos eustáticos, supostamente picos de correlação global, não estão registrados na Bacia do Paraná. Por seu turno, níveis de máxima inundação de caráter local nela se desenvolveram, como resultado de sua história de subsidência particular. Denominação das unidades litoestratigráficas: AG-Formação Alto Garças, LAP-Formação lapó, VM-Formação Vila Maria, FUR-Formação Furnas, PG-Formação Ponta Grossa, AQ-Formação Aquidauana, ITA-Grupo Itararé, RB-Formação Rio Bonito, PAL-Formação Palerma, DRD-Formação Dourados, RR-Formação Rio do Rasto, PIR-Formação Pirambóia, SC-Formação Sanga do Cabral. Simbologia litológica é a usual. Escala de tempo segundo Cowie & Bassett (1989).

A atenuação do campo de tensões da Orogenia Oclóyica foi percebida na Bacia do Paraná pelo decréscimo das taxas de subsidência ainda no Siluriano, em tempos pós-landoverianos. Embora fosse o Siluriano no seu todo um tempo de nível eustático crescente (Fig. 17), ele caracterizou-se como época de erosão na Bacia do Paraná, uma circunstância que mostra o significado da história de subsidência da bacia como mecanismo de controle de seu registro estratigráfico.

O ciclo devoniano de subsidência: flexura litosférica em ampla escala O registro devoniano na Bacia do Paraná inicia com a Formação Furnas, um pacote arenoso de geometria tabular acumulado sobre um amplo e estável peneplano pós-oclóyico. As condições de estabilidade foram quebradas por um ciclo de subsidência acelerada durante o Praguiano-Emsiano, neste caso patrocinado por outra fase de deformação na margem gondwânica, a Orogenia Precordilheirana

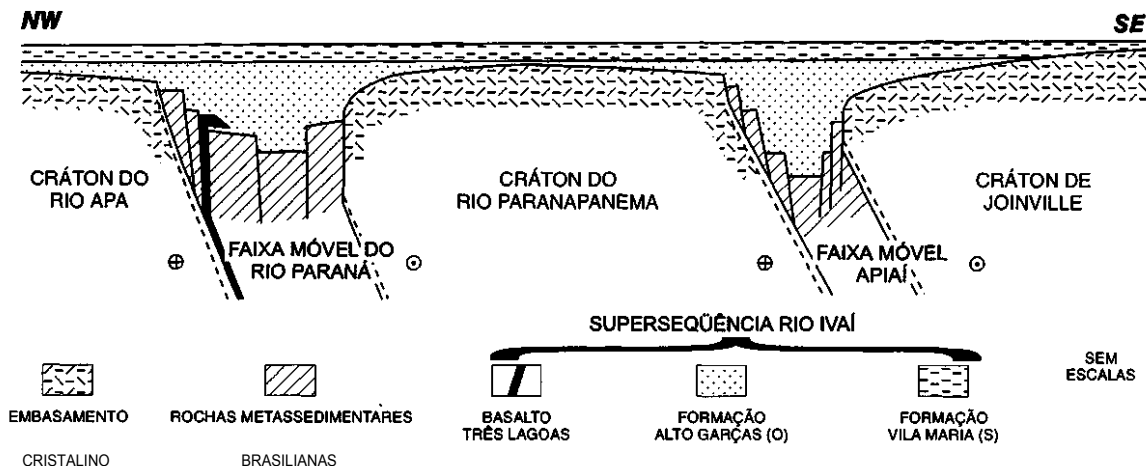


Figura 16 - Diagrama esquemático ilustrando o controle tectônico sobre a sedimentação durante a acumulação do pacote ordovício-siluriano da Bacia do Paraná. Observar o desenvolvimento de grabens transversivos ao longo de suturas do embasamento. Localização na Fig. 7.

(Fig. 17). A aceleração da subsidência conduziu a um rápido afogamento dos sistemas transicionais da Formação Furnas e de sua correlata no oeste argentino, a Formação Santa Rosa. A semelhança do observado para a Supersequência Rio Ivaí, o nível de máxima inundação da Supersequência Paraná, de idade Emsiana, correlaciona-se muito bem ao tempo das maiores taxas de subsidência no antepaís, relacionadas agora ao clímax da Orogenia Precordilheirana.

Uma questão emerge da observação de que os domínios de antepaís e intracratônico experimentaram episódios sincronizados de subsidência e acumulação sedimentar; ela diz respeito à presença e ao papel do *bulge* periférico (Beaumont 1981), um elemento ligado à intrínseca rigidez litosférica durante a flexura e frequentemente invocado como barreira paleofisiográfica e limite entre tais domínios de subsidência. Se uma feição estrutural positiva emergisse entre as duas regiões subsidentes, este seria um importante elemento controlador de fácies sedimentares. Na área aqui estudada, entretanto, a assinatura transgressiva-regressiva da seção devoniana foi registrada de modo sincrônico em toda essa ampla região, tanto no antepaís quanto no contexto intracratônico, mostrando a inexistência de uma efetiva barreira entre os dois distintos domínios de subsidência.

Quinlan & Beaumont (1984) estudaram um contexto similar, na margem Apalachiana da América do Norte. Em suas figuras, eles ilustram o *bulge* flexural como uma feição de amplitude vertical acentuada, separando marcadamente os sítios de antepaís e intracratônico. Tal configuração traria implícito que um pulso orogênico seria percebido no domínio intracratônico como um momento de regressão, uma vez que a orogenia motivaria a subida do *bulge* flexural, isolando o interior do continente e elevando as bordas da bacia interior. Esta relação geométrica, entretanto, parece não se aplicar adequadamente à região aqui abordada. No Devoniano do Gondwana sul-occidental, observa-se um vínculo entre o pulso orogênico e a invasão franca das fácies marinhas no sentido do cráton, indicando transgressões tectonicamente induzidas.

Este comportamento diferenciado da litosfera gondwânica pode ter sido condicionado pela natureza dos episódios colisionais lá acontecidos; a chegada de terrenos lateralmente limitados (Fig. 18) deve ter induzido uma concentração de esforços em áreas específicas da margem ativa. Do mesmo modo, uma litosfera de elevada rigidez igualmente teria favorecido uma efetiva propagação da deformação flexural no sentido do interior continental.

A distribuição do pacote devoniano na porção sul-occidental da América do Sul é mostrada na Figura 18. Nesta correlação regional de dados de poços entre a Bacia do Paraná e o oeste argentino, parece ser admissível o fato de que a subsidência tenha sido compartilhada entre os domínios de antepaís e intracratônico. Os gráficos de subsidência ilustram com clareza a aceleração de subsidência experimentada simultaneamente em toda a região a partir do Emsiano, permitindo a interpretação de que as condições de máxima inundação do ciclo devoniano deram-se não como resposta a uma subida eustática, mas sim como resultado de um aprofundamento rápido do substrato.

Tectônica e sedimentação no Carbonífero e Permiano

A Orogenia Chanica, do Eocarbonífero, produziu um ciclo renovado de subsidência muito bem documentado no antepaís. No oeste argentino, o ciclo Guandacol da Bacia de Paganzo, do Mississipiano,

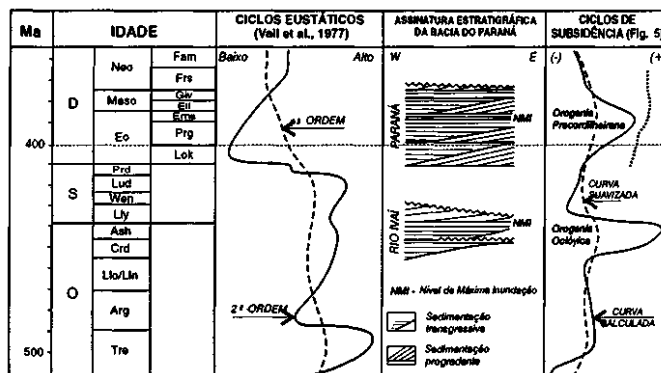


Figura 17 - Assinatura estratigráfica das supersequências Rio Ivaí e Paraná da Bacia do Paraná e seu relacionamento com os ciclos eustáticos de Vaill e com os ciclos de subsidência do Gondwana sul-occidental. Observe que a amplitude temporal de cada supersequência encontra-se confinada aos limites do ciclo de subsidência patrocinado por cada orogenia, e que os episódios de máxima inundação praticamente coincidem com o momento do ápice orogênico. A curva de taxas médias de subsidência (pontilhada), computada aritmeticamente para a Supersequência Paraná a partir das informações da Fig. 13, mostra um bom ajuste com o ciclo de subsidência no antepaís relacionado à Orogenia Precordilheirana. Por outro lado, não parece existir uma correspondência entre a assinatura destas supersequências e os altos e baixos da eustasia. Escala de tempo segundo Cowie & Bassett (1989).

corresponde a esta fase de subsidência (Fernández-Seveso & Tankard 1995). Na Bacia do Paraná, este foi um tempo de não-deposição basicamente em função da presença e influência dos glaciares na área da bacia de sedimentação. A acumulação sedimentar só seria retomada no Westfaliano, então sendo contínua até o Eotriássico. A influência marinha na sedimentação reduzir-se-ia progressivamente com o passar do tempo, indicando um progressivo e efetivo fechamento da bacia às incursões do Panthalassa.

Ao final do Eopermiano, a morfologia da Bacia do Paraná foi profundamente modificada (Fig. 12), fato que coincide em tempo ao clímax da Orogenia Sanrafaélica (Fig. 19). O material vulcanogênico que ocorre na seção do Permiano Inferior da Bacia do Paraná (Coutinho *et al* 1991) correlaciona-se ao evento Choiyoi do oeste da Argentina, onde corresponde a um vasto arco magnético calcio-alcálico distribuído no tempo entre 275 e 250 Ma (Kay *et al* 1989) e que deve ter-se constituído em um efetivo, e provavelmente definitivo, obstáculo ao acesso marinho sobre o Gondwana meridional (Urien *et al* 1995).

Considerações finais As informações aqui manuseadas conduziram à interpretação de que existiu uma estrita correlação entre a evolução da Bacia do Paraná no interior continental do Gondwana e o regime tectônico atuante ao longo dos Gondwanides durante o Paleozóico. O substrato do Gondwana sul-occidental reagiu por flexura

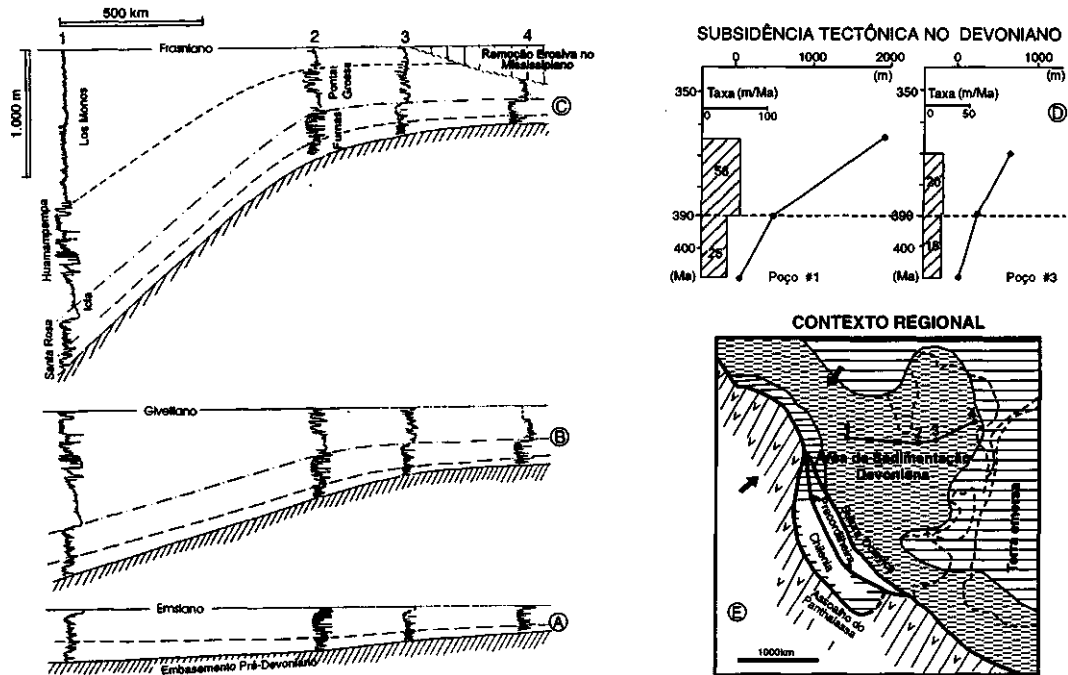


Figura 18 - Correlação regional de dados de poços mostrando a distribuição de estratos devonianos através da porção meridional da América do Sul. Idades para as unidades boliviano-argentinas são de Barrett & Isaacson (1988), e para a Bacia do Paraná são de Melo (1988). (A) Entre o Lockoviano e o Praguiano, um substrato estabilizado favoreceu o desenvolvimento de um pacote tabular de arenitos continentais a marinho rasos (formações Santa Rosa/Furnas). O Emsiano marcou o início de um ciclo de subsidência acelerada, que conduziu (B) ao desenvolvimento das condições de máxima inundação de todo o ciclo devoniano. Os gráficos de subsidência (D) mostram a quebra tanto no antepaís quanto no domínio intracratônico, com taxas crescentes a partir do Emsiano, e este evento de aceleração da subsidência é invocado como o responsável pelo rápido afogamento de toda esta área. (C) Taxas de subsidência relativamente elevadas continuaram até o Frasniano, propelidas pelos movimentos terminais da Orogenia Precordilheirana. Reconstituições paleogeográficas/paleotectônicas em parte baseadas em Ramos et al (1986).

sob os campos de esforços originados ao longo da margem ativa, e este fato representou um efetivo mecanismo de criação de espaço à acumulação sedimentar no domínio intracratônico. Este mecanismo de subsidência parece refletir a propagação para o interior continental da flexura litosférica a partir da calha de antepaís, de tal sorte que a Bacia do Paraná experimentou fases de subsidência acelerada que correlacionam-se estreitamente às do domínio de antepaís adjacente. Como resultado, a amplitude temporal das superseqüências da Bacia do Paraná está claramente confinada aos limites temporais dos diferentes ciclos de subsidência patrocinados pelas orogenias paleozóicas da margem do Gondwana. As assinaturas estratigráficas das várias superseqüências, em termos de ciclos trasgressivo-regressivos, da mesma forma apresentam uma estreita correlação aos ciclos de subsidência do Gondwana sul-occidental.

A correlação global de eventos estratigráficos proposta na curva de Vail ou as seqüências cratônicas de Sloss não fornecem os meios para elucidar de maneira satisfatória a construção do arcabouço estratigráfico da Bacia do Paraná. Outrossim, ele parece muito mais um produto direto da história de subsidência da bacia, história essa que se deu em marcante sintonia com o desenvolvimento tectônico do Gondwana sul-occidental.

Agradecimentos Este trabalho constitui síntese da Tese de Doutorado de E. J. Milani (UFRGS, 1997), que contou com a orientação do Prof. Victor A. Ramos no tocante à análise tectônica regional. Os autores agradecem à Petróleo Brasileiro S. A. pela liberação dos dados de sua propriedade. Peter Szatmari, Pedro V. Zalán e César Cainelli revisaram versões preliminares deste artigo, o que em muito contribuiu ao seu aprimoramento. Os autores agradecem igualmente ao revisor anônimo da RBG por seus pertinentes comentários.

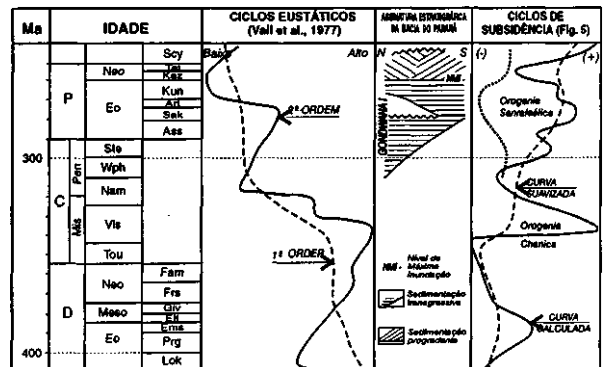


Figura 19 - Assinatura estratigráfica da Superseqüência Gondwana I da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a curva de Vail e com os ciclos de subsidência do Gondwana sul-occidental (Milani 1997). Curva pontilhada representa as taxas médias de subsidência em escala de bacia, obtida aritmeticamente a partir dos dados da Fig. 13. Observar a coincidência existente entre as taxas mais elevadas de subsidência no domínio do antepaís do Gondwana sul-occidental, registradas durante o Eopermiano e relacionadas à Orogenia Sanrafaélica, e o rearranjo estrutural experimentado pelo substrato da Bacia do Paraná, o que é indicado pelas taxas decrescentes na curva pontilhada. Seguiu-se a inversão no sentido do onlap sedimentar e um renovado ciclo de subsidência acelerada, já no Permiano terminal. Escala de tempo segundo Cowie & Bassett (1989).

Referências

Almeida, F.F.M. & Hasui, Y. 1983. *O Pré-Cambriano do Brasil*. Edgard Blücher, 378 p.

Andreis, R.R.; Ifiguez, A.M.; Lluich, J.L.; Rodríguez, S. 1989. Cuenca paleozóica de Ventania, Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. In: G. A. Chebli & L. A. Spalletti (eds.) *Cuencas sedimentarias argentinas*. Tucuman: Universidad Nacional, Serie Correlacion Geológica, n. 6, p. 265-298.

Assine, M.L. 1996. *Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 207 p.

Astini, R.A. 1996. Las fases diastróficas del Paleozóico Medio en la Precordillera del oeste argentino -evidencias estratigráficas. In: Congreso Geológico Argentino y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 13/3, 1996. *Actas...* Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina y Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, v. 5, p. 509-526.

- Astini, R.A.; Benedetto, J.L.; Vaccari, N.E. 1995. The early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, drifted, and collided terrane - a geodynamic model. *Geological Society of America Bulletin*, 107(3):253-273.
- Astini, R.A.; Ramos, V.A.; Benedetto, J.L.; Vaccari, N.E. 1996. La Precordillera: un terreno exótico a Gondwana. In: Congreso Geológico Argentino y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 13/3, 1996. *Actas...* Buenos Aires, AGA/IAPG, v. 5, p. 293-324.
- Bahlburg, H. & Breitzkreuz, C. 1991. Paleozoic evolution of active margin basins in the Southern Central Andes (Northwestern Argentina and Northern Chile). *Journal of South American Earth Sciences*, 4(3): 171-188.
- Barrett, S.F. & Isaacson, P.E. 1988. Devonian paleogeography of South America. In: N. J. McMillan; A. F. Embry; D. J. Glass (eds.) *Devonian of the world*. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 14, v. I, p. 655-667.
- Beaumont, C. 1981. Foreland basins. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55:291-329.
- Borello, A.V. 1965. Sobre la presencia del Cámbrico inferior olenellidiano en la Sierra de Zonda, Precordillera de San Juan. *Ameghiniana III*, 10:313-318.
- Cobbold, P.R.; Gapais, D.; Rossello, E.A.; Milani, E.J.; Szatmari, P. 1992. Permo-Triassic intracontinental deformation in SW Gondwana. In: M. J. De Wit & I. D. Ransome (eds.) *Inversion tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous basins of Southern Africa*. Balkema, p. 23-26.
- Cole, D.I. 1992. Evolution and development of the Karoo Basin. In: M. J. De Wit & I. D. Ransome (eds.) *Inversion tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous basins of Southern Africa*. Balkema, p. 87-100.
- Cordani, U.G.; Neves, B.B.B.; Fuck, R.A.; Porto, R.; Thomaz Filho, A.; Cunha, F.M.B. 1984. *Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, Série Ciência-Técnica-Petróleo n. 15, 70 p.
- Coutinho, J.M.V.; Hachiro, J.; Coimbra, A.M.; Santos, P.R. 1991. Ash-fall derived vitroclastic tuffaceous sediments in the Permian of the Paraná Basin and their provenance. In: Gondwana Seven, São Paulo, 1988. *Proceedings...*, São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 147-160.
- Cowie, J.W. & Bassett, M.G. 1989. IUGS Global stratigraphic chart. *Episodes*, 12 (2).
- De Wit, M.J.; Jeffery, M.; Bergh, H.; Nicolaysen, L. 1988. *Geological map of sectors of Gondwana, reconstructed to their disposition ~ 150 Ma*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists/University of Witwatersrand, escala 1:10 000 000.
- Díaz-Martínez, E. 1995. *Devonico Superior y Carbonífero del Altiplano de Bolivia - estratigrafía, sedimentología y evolución paleogeográfica*. La Paz: Informes de ORSTOM Bolivia, n. 46, 164 p.
- Du Toit, A.L. 1927. *A geological comparison of South America with South Africa*. Washington: The Carnegie Institution, publ. 381, 157 p.
- Eyles, C.H.; Eyles, N.; França, A.B. 1993. Glaciation and tectonics in an active intracratonic basin: the Late Palaeozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentology*, 40:1-25.
- Fernández-Seveso, F.; Perez, M.A.; Brisson, I.E.; Alvarez, L. 1993. Sequence stratigraphy and tectonic analysis of the Paganzo Basin, West Argentina. *Comptes Rendus XIII CC-P*, 2:223-260.
- Fernández-Seveso, F. & Tankard, A.J. 1995. Tectonics and stratigraphy of the Late Paleozoic Paganzo Basin of Western Argentina and its regional implications. In: A. J. Tankard; R. Suárez Soruco; H. J. Welsink (eds.) *Petroleum basins of South America*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, p. 285-301.
- França, A.B.; Milani, E.J.; Schneider, R.L.; López-Paulsen, O.; López-Pugliesi, J.M.; Suárez S., R.; Santa Ana, H.; Wiens, F.; Ferreira, O.; Rossello, E.A.; Bianucci, H.A.; Flores, R.F.A.; Vistalli, M.C.; Fernández-Seveso, F.; Fuenzalida, R.P.; Muffoz, N. 1995. Phanerozoic correlation in Southern South America. In: A. J. Tankard; R. Suárez Soruco; H. J. Welsink (eds.) *Petroleum basins of South America*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, p. 129-161.
- França, A.B.; Tringüis, J.A.; Anjos, S.M.C.; Milani, E.J.; Wolff, S. 1994. *Projeto Ponta Grossa*. Curitiba: PETROBRAS, 2 v. (relatório interno).
- Furque, G. 1965. Geología de la región del Cerro La Bolsa (Provincia de La Rioja). In: Segundas Jornadas Geológicas Argentinas, 1965. *Actas...* Buenos Aires: AGA, p. 181-215.
- Gohrbandt, K.H.A. 1993. Paleozoic paleogeographic and depositional developments on the central proto-Pacific margin of Gondwana: their importance to hydrocarbon accumulation. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(4):267-287.
- Hallam, A. 1984. Pre-Quaternary sea-level changes. *Annual Review of the Earth and Planetary Science Letters*, 12:205-243.
- Íñiguez, A.M.; Valle, A.; Poiré, D.G.; Spalletti, L.A.; Zalba, P.E. 1989. Cuenca precambriana/paleozoica inferior de Tandilia, Provincia de Buenos Aires. In: G. A. Chebli & L. A. Spalletti (eds.) *Cuencas sedimentarias argentinas*. Tucuman: Universidad Nacional, Serie Correlacion Geológica, n. 6, p. 245-264.
- Johnson, J.G. 1971. Timing and coordination of orogenic, epirogenic and eustatic events. *Geological Society of America Bulletin*, 82:3263-3298.
- Johnson, M.R. 1991. Sandstone petrography, provenance and plate tectonic setting in Gondwana context of the southeastern Cape-Karoo Basin. *South African Journal of Geology*, 94:137-154.
- Kay, S.M.; Ramos, V.A.; Mpdozis, C.; Sruoga, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America? *Geology*, 17(4):324-328.
- Keidel, J. 1916. *La geología de las sierras de la Provincia de Buenos Aires y sus relaciones con las montañas de Sud África y los Andes*. Buenos Aires: Anales del Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Minerología y Mincría, IX, 3:1-78.
- Klein, G.D. 1995. Intracratonic basins. In: C. J. Busby & R. V. Ingersoll (eds.) *Tectonics of sedimentary basins*. Blackwell Science, p. 459-478.
- Kokogian, D.A.; Fernández-Seveso, F.; Mosquera, A. 1993. Las secuencias sedimentarias triásicas. In: V. A. Ramos (ed.) *Geología y recursos naturales de Mendoza*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina/Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, p. 65-78.
- Leighton, M.W. & Kolata, D.R. 1990. Selected interior cratonic basins and their place in the scheme of global tectonics - a synthesis. In: M. W. Leighton; D. R. Kolata; D. F. Oltz; J. J. Eidel (eds.) *Interior cratonic basins*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 51, p. 729-797.
- López-Gamundi, O.R.; Conaghan, P.J.; Rossello, E.A.; Cobbold, P.R. 1995. The Tunas Formation (Permian) in the Sierras Australes Foldbelt, east central Argentina - evidence for syntectonic sedimentation in a foreland basin. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(2): 129-142.
- López-Gamundi, O.R.; Espejo, I.S.; Conaghan, P.J.; Powell, C.M.A. 1994. Southern South America. In: J. J. Veever & C. M. A. Powell (eds.) *Permian-Triassic Pangean basins and foldbelts along the Panthalassan margin of Gondwanaland*. Boulder: Geological Society of America Memoir 184, p. 281-329.
- López-Gamundi, O. & Rossello, E.A. 1993. Devonian-Carboniferous unconformity in Argentina and its relation to Eo-Hercynian orogeny in southern South America. *Geologische Rundschau*, 82:136-147.
- López-Gamundi, O. & Rossello, E.A. Common evolutionary patterns along the Samfrau geosyncline: the Sauce Grande Basin-Ventana foldbelt (Argentina) and Karoo Basin-Cape foldbelt (South Africa) revisited. *Geologische Rundschau* (no prelo).
- Marques, A.; Zanotto, O.A.; França, A.B.; Astolfi, M.A.M.; Paula, O.B. 1993. *Compartimentação tectônica da Bacia do Paraná*. Curitiba: PETROBRAS/ NEXPAR, 87 p. (relatório interno).
- Melo, J.H.G. 1988. The Malvinokaffric realm in the Devonian of Brazil. In: N. J. McMillan; A. F. Embry; D. J. Glass (eds.) *Devonian of the world*. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 14, v. I, p. 669-704.
- Milani, E.J. 1992. Intraplate tectonics and the evolution of the Paraná Basin, S Brazil. In: M. J. De Wit & I. D. Ransome (eds.) *Inversion tectonics of the Cape Fold Belt, Karoo and Cretaceous basins of Southern Africa*. Balkema, p. 101-108.
- Milani, E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sul-occidental. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 255 p.
- Milani, E.J.; Assine, M.L.; Soares, P.C.; Daemou, R.F. 1995. A Sequência Ordovício-Siluriana da Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, 9(2/4):301-320.
- Mizusaki, A.M.P. 1989. *Análise petrográfica e dotação radiométrica do poço 2-TL-1-MS (testemunhos 39 e 40)*. Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES, 8 p. (relatório interno).
- Pezzi, E.E. & Mozetic, M.E. 1989. Cuencas sedimentarias de la región Chacoparanense. In: G.A. Chebli & L. A. Spalletti (eds.) *Cuencas sedimentarias argentinas*. Tucuman: Universidad Nacional, Serie Correlacion Geológica, n. 6, p. 65-78.
- Powell, C.M.A. 1993. Assembly of Gondwanaland - open forum. In: Gondwana Eight, *Proceedings...* Balkema, p. 219-237.
- Quinlan, G.M. & Beaumont, C. 1984. Appalachian thrusting, lithospheric flexure, and the Paleozoic stratigraphy of the Eastern interior of North America. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21:973-996.
- Ramos, V.A. 1988. Late Proterozoic - Early Paleozoic of South America - a collisional history. *Episodes*, 11(3):168-174.
- Ramos, V.A. 1990. *Field guide to geology of the Central Andes (31°-33° SL)*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Central Andes Field Seminar, 68 p.
- Ramos, V.A. 1993. Interpretación tectónica. In: V. A. Ramos (ed.) *Geología y recursos naturales de Mendoza*. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina/Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, p. 257-268.
- Ramos, V.A.; Jordan, T.E.; Allmendinger, R.W.; Kay, S.M.; Cortes, J.M.; Palma, M.A. 1984. Chileña: un terreno aloctono en la evolución paleozoica de los Andes centrales. In: Congreso Geológico Argentino, 9. Buenos Aires, *Actas...* Buenos Aires, Asociación Geológica Argentina, v. 2:84-106.
- Ramos, V.A.; Jordan, T.E.; Allmendinger, R.W.; Mpdozis, C.; Kay, J.M.; Cortes, J.M.; Palma, M. 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 5(6):855-880.
- Ramos, V.A. & Vujovich, G. I. 1993. Alternativas de la evolución del borde occidental de America del Sur durante el Proterozoico. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3): 194-200.
- Ramos, V.A.; Vujovich, G.L.; Dallmeyer, R.D. 1996. Los klippen y ventanas tectónicas de la estructura precámbrica de la Sierra de Pie de Paio (San Juan): edad y implicaciones tectónicas. In: Congreso Geológico Argentino y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, 13/3, 1996. *Actas...* Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina y Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, v. 5, 377-392.
- Sempere, T. 1995. Phanerozoic evolution of Bolivia and adjacent regions. In: A. J. Tankard; R. Suárez Soruco; H. J. Welsink (eds.) *Petroleum basins of South America*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, p. 207-230.
- Sloss, L.L. 1963. Sequences in the cratonic interior of North America. *Geological Society of America Bulletin*, 74:93-114.
- Sloss, L.L. 1972. Synchrony of Phanerozoic sedimentary-tectonic events of the North American craton and the Russian platform. In: International Geological Congress, 24. *Proceedings...* Montreal: International Union of Geological Sciences, p. 24-32.
- Soares, P.C. 1991. *Tectónica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná - controles*. Departamento de Geología, Universidade Federal do Paraná, Monografía para concurso de Professor Titular, 131 p.
- Soares, P.C.; Landim, P.M.B.; Fulfaro, V.J. 1978. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the Brazilian intracratonic basins. *Geological Society of America Bulletin*, 89:181-191.
- Steckler, M. & Watts, A.B. 1978. Subsidence of the Atlantic-type continental margin off New York. *Earth and Planetary Science Letters*, 41:1-13.
- Suess, E. 1906. *The face of the Earth*. Clarendon Press, 759 p.
- Urien, C.M.; Zambrano, J.J.; Yrigoyen, M.R. 1995. Petroleum basins of South America - an overview. In: A. J. Tankard; R. Suárez Soruco; H. J. Welsink (eds.) *Petroleum basins of South America*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, p. 63-78.
- Vail, P.R.; Mitchum, R.M.; Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: C. E. Payton (ed.) *Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, p. 63-81.
- Veever, J.J.; Cole, D.I.; Cowan, E.J. 1994. Southern Africa: Karoo Basin and Cape Fold Belt. In: J. J. Veever & C. M. A. Powell (eds.) *Permian-Triassic Pangean basins and foldbelts along the Panthalassan margin of Gondwanaland*. Boulder: Geological Society of America Memoir 184, p. 223-280.
- Visser, J.N.J. 1990. The age of the glaciene deposits in Southern África. *South African Journal of Geology*, 93:366-375.
- Williams, K.E. 1995. Tectonic subsidence analysis and Paleozoic paleogeography of Gondwana. In: A. J. Tankard; R. Suárez Soruco; H. J. Welsink (eds.) *Petroleum basins of South America*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62, p. 79-100.
- 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: American Association of Petroleum Geologists Memoir 51, p. 681-708.