

UNIVERSIDADE DE CAMPINAS - UNICAMP
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROJETO DE PESQUISA DE MESTRADO

**SISTEMAS DOMINADOS POR MARÉS: UM MODELO DEPOSICIONAL
PARA A FORMAÇÃO FURNAS (DEVONIANO, CANYON DO
GUARTELÀ, PARANÀ)**

Pesquisadores:

Giorgio Basilici (Docente e Orientador, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo)

Thiago Pereira Araújo (Estudante de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, São
Paulo)

Campinas – 2014

RESUMO

A Formação Furnas, localizada na Bacia do Paraná, é um exemplo de unidade sedimentar que provavelmente se formou num sistema deposicional dominado por marés. Contudo, parece não existir modelos deposicionais análogos que possam ser comparados com os sedimentos da Formação Furnas e auxiliar na confirmação desse fato. De fato, muitos autores atribuem à Formação Furnas uma origem ligada a sedimentação fluvial, porque existem semelhanças entre depósitos construídos por ação de marés em fácies transgressivas e depósitos desenvolvidos em ambientes fluviais entrelaçados. Este projeto realizará estudos de campo no Canyon do Guartelá e nas suas áreas próximas, onde existem afloramentos bastante representativos da Formação Furnas. Mediante a coleta de dados significativos a respeito de fácies sedimentares, paleocorrentes e elementos arquiteturais, o projeto possui o objetivo de realizar um modelo dos processos deposicionais e dos corpos sedimentares que se formam em regiões costeiras influenciadas por ação de marés.

1. INTRODUÇÃO: SISTEMAS DEPOSICIONAIS DOMINADOS POR MARÉS

Os sistemas deposicionais de ambiente marinho costeiro dominado por ação de marés apresentam algumas estruturas que lhes permitem uma relativamente fácil identificação: por exemplo, acamamento lenticular, ondulado e/ou *flaser*, lâminas de argila (*mud drapes*), feixes de maré (*tidal bundles*) e estratificação cruzada espinha-de-peixe. Os modelos de sedimentação em ambientes dominados por marés demonstram que os depósitos e as relativas fácies sedimentares são influenciados por marés rotacionais, ciclicidade da energia e da direção das marés, e ação de tempestades (Johnson e Baldwin, 1996).

Contudo, o reconhecimento de depósitos formados por ação de maré apenas pode ser realizado pela análise das relações verticais e laterais das diferentes fácies sedimentares associadas. Além disso, estudos realizados por Shinn (1983) mostram que depósitos modernos de planície de maré exibem variações de detalhe entre diferentes regiões do planeta, que são reflexo das características tectônicas, clima, idade e localização geográfica da bacia sedimentar. Os sistemas deposicionais gerados por correntes de maré ainda podem interagir com outros processos de deposição, por exemplo, ação de ondas ou de rios e deltas, gerando sistemas híbridos, que resultam em fácies e arquiteturas sedimentares mistas ou inusitadas (Boyd *et al.*, 1992; Dalrymple *et al.*, 1992; Dalrymple *et al.*, 2006; Basilici *et al.*, 2012).

Esses fatores evidenciam que sistemas deposicionais influenciados por maré podem ocorrer de diversas maneiras, dando abertura a interpretações erradas quanto ao ambiente de

deposição, principalmente em antigas unidades no registro geológico. Para investigar sobre este assunto escolheu-se a Formação Furnas: um pacote arenítico localizado na Bacia do Paraná, que apresenta divergências quanto a interpretação do sistema de deposição (Borghi, 1993; Assine *et al.*, 1994;).

Autores como McPherson *et al.* (1987) e Zalan *et al.* (1987) defendem a ideia que a Formação Furnas constitui a deposição de sistemas fluviais de rios entrelaçados para, porém Assine (1999) apontou uma origem marinha com influência de maré durante a sedimentação dessa unidade geológica, mostrando que fácies de transgressão marinhas dominadas por marés podem ser muito semelhantes às fácies encontradas em ambientes fluviais. Um dos fatores que contribui para hipótese de origem marinha da Formação Furnas é a presença de icnofósseis *Rusophycus* e *Cruziana*, marca de pouso e pistas dispostas na superfície de estrato, atribuídas à atividade de trilobitas (Assine, 1999). Atualmente persistem discussões acerca da natureza da sedimentação da Formação Furnas (Milani *et al.*, 2007), principalmente porque não existem sistemas modernos de sedimentação costeiros, que mostrem a mesma organização de facies e que assim possam servir como modelo base para uma interpretação paleodeposicional desta unidade (Assine, 1999).

Estudos recentes sobre a dinâmica das marés no oceano aberto e sua interação com regiões litorâneas, com foco principalmente nas estruturas geradas, demonstram que os depósitos de maré são formados por *lags* arenosos e bioclásticos transgressivos em superfícies de inundação marinha. Todavia, o entendimento sobre o processo da ação das marés em plataformas precisa ser relacionado com a ação de ondas, tempestades e interação com outros ambientes deposicionais o que origina depósitos complexos (Reynaud e Dalrymple, 2011).

Os sistemas deposicionais influenciados por maré apresentam muitos aspectos semelhantes com aqueles encontrados em depósitos fluviais. Para Swift *et al.* (1986, 1991) arenitos médios a grossos podem pavimentar a plataforma marinha em ambiente marinho transgressivo, portanto a presença de arenitos grossos a conglomeráticos não constituem um critério que permita distinguir fácies fluviais de fácies marinhas (Assine, 1999) e estruturas de estratificação cruzada também podem apresentar uma origem marinha e não somente formada em planícies aluviais (Nemec e Steel, 1984).

Nesse cenário estudos mais detalhados de análise de fácies, geometria dos corpos sedimentares e elementos arquiteturais são necessários. Este projeto busca utilizar esses critérios de avaliação apontados, para que possam ser usados na verificação da atuação de um sistema marinho com influência de maré para a deposição da Formação Furnas. Ao final tentaremos

produzir um modelo deposicional que possa ser útil para a interpretação de outros ambientes de deposição semelhantes, seja porque esses depósitos podem ser ótimos reservatórios de fluidos e seja porque permitem compreender a distribuição de sedimento nas partes mais distais das costas marinhas.

2. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Os afloramentos em que serão realizadas as análises de campo estão distribuídos ao longo e ao redor do Parque Estadual do Guartelá localizado na porção centro - leste estado do Paraná, entre os municípios de Castro e Tibagi (Figura 1), mais especificamente no *Canyon* do Guartelá, uma garganta de 30 km de extensão e desnível de até 450 metros, que foi escavado ao longo do leito do rio Iapó, afluente do rio Tibagi, que deságua no Paranapanema. O local apresenta excelentes exposições da Formação Furnas e outras unidades do Paleozóico na Bacia do Paraná (Melo, 2002).

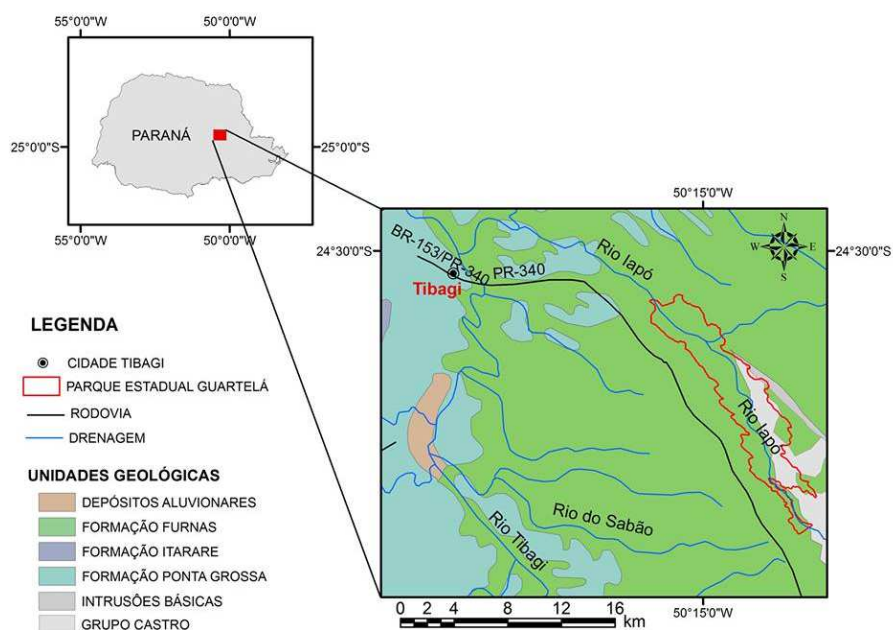


Figura 1. Mapa de localização e geológico da área de estudo (Base de dados CPRM, 2004).

2.1. Sequência Devoniana da Bacia do Paraná

A Sequência devoniana da Bacia do Paraná é constituída pelas formações Furnas e Ponta Grossa que juntas formam o Grupo Paraná. Essa sequência apresenta uma espessura máxima de 900 m e se inicia com uma sucessão arenítico-pelítica continental variando até fácies de

sedimentos litorâneos e marinhos de água rasa, constituindo um grande "ciclo transgressivo-regressivo" (Assine *et al.*,1994; Milani *et al.*, 2007).

Estratigraficamente, o Grupo Paraná se encontra sobreposto à discordância de rochas da Formação Vila Maria (Figura 2) que representa o último estágio do ciclo ordoviciano – siluriano da bacia, todavia, também podem ser encontrados afloramentos da Formação Furnas, unidade inferior, depositados diretamente sobre rochas do embasamento pré - cambriano/paleozóico (Assine *et al.*,1994).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	IDADE	AMBIENTE DEPOSICIONAL	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOESTRATIGRAFIA	ESPESSURA (m)
PALEOZÓICO	DEVONIANO	UPPER	FAMENIANO	GLACIAL	PARANÁ	PONTA GROSSA	DIAMICTITO ORTIGUEIRA	660
			FRASNIANO				Mb. SÃO DOMINGOS	
		MIDDLE	GIVETIANO	PLATAFORMA RASA PLATAF. DISTAL			Mb. TIBAGI	
			EIFELIANO				Mb. JAGUARIAÍVA	
		LOWER	EMSIANO			FURNAS	Fm. FURNAS	337
			PRAGUIANO	FLUV. / COST.				
	SILURIANO							
		PRIDOLI						
		LUDLOW						
		WENLOCK						
	ORDOVICIANO	LIANDOVERY		PLATAFORMA RASA PLATAF. DISTAL	RIO IVAÍ	VILA MARIA	Fm. VILA MARIA	38
		UPPER		GLACIAL		IAPÓ	Fm. IAPÓ	70
			FLUVIAL-COSTEIRO PLATAFORMA RASA	ALTO GARÇAS		Fm. ALTO GARÇAS	253	
	MIDDLE							
		LOWER						
	CAMBRIANO							
PRÉ-CAMBRIANO				EMBASAMENTO				

Figura 2. Carta estratigráfica da sequência devoniana e ordovício-siluriana da Bacia do Paraná (Modificado de Milani *et al.*, 2007).

2.2. Formação Furnas

A Formação Furnas inicia-se com uma seção arenosa, com poucos fósseis restritos a restos vegetais e icnofósseis (Assine *et al.*, 1994). Esta unidade sedimentar é constituída por arenitos quartzosos brancos e feldspáticos médios a grossos, texturalmente imaturos, conglomerados quartizosos e níveis micáceos a argilosos, com estratificação cruzada (Assine *et al.*,1994, 1999, Milani *et al.*, 2007). Zalán *et al.* (1987) interpretou a Formação Furnas como o

um sistema fluvial de tipo entrelaçado a partir da análise de fácies de arenitos grossos e níveis conglomeráticos, porém Assine *et al.* (1994) verificaram que o sistema de deposição era mais complexo e desenvolveram uma hipótese de camada não homogênea influenciada por sistema de deltas e sistema marinho dominadas ondas e marés. Em pesquisas mais recentes Assine (1999) trouxe novos argumentos baseado em estudos de associação de fácies e dados de paleocorrentes interpretando a Formação Furnas como predominantemente uma plataforma marinha.

2.3. Formação Ponta Grossa

Argilitos marinhos da Formação Ponta Grossa se sobrepõem à Formação Furnas. A passagem vertical é indicada por um contato gradual conhecido como “camadas de transição” (Petri, 1948). A Formação Ponta Grossa é constituída, da base para o topo, pelos Membros Jaguariaíva, Tibagi e São Domingos (Lange e Petri, 1967) (Figura 2).

O Membro Jaguariaíva é composto por argilitos, contendo lentes areníticas, logo acima em encontra-se as camadas arenito-siltítico do Membro Tibagi. E a unidade mais ao topo corresponde ao Membro São Domingos, formado por camadas pelíticas que finaliza a sedimentação devoniana na sinéclise da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2007).

2.4. “Diamictito Ortigueira”

Localmente, acima da Formação Ponta Grossa foram identificados alguns diamictitos, que contêm palinofloras pertencentes ao Fameniano. Estas camadas foram denominados informalmente de “diamictito Ortigueira” (Milani *et al.*, 2007).

3. OBJETIVOS

A meta deste projeto é construir um modelo deposicional, arquitetural e evolutivo (sequencial) para sistemas deposicionais em áreas costeiras dominadas por marés usando como objeto de estudo a Formação Furnas. Desta forma pretende-se atingir a meta principal através de objetivos mais específicos que são:

(1) Interpretar a hidráulica dos diferentes processos deposicionais mediante a análise das fácies sedimentares.

(2) Analisar o transporte e distribuição dos sedimentos mediante o estudo de paleocorrentes.

(3) Entender a geometria dos corpos deposicionais mediante a identificação e construção de elementos arquiteturais.

(4) Verificar a existência de sequências verticais e horizontais (trato de fácies) para definir modelos de distribuição tridimensional dos sedimentos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Análise de fácies

A análise de fácies é o método necessário e básico para este projeto de pesquisa. Este consiste em coletar dados de composição, granulometria, seleção, trama (*fabric*) dos sedimentos, grau arredondamento dos grãos de arenitos, estruturas sedimentares, superfícies limitantes, formas e dimensões das camadas, organização sequencial vertical (temporal) e horizontal (espacial) de diferentes ordens na sucessão sedimentar em estudo em modo que possam ser usados na definição do sistema deposicional (Miall, 1984; Walker, 2006). Esses dados serão coletados em afloramentos de boa exposição lateral e na medida de seções estratigráficas verticais.

Seguindo Walker (2006), os principais critérios de subdivisão de fácies dependerão de:

A) os propósitos de estudo, realizados em relação à escala de trabalho, ou seja, o nível de detalhe da análise.

B) Tempo para avaliação, o que permite descrever diferenças entre as fácies ou abordar de forma mais ampla

C) Abundância de fatores descritivos na rocha, por exemplo, quantidade de estruturas apresentadas, aspectos fossilífero e suas complexidades.

4.2. Análise de paleocorrentes

A análise de paleocorrentes consiste na coleta de dados sedimentológicos que possam ser usados como indicadores de sentido de fluxo de correntes que são produzidas por meios aquosos ou aéreos. Os principais indicadores de fluxo de correntes que poderão ser encontrados em campo são estratificações cruzadas, eixos de canais, marcas onduladas, lineações de partição, e seixos imbricados. Porém os dados de paleocorrentes, muitas vezes são imprecisos, e torna-se necessário um grande número de coletas para minimizar os erros. Posteriormente os dados serão inseridos em um simples *software* como StereoNet8 ou OpenStereo, que realiza cálculos estatísticos, obtendo valores de média e variância e as direções preferências são visualizados em diagramas de rosetas (Miall, 1999).

4.3. Confecção de painéis bidimensionais

O local de estudo apresenta bons afloramentos com extensões laterais de algumas dezenas de metros, que permitem a realização de painéis fotográficos úteis à análise de elementos arquiteturais em cada afloramento. A demarcação de superfícies limitantes é feita a partir de fotografias e posteriormente são construídos esquemas bidimensionais (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), onde é possível hierarquizar cada elemento arquitetural, fornecendo respostas da sucessão de camadas e do sistema deposicional (Miall, 1999).

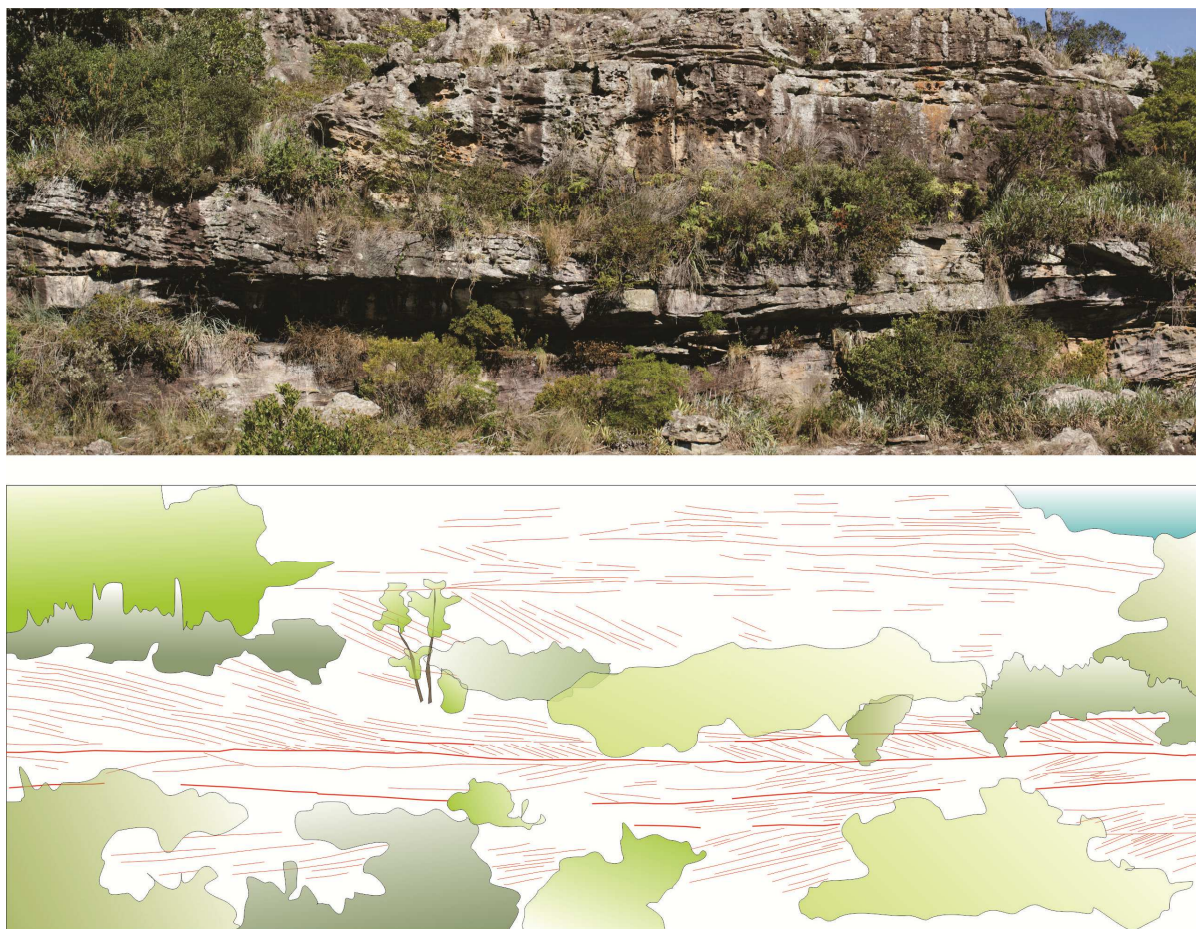


Figura 3. Fotografia (acima) e sua interpretação no painel bidimensional (abaixo), informações importantes para a análise de elementos arquiteturais.

4.4. Construção do modelo deposicional

O modelo deposicional será construído a partir da integração dos dados obtidos na análise de fácies, elementos arquiteturais, sequência de camadas encontrados no campo interligado com

as interpretações dos fluxos deposicionais, que provém da análise de fácies e de paleocorrentes. Contribuindo com as diversas pesquisas já realizada na Formação Furnas e fornecendo respostas dos principais processos de sedimentação em ambientes costeiros influenciados por marés.

5. CUSTOS DO PROJETO

A atuação do projeto necessita de financiamentos para cobrir gastos relativos a duas atividades de campo de sete dias cada. Estes gastos são limitados à translação com meio próprios, alojamento e alimentação. Para cobrir tais gastos a pesquisa terá apoio financeiro da pós-graduação em Geociências do IG/Unicamp. Um pedido de apoio financeiro para Fapesp (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) foi feito no mês de setembro. Gastos de laboratórios, que preveem eventuais cortes de lâminas delgadas e polimento de rochas, fazem parte da cobertura orçamentária do IG/Unicamp.

6. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

ATIVIDADES	NÚMERO DE MESES DE TRABALHO																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Pesquisa bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Análise de campo 1								■																
Análise dos dados									■	■	■	■	■											
Análise de campo2														■										
Interpretação dos dados obtidos													■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Exame de qualificação																■								
Escrever e submeter um artigo para defender																	■	■	■	■	■	■	■	
Entrega do Texto de dissertação e apresentação final																								■

6. REFERÊNCIAS

Assine M. L., Soares P. C., Milani E. J., 1994. Sequências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 24 (2): 77-89.

Assine M. L., 1999. Fácies, icnofósseis, paleocorrentes e sistemas deposicionais da Formação Furnas no flanco sudeste da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 29 (3): 357-370.

Basilici G., De Luca P. H. V., Oliveira E. P., 2012. A depositional model for a wave-dominated open-coast tidal flat, based on analyses of the Cambrian–Ordovician Lagarto and Palmares formations, north-eastern Brazil. *Sedimentology*, 59, 1613 – 1639.

Borghi L., 1993. Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas (Prídoli - Devoniano inferior) em afloramentos do bordo leste da bacia sedimentar do Paraná, Estado do Paraná, Brasil. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 227p

Boyd R., Dalrymple R.W. and Zaitlin, B.A., 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sed. Geol.* 80: 139–150.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2004. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: sistema de informações geográficas-SIG. Escala 1:1.000.000. Brasília: CPRM, CD-ROM. Programa Geologia do Brasil.

Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A. and Boyd, R. (1992) Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *J. Sed. Petrol.*, 62, 1130–1146.

Dalrymple R.W., Yang B.C., Chun S.S., 2006. Sedimentation on a wave-dominated, opencoast tidal flat, south-western Korea: Summer tidal flat-winter shoreface-Reply. *Sedimentology*, 53: 693-696.

Johnson H. D. e Baldwin C. T., 1996. Shallow clastic seas. *In*: Reading H.G. (ed). *Sedimentary environments: Processes, Fácies and Stratigraphy*. Oxford, Blackwell. Science, 232-280.

Lange F.W. e Petri S., 1967. The Devonian of the Paraná Basin. *Boi. Paraná Geociênc.*, 21/22: 5-55.

McPherson, J. G., Shanmugam, G., and Moiola, R. J., 1987, Fan deltas and braid deltas: Varieties of coarse-grained deltas: *GSA Bulletin*, 99: 331-340.

Melo M. S., 2002. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. *In*: Schobbenhaus. C., Campos D. A., Queiroz E.T., Winge M., Berbert-Born M. L. C., (Edits). *Canyon do Guartelá, PR - Profunda garganta fluvial com notáveis exposições de arenitos devonianos*. 1. ed. Brasília.

DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 01: 279-288.

Miall A. D., 1984. Principles of sedimentary basin analysis. 2 ed. New York, Springer – Velag.

Miall A. D., 1999. Principles of sedimentary basin analysis. 3 ed. New York, Springer – Velag.

Milani E. J., Melo J. H. G., Souza P. A., Fernandes L. A., França A. B., 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências. Petrobras, Rio de Janeiro, 15 (2): 265 - 287.

Nemec W. e Steel R. J., 1984. Alluvial and coastal conglomerates: their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits. In: Koster E. H. & Steel R. J. (eds.). Sedimentology of gravels and conglomerates. Canadian Society of Petroleum Geologists (Memoir 10), 1-31.

Petri S., 1948. Contribuição ao Estudo do Devoniano Paranaense. Rio de Janeiro, DNPM/DGM. 125 p. (Boletim 129).

Reynaud J. -Y. e Dalrymple R.W., 2011. Tidal deposits on continental shelves and shallow-water seas. in: Principles of Tidal Sedimentology, R. Davis and R.W. Dalrymple, eds., Springer. Chapter 13. Shallow-marine tidal deposits, . 1-93.

Shinn E. A., 1983. Tidal flat environment. In: Scholle P. A., Bebout G. e Moore C. H. (eds.). Carbonate depositional environments: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. nº. 33.

Swift D. J. P., Thorne J.A., Oertel G.F., 1986. Fluid processes and sea-floor response on a modern storm-dominated shelf: middle Atlantic shelf of North America. Part II: response of the shelf floor. In: Knight R.J. & McLean J.R. (eds.). Shelf sands and sandstones. Canadian Society of Petroleum Geologists (Memoir 11), 191-211.

Swift D. J. P., Phillips S., Thorne J. A., 1991. Sedimentation on continental margins, IV: lithofacies and depositional systems. In: Swift D. J. P., Oertel G.F., Tillman R. W., Thorne J. A. (eds.). Shelf sand and sandstone bodies: geometry, facies and sequence Stratigraphy. Oxford, Blackwell Sci./IAS (Sp. Publ. 14), 89-152.

Walker R. G., 2006. Facies models revisited. In: Posamentier H. W. e Walker R. G. Facies models revisited: Introduction. SEPM. Tulsa, Oklahoma, U. S. A, 1 – 18.

Zalán P.V., Wolff S., Conceição J.C.J., Vieira I.S., Astolfi M.A.M., Appi V.T., Zanotto O. A., 1987. A divisão tripartite do Siluriano da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, 17: 242-252.

