

Interacción entre depósitos aluviales y costeros en la Formación Furnas. Devónico de la cuenca del Paraná, Brasil

Facies relationships of Devonian alluvial and coastal deposits of the Furnas Formation, Paraná Basin, Brazil

S. Bergamaschi ⁽¹⁾, E. Pereira ⁽¹⁾, M.A. Rodrigues ⁽¹⁾, C. Moreno ⁽²⁾, A. Meléndez ⁽³⁾ y F. González ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia, Rua São Francisco Xavier, 524, 2º andar, sala 2020A, CEP 20.550-013, Macaranã, Rio de Janeiro, R.J. – Brasil

sergiobe@uerj.br, egberto@uerj.br, tutuca@uerj.br

⁽²⁾ Universidad de Huelva, Departamento de Geología, Campus Universitario «El Carmen», Avda de las Fuerzas Armadas s/n, 21071 Huelva. España

carmor@uhu.es, fbarrio@aldoc.uhu.es

⁽³⁾ Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Tierra. C/ Pedro Cerbuna 12. 50009 – Zaragoza. España.

amelende@unizar.es

ABSTRACT

The depositional environment of Upper Silurian-Lower Devonian strata along the eastern margin of the Paraná Basin, Brazil, is reconstructed. Sedimentological analyses are based on a detailed study of two basal sections of the Furnas Formation in Paraná State. Sedimentation was initiated as an alluvial braided system, as evidenced mainly by ridge and bar facies. This evolved into a deltaic complex including mouth bar facies. The alluvial facies grades also laterally into a coastal marine deposits along a sinuous shoreline.

Key words: Paraná Basin, Paleozoic, Sedimentology

Geogaceta, 38 (2005), 99-102

ISSN: 0213683X

Introducción

La cuenca del Paraná es la mayor de las cuencas del interior cratónico de América del Sur. Su extensión supera 1.400.000 Km² de los que más de 1.000.000 están en territorio brasileño. Los restantes están distribuidos entre Uruguay, Paraguay y Argentina (Fig. 1A). En la actualidad, la cuenca del Paraná tiene forma elíptica, alargada según la dirección NNE-SSO. Su relleno está constituido básicamente por rocas sedimentarias paleozoicas y mesozoicas de naturaleza detrítica y por extensas coladas basálticas de edad jurásico-cretácica, asociadas a las apertura del Atlántico sur. La pila de materiales acumulados supera los 6.000 metros de espesor en el depocentro cuya posición coincide con la del río que le da nombre.

El análisis del registro estratigráfico precarbonífero del Paraná pone de manifiesto la compartimentación de la cuenca inicial en tres subcuenas menores, denominadas Alto Garças, Apucarana y Paraguay oriental (Grahn *et al.*, 2000), resultantes de la evolución tectono-sedimentaria del cratón brasileño durante el Paleozoico Inferior. El Devónico de la cuenca del Paraná está constituido por la

Formación Furnas y la suprayacente Ponta Grossa (Milani, 1997) que constituyen una supersecuencia con potencias de hasta 900 metros, cuya edad aceptada es neosilúrica a neodevónica.

La Fm Furnas está constituida por un paquete continuo de rocas sedimentarias detríticas, de 250 metros de espesor. En términos litológicos generales predominan las areniscas de tamaño de grano medio y grueso. Conglomerados, y en menor medida lutitas, representan litologías subordinadas. La composición de los granos y cantos de estas rocas es mayoritariamente cuarzosa, mientras que la porción fina está dominada por caolín procedente, probablemente, de la alteración de la fracción arcósica. El resultado es una roca detrítica de un intenso color blanco y aspecto de campo muy característico, que está constituida por granos de cuarzo de tamaño variable y matriz caolinítica. Desde el punto de vista geométrico, las rocas de la Formación Furnas están formadas por la superposición de cuerpos tabulares, es decir, delimitados a techo y a muro por superficies horizontales y paralelas a escala del afloramiento. Los espesores, geometría de los elementos menores que los conforman, así como también el ordenamiento inter-

no de los cuerpos son sumamente variables a escala del detalle.

En cuanto a la edad, hay poco registro bioestratigráfico fiable, a excepción de restos vegetales y palinomorfos registrados en los niveles superiores de la unidad que atribuyen una edad Lochkoviense, tanto para la parte superior de la Fm Furnas como para los niveles basales de la Fm Ponta Grossa (Gerrienne *et al.*, 2001). Sobre la edad del muro no existen datos, aunque algunos autores le atribuyen una edad Silúrico terminal.

Tradicionalmente ha existido una fuerte polarización de opiniones en relación a los sistemas de depósito representados en la Fm Furnas. La polémica estuvo centrada en la definición del carácter marino o continental de la sedimentación. Esta discusión disminuyó de intensidad, a partir de la realización de algunos estudios de detalle donde se reconocieron y caracterizaron depósitos continentales, de transición y marinos en diferentes secciones de la unidad (Bergamaschi, 1992; Pereira, 1992; Borghi, 1993; Assine 1996).

Con vistas a contribuir a una caracterización sedimentológica más precisa del Devónico de la cuenca del Paraná, en este trabajo se detallan los depósitos aluviales y de transición identificados en la parte

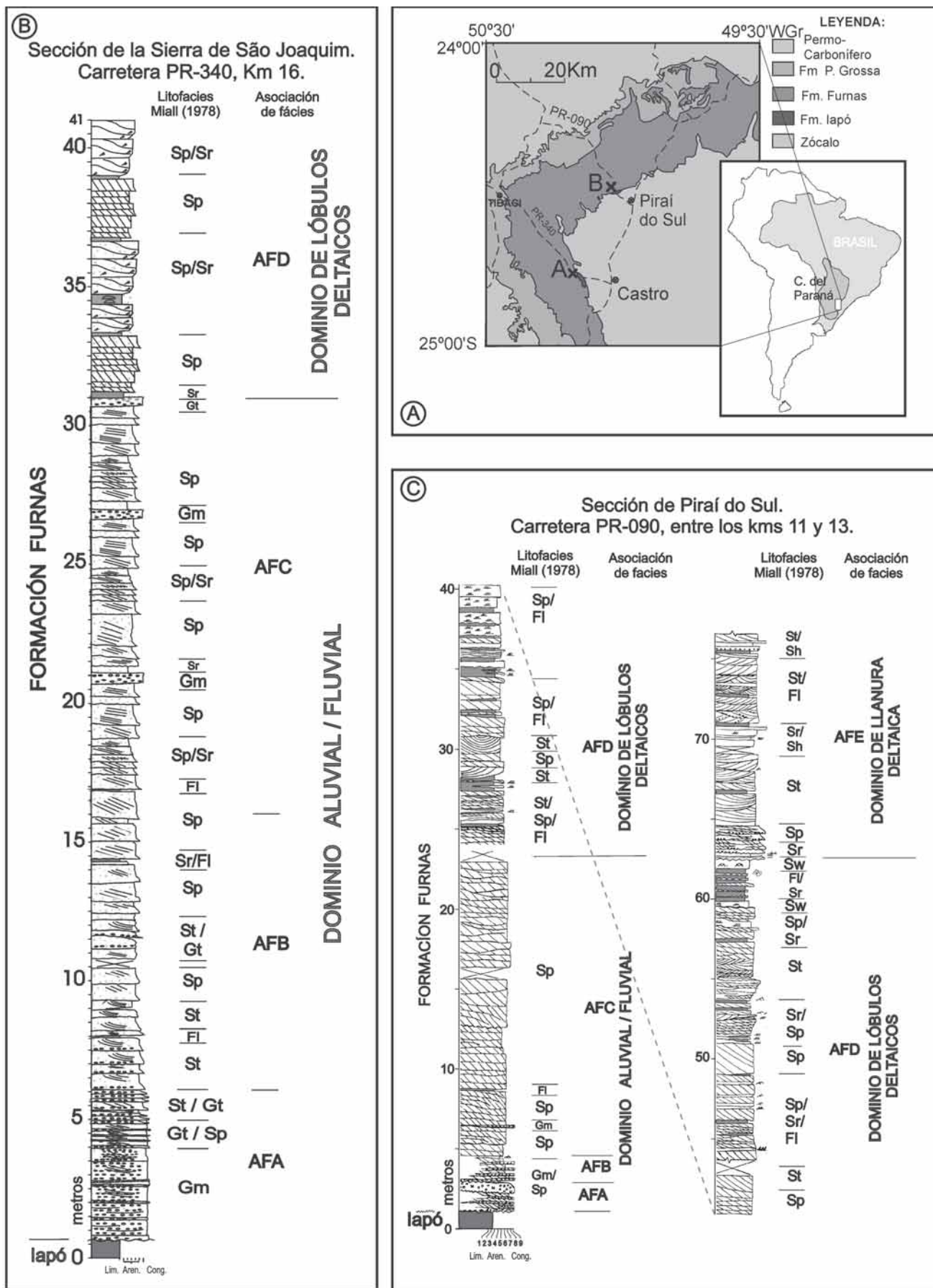


Fig. 1.- Mapa de localización (A) y perfiles sedimentológicos de las secciones estudiadas (B y C).

Fig. 1.- Location map (A) and sedimentological logs of the studied sections (B and C).

inferior de la Fm Furnas de la franja de afloramientos del borde oriental de la cuenca (Sierra de São Joaquim y área de Piraí do Sul, Fig. 1). Los sedimentos aluviales se asocian lateralmente a depósitos litorales que indican un panorama paleogeográfico intrincado para una cuenca que, en este intervalo de tiempo, estuvo marcada por una línea de costa recortada, según las deducciones obtenidas del presente estudio.

Análisis de facies de los depósitos de la sección de la Sierra de São Joaquim

El acceso a los afloramientos de esta sección se sitúa en las proximidades del Km 16 de la carretera PR-340, Castro-Tibagi, Municipio de Castro (Estado de Paraná). En esta sección se pueden observar los depósitos basales de la Fm Furnas discordantes sobre las diamictitas de la Fm Iapó correspondientes a depósitos glaciogénicos (Maack 1947) del Ordovícico Superior ($456,4 \pm 6,4$ m.a. Pereira, 2000). La sección estudiada en este trabajo está referida a los 42 metros basales de la Fm Furnas aflorantes y se encuentra representada en la Fig. 1B. Las litofacies identificadas se han caracterizado de acuerdo con la metodología de Miall (1978).

Litológicamente esta sección está caracterizada por la presencia de un intervalo basal de conglomerados de cerca de 6 m de potencia, sucedido por una asociación de areniscas gruesas y muy gruesas que se intercalan con niveles conglomeráticos de potencia centimétrica. Los conglomerados de la base están constituidos por clastos de cuarzo y cuarcitas bien redondeados, en general esféricos o ligeramente achatados, con diámetro medio entre 2 y 3 cm. La matriz es de arena gruesa y muy gruesa. El espesor máximo de los estratos no supera los 60 cm y su ordenamiento interno puede ser masivo, aunque en general dominan los estratos con tenues estratificaciones cruzadas y geometrías ligeramente canalizadas. También es posible observar granuloclasificación inversa en algunos puntos.

Las areniscas suprayacentes presentan tamaño de grano grueso a muy grueso. Las estructuras más frecuentes en los cuerpos arenosos son estratificación cruzada planar y bases canalizadas. De manera subordinada hay areniscas finas con laminación cruzada tipo *ripple* (*ripple cross lamination*) y delgados niveles de lutitas laminadas. Allí donde la meteorización no es demasiado intensa, los afloramientos muestran un color blanco radiante, producto de la caolinitización de las rocas.

La disposición vertical de las litofacies de la Sierra de São Joaquim permite obtener tres asociaciones de facies indicativas de la dinámica del sistema aluvial/fluvial, a las que denominamos AFA, AFB y AFC (Fig. 1B). La cuarta asociación superpuesta representa la dinámica sedimentaria de un sistema deltaico y se señala como AFD en el mismo perfil.

La asociación AFA, representada en los 6 primeros metros de la Fm Furnas, está constituida predominantemente por litofacies Gm y Gt, y de manera subordinada por Sp. La asociación AFB corresponde al intervalo comprendido entre los metros 6 y 16 de la columna estratigráfica dibujada en la figura 1B. Está constituida por litofacies St, y en menor medida por Gt y Sp. La asociación AFC se reconoce en el intervalo 16-31 m y está constituida por litofacies Sp y St, con intercalaciones menores de Sr y Fl. Las geometrías predominantes en este intervalo revelan una dinámica de surcos y barras. A partir del metro 31 domina la presencia de lóbulos de areniscas de grano medio a grueso de AFD, que muestran geometría externa sigmoidal en sección longitudinal. Internamente, en estos cuerpos sigmoidales, se observa la presencia de estratificación cruzada de pequeña o mediana escala.

Las características de las facies de estos depósitos sugieren un ambiente de sedimentación continental aluvial/fluvial para los depósitos caracterizados por las asociaciones de facies AFA, AFB y AFC. El patrón de apilamiento de las litofacies indica variaciones hidrodinámicas en el régimen sedimentario del sistema.

AFA y AFB con características de un sistema braided de alta energía, parecen corresponder al registro de la parte más distal de un abanico aluvial. Aunque algunos niveles de la base de la unidad fueron generados por el depósito de flujos de granos (Gm y conglomerados con gradación inversa), la mayoría representan asociaciones de mesoformas de tipo barras longitudinales de grava y arena producidas en eventos de alta descarga. Los *cosets* de litofacies St que aparecen intercalados entre los conglomerados pueden representar el depósito de dunas en canales de baja circulación, indicando variaciones en el régimen energético del sistema. Esta asociación de facies se asemeja al elemento arquitectural GB (*gravel bars*) Miall (1985) generado por el apilamiento cíclico de lechos de clastos groseros.

AFC estaría a su vez insertada en el contexto aluvial/fluvial reconocido. La tendencia evolutiva de disminución ener-

gética progresiva del régimen hidrodinámico del sistema viene indicada por la reducción, o incluso la ausencia, de litofacies Gm y Gt y por el predominio de facies St, así como por el ordenamiento en ciclos de granoselección positiva (Gm–Sp–Sr/Fl). En función del gran predominio de litofacies Sp y la presencia subordinada de litofacies St, esta asociación de facies puede representar un dominio de surcos y barras, entre dunas de cresta sinuosa que puede ser comparada al elemento DA (*downstream accreted macroform*) de Miall (1988).

Por otro lado, la asociación AFD se interpreta como registro del sistema deltaico que se implanta sobre los depósitos aluviales en respuesta a una subida relativa del nivel del mar en esa parte de la cuenca. A esta asociación de facies corresponden predominantemente los lóbulos deltaicos sigmoidales de barras arenosas de desembocadura.

Las paleocorrientes medidas en esta sección de la Sierra de São Joaquim indican que la dirección principal del flujo que dio lugar al depósito de las formas del lecho se sitúan entre 220° y 345° de acimut. El abanico de dispersión de las medidas realizadas es el normal en este tipo de depósitos.

Análisis de facies de los depósitos de la sección de Piraí do Sul

Los afloramientos de esta sección se pueden observar entre los Km 11 y 13 de la carretera PR-090 de Piraí do Sul a Ventania, Municipio de Piraí do Sul, Estado de Paraná, donde los depósitos de la Fm Furnas se superponen discordantemente a las diamictitas de la Fm Iapó. La sección estudiada en este trabajo se refiere a los 77 m basales de la Fm Furnas presentes en esta localidad (Fig. 1C).

Aquí, la parte inferior de la unidad muestra facies aluviales/fluviales similares a las descritas para la Sierra de São Joaquim. En los 4 primeros metros predominan conglomerados similares a los descritos anteriormente en la asociación AFA. Estos conglomerados son progresivamente sustituidos por areniscas groseras con pasadas conglomeráticas típicas de la asociación de facies AFB. Estratificación cruzada planar y en artesa caracterizan el ordenamiento interno de estos niveles (facies St, Sp). En el intervalo entre 5 y 23 m dominan cuerpos lenticulares de arenisca gruesa con estratificación cruzada planar de facies Sp, equivalentes a la asociación AFC descrita con anterioridad.

La parte intermedia y superior de la columna de Piraí do Sul, metros 24 - 77,

muestra un apilamiento de facies característico de progradación deltáica. En este intervalo se pueden distinguir dos asociaciones de facies, designadas con las siglas AFD y AFE en el perfil de la figura 1C. Las facies más comunes de la asociación AFD representan el depósito de lóbulos sigmoidales de barras de desembocadura. Están constituidos por areniscas de grano medio con estratificación cruzada de pequeña escala y *climbing ripples* en las partes distales de los lóbulos. En corte longitudinal los lóbulos tienen geometría sigmoidal, mientras que en sección transversal la geometría de los lóbulos es lenticular. Una diferenciación importante en relación a las asociaciones de facies aluviales/fluviales AFA, AFB y AFC descritas se refiere al carácter no erosivo de las bases de las formas de lecho de AFD.

La asociación AFE incluye a las facies Sp y St asociadas a la migración de las formas del lecho de crestas rectas y sinuosa respectivamente. Estos materiales que fueron depositados en la llanura deltaica, son el producto de la progradación de barras de desembocadura (Fig.1C).

En todas las asociaciones de facies reconocidas las paleocorrientes se orientan hacia el cuadrante SSO (la dirección media de transporte es de 220° y la dispersión de moderada a baja).

Discusión y consideraciones finales

Las características sedimentológicas de la parte inferior de la Fm Furnas que aflora en la Sierra de São Joaquim y Pirai do Sul indican un medio de depósito de tipo aluvial/fluviol dominado por la acción de corrientes fluctuantes de tipo *braided*, y pueden ser comparadas con las discutidas en trabajos clásicos de referencia para este tipo de sedimentos (Cant y Walter, 1976; Allen, 1983; Miall, 1985; entre otros). Los principales criterios de diagnóstico utilizados para esta interpretación han sido: 1) la litología y naturaleza de las rocas con ausencia casi total de litofacies lutíticas, 2) la geometría de los cuerpos sedimentarios y su ordenamiento interno, 3) la secuencia vertical de tamaños de grano, espe-

sor de los estratos y facies sedimentarias, 4) el predominio de relaciones erosivas entre estratos, y 5) el modelo de dispersión de las paleocorrientes.

En la misma posición paleogeográfica y en relación de continuidad sedimentaria, el sistema continental de la base de la Fm Furnas viró a condiciones ambientales y de depósito típicamente litorales que se tradujeron en la acumulación de barras de desembocadura de un sistema deltaico progradante hacia el SSO, y probablemente también, en el retoque de los materiales aluviales inferiores.

La distribución espacial de los sistemas de depósito reconocidos en este escenario apuntan a una paleogeografía en donde coexistían lateralmente sistemas aluviales/fluviales y deltaicos/litorales, revelando la existencia de una línea de costa recortada dibujada, posiblemente, en función del aporte sedimentario. Las asociaciones de facies reconocidas para la parte inferior de la Fm Furnas en el borde oriental de la cuenca, podrían representar depósitos asociados a un cortejo sedimentario transgresivo en el contexto de una secuencia de tercer orden, en función de la magnitud de los depósitos preservados.

Agradecimientos

Este trabajo es el resultado de un convenio de colaboración científica entre la Universidade do Estado do Rio de Janeiro, la Universidad de Huelva y la Universidad de Zaragoza. Agradecemos a FAPERJ, Rio de Janeiro por el soporte financiero que permitió la realización de la mayor parte de los trabajos de campo en Brasil y España a los equipos brasileño y español del proyecto. También el proyecto CICYT «D-C Anoxia» (BTE-2003-04780) financió parte del trabajo de campo. E. Pereira agradece al CNPq la concesión de una ayuda para investigación.

Referencias

Allen, J.R.L. (1983). *Sedimentary Geology*, 33, 237-293.
Assine, M.L. (1996). *Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas*

da Bacia do Paraná no Brasil. Tese de Doutorado, Univ. São Paulo IG-USP, 207 p. (inédito).

- Bergamaschi, S. (1992). *Análise sedimentológica da Formação Furnas na faixa de afloramentos do flanco norte do Arco Estrutural de Ponta Grossa, Bacia do Paraná, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Univ. Federal do Rio de Janeiro IG-UFRJ, 172 p. (inédito).
Borghi, L. (1993). *Caracterização e análise faciológicas da Formação Furnas em afloramentos do bordo Leste da Bacia do Paraná*. Dissertação de Mestrado, Univ. Federal do Rio de Janeiro IG-UFRJ, 227 p. (inédito).
Cant, D.J. y Walker, R.G. (1976). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13, 102-119.
Gerriene, P., Bergamaschi, S., Pereira, E., Rodrigues, M.A.C. y Steemans, P. (2001). *Review of Paleobotany and Palynology*, 116, 19-38.
Grah, Y., Pereira, E. y Bergamaschi, S. (2000). *Palynology*, 24, 143-172.
Maack, R. (1947). *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 12, 63-154.
Miall, A.D. (1978). *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoirs*, 5, 597-604.
Miall, A.D. (1985). *Earth-Science Reviews*, 22, 261-308.
Miall, A.D. (1988). *Sedimentary Geology*, 55, 233-262.
Milani, E.J. (1997). *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. Tese de Doutorado, Univ. do Porto Alegre IG-UFRGS, 2 vol., 255 e 142 p. (inédito).
Pereira, E. (1992). *Análise estratigráfica do Paleozóico médio da Sub-Bacia de Alto Garças, no sudoeste de Goiás, Bacia do Paraná, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Univ. Federal do Rio de Janeiro IG-UFRJ, 172 p. (inédito).
Pereira, E., (2000). *Evolução Tectono-Sedimentaria do intervalo Ordoviciano-Devoniano da Bacia do Paraná, com ênfase na Sub-Bacia de Alto Garças e no Paraguai Oriental*. Tese de Doutorado, Univ. do São Paulo, IG-USP, 276 p. (inédito).