

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**BIVALVES PERMIANOS DO GRUPO PASSA DOIS, BACIA
DO PARANÁ, BRASIL E DO GRUPO ECCA, BACIA DO
KAROO, ÁFRICA DO SUL: IMPLICAÇÕES
BIOESTRATIGRÁFICAS E PALEOAMBIENTAIS**

Juliana Machado David

Orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

TESE DE DOUTORADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO

2014

NÃO CIRCULA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**"BIVALVES PERMIANOS DO GRUPO PASSA DOIS, BACIA DO
PARANÁ, BRASIL E DO GRUPO ECCA, BACIA DO KAROO,
ÁFRICA DO SUL: IMPLICAÇÕES BIOESTRATIGRÁFICAS E
PALEOAMBIENTAIS"**

JULIANA MACHADO DAVID

Orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

TESE DE DOUTORADO

COMISSÃO JULGADORA



Nome

Assinatura

Presidente: Dr. Marcello Guimarães Simões

Titulares: Dr. Setembrino Petri

Dra. Carla Klein

Dr. Renato Pirani Ghilardi

Dra. Rosemarie Rohn Davies

DEDALUS - Acervo - IGC



30900032271

SÃO PAULO
2014
versão original

NAO CIRCULA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**BIVALVES PERMIANOS DO GRUPO PASSA DOIS, BACIA
DO PARANÁ, BRASIL E DO GRUPO ECCA, BACIA DO
KAROO, ÁFRICA DO SUL: IMPLICAÇÕES
BIOESTRATIGRÁFICAS E PALEOAMBIENTAIS**

Juliana Machado David



Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

TESE DE DOUTORADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO

2014

T
D249
JM. bi

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

BIVALVES PERMIANOS DO GRUPO PASSA DOIS, BACIA DO PARANÁ, BRASIL E DO GRUPO ECCA, BACIA DO KAROO, ÁFRICA DO SUL: IMPLICAÇÕES BIOESTRATIGRÁFICAS E PALEOAMBIENTAIS



Juliana Machado David

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Geotecnologias do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

David, Juliana Machado
Bivalves permianos do Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Brasil e do Grupo Ecca, Bacia do Karoo, África do Sul: implicações bioestratigráficas e paleoambientais / Juliana Machado David. - São Paulo, 2014.
165 p. +anexos.

Tese (Doutorado) : IGc/USP
Orient.: Simões, Marcello Guimarães

1. Paleontologia de invertebrados 2. Permiano
3. Bivalvia I. Título

SÃO PAULO

2014

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	11
3. JUSTIFICATIVA	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
5. METODOLOGIA	14
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
7. CONCLUSÃO	16
8. REFERÊNCIAS	17
9. ANEXOS	18
10. GLOSSÁRIO	19
11. APÊNDICES	20
12. BIBLIOGRAFIA	21
13. FOTOCOPIAS	22
14. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	23
15. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	24
16. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	25
17. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	26
18. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	27
19. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	28
20. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	29
21. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	30
22. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	31
23. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	32
24. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	33
25. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	34
26. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	35
27. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	36
28. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	37
29. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	38
30. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	39
31. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	40
32. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	41
33. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	42
34. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	43
35. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	44
36. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	45
37. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	46
38. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	47
39. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	48
40. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	49
41. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	50
42. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	51
43. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	52
44. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	53
45. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	54
46. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	55
47. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	56
48. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	57
49. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	58
50. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	59
51. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	60
52. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	61
53. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	62
54. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	63
55. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	64
56. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	65
57. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	66
58. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	67
59. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	68
60. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	69
61. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	70
62. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	71
63. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	72
64. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	73
65. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	74
66. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	75
67. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	76
68. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	77
69. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	78
70. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	79
71. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	80
72. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	81
73. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	82
74. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	83
75. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	84
76. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	85
77. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	86
78. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	87
79. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	88
80. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	89
81. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	90
82. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	91
83. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	92
84. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	93
85. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	94
86. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	95
87. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	96
88. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	97
89. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	98
90. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	99
91. FOTOCOPIAS DE EXEMPLOS	100

Para todos aqueles que um dia tiveram como alvo de suas pesquisas os bivalves do Grupo Passa Dois. Sem este conhecimento prévio, grande parte do entendimento sobre esta fauna proposto neste documento não seria possível.

Índice

	P.
I. AGRADECIMENTOS	I
II. RESUMO	III
III. ABSTRACT	V
PARTE 1	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS	
1. INTRODUÇÃO	2
1.1. DELIMITANDO O PROBLEMA	3
1.2. ESCOPO DA PESQUISA PROPOSTA: BIOESTRATIGRAFIA	5
1.3. OBJETIVOS	8
1.3.1. OBJETIVO GERAL	8
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
PARTE 2	17
MATERIAL & MÉTODOS	
2. GEOLOGIA DA UNIDADE EM ESTUDO: BREVE REVISÃO	18
2.1. GEOLOGIA E LOCALIZAÇÃO DOS SÍTIOS FOSSILÍFEROS ESTUDADOS	23
2.2. METODOLOGIA DE LABORATÓRIO	23
2.2.1. MOLDAGEM DOS ESPÉCIMES	24
2.2.2. FOTODOCUMENTAÇÃO	25
2.3. METODOLOGIA DE GABINETE	25
2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
PARTE 3	32
RESULTADOS	
3. RESULTADOS OBTIDOS	33
3.1. BIVALVES PERMIANOS DA FORMAÇÃO WATERFORD, BACIA DO KAROO, ÁFRICA DO SUL	34
3.2. BIVALVES PERMIANOS DA PORÇÃO BASAL DA FORMAÇÃO RIO DO RASTO, MEMBRO SERRINHA, BACIA DO PARANÁ.	36
3.3. BIVALVES PERMIANOS DO GRUPO PASSA DOIS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.	37
PARTE 4	39
DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	
4. DISCUSSÃO INTEGRADA	40
4.1. BIOESTRATIGRAFIA	40

4.2. PALEOBIOGEOGRAFIA	45
4.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
PARTE 5	51
CONCLUSÕES	
5. CONCLUSÕES	52
5.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
PARTE 6	55
DESAFIOS PARA O FUTURO	
6. O QUE AINDA PRECISA SER FEITO?	56
6.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

ANEXOS

	p.
Anexo 1	58
Artigo 1: SIMÕES, M.G.; DAVID, J.M. & ANELLI, L.E. <i>Em preparação.</i> Locked in a huge epeiric sea: the endemic South American Permian Bivalves from the Ecca Group of South Africa revisited.	
Anexo 2	92
Artigo 2: DAVID, J.M., ANELLI, L.E.; ROHN, R. & SIMÕES, M.G. <i>Em preparação.</i> Permian bivalves of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin: biostratigraphical and paleoenvironmental implications.	
Anexo 3	131
Artigo 3: DAVID, J.M., ANELLI, L.E.; KLEIN, C. & SIMÕES, M.G. <i>Em preparação.</i> The Permian Tiaraju bivalve fauna revisited: biostratigraphic and paleobiogeographic significance.	

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição das assembléias de bivalves do Grupo Passa Dois (baseado em Rohn 1994, 2007). p. 5
- Figura 2.** Braquiópodes rhynchonelliformes encontrados em calcários micríticos próximos ao topo da Formação Teresina (Simões, M.G. e Anelli, L.E., comunicação pessoal 2014), na sucessão estratigráfica da Rodovia Castello Branco, SP-280 (km 165), no Estado de São Paulo. 21

ÍNDICE DE FIGURAS DOS ANEXOS

ARTIGO 1

- Figure 1.** Biostratigraphic correlations between the Early Permian sedimentary deposits of South Africa, Namibia and Brazil (modified from Wanke, 2000). p. 82
- Figure 2.** Schematic map of Huab and Main Karoo basins (modified from Catuneanu *et al.*, 2005). 83
- Figure 3. A-B,** *Naiadopsis lamellosus*, Paraná Basin, Brazil, showing the characteristic umbonal carina in internal moulds. **C,** *Naiadopsis lamellosus*, Ecca Group, Waterford Formation, South Africa, figured by Cooper and Kensley, 1984. 84
- Figure 4.** Schematic chart of the Passa Dois Group, Permian, showing the bivalve Assemblage Biozones of the eastern margin of the Paraná Basin (based on Rohn, 1994, 2007). 85
- Figure 5. A-G, J-N,** Gen. et sp. indet. **A,** Ecca Group, Waterford Formation, Karoo Basin, Permian. **A,** Internal mold of right valve, K38b; **B,** Internal mold of right valve, PPK-5972; **C,** Internal mold of articulated valves, right valve view, PPK-5969; **D,** Internal mold of articulated valves, right valve view, PPK-5960a; **E,** External mold of left valve, plasticine cast, K38a; **F,** Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK-5978; **G,** Drawing representation of umbonal muscular scars, based in the same specimen; **H-I,** *Naiadopsis lamellosus*, Passa Dois Group, Corumbataí Formation, Paraná Basin, Permian. **H,** Internal mold with shell remains of right valve, DZP-1972; **I,** Incomplete internal mold of right valve, evidencing the muscular scars over the umbonal region, DZP-1770; **J,** Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK-5964; **K,** Drawing representation showing the anterior adductor scar, based on the same specimen; **L,** Internal mold of right valve, K78a; **M,** External mold of right valve, plasticine cast, 992a; **N,** External mold of left valve, plasticine cast, 992b. All scale bars=1cm. 86
- Figure 6. A-L,** Gen. et sp. indet. **B,** Ecca Group, Waterford Formation, Karoo Basin, Permian. **A,** External mold of left valve, PPK-5957b; **B,** Plasticine cast of the same specimen; **C,** Drawing representation based on the same specimen; **D,** Plasticine cast of external mold of left valve, PPK-5957a; **E,** Plasticine cast, internal view of articulated hinge region, showing the absence of teeth, PPK-5974; **F,** Internal mold of articulated valves, left valve view, same specimen; **G,** Internal mold of articulated valves, left valve view evidencing the muscle scars, same specimen; **H,** Drawing representation of the muscle scars, same specimen; **I,** Internal mold of articulated valves, view of articulated hinge region, PPK-5976; **J,** 87

Internal mold of the posterior region of left valve, PPK-5910; **K**, Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK-5968; **L**, Internal mold of articulated valves, right valve view, PPK-5976; **M-N**, *Anhemia gigantea*, Passa Dois Group, Serra Alta Formation, Paraná Basin, Permian. **M**, Internal mold of left valve, DGP-7-91; **N**, Drawing representation of the muscle scars, same specimen; **O-P**, *Anhemia froesi*, Passa Dois Group, Serra Alta and Corumbataí Formation, Paraná Basin, Permian. **O**, Internal mold of left valve, DGP-7-90; **P**, Internal mold of left valve, IG/SMA-611-I. **aa**= anterior adductor; **as**= accessory scars; **lp**= pallial line. All scale bars=1 cm.

Figure 7. A-K, Gen. et sp. indet. C, Eccca Group, Waterford 88
Formation, Karoo Basin, Permian. **A**, Internal mold of left valve, 994a; **B**, Internal mold of right valve, PPK-5972b; **C**, Internal mold of right valve, PPK-5973b; **D**, Internal mold of left valve, PPK-5972c; **E**, External mold of right valve, plasticine cast, 992c; **F**, Internal mold of right valve, 994b; **G**, Internal mold of left valve, PPK-5973a; **H**, Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK-5959; **I**, Internal mold of articulated valves, view of articulated hinge region with ligament area preserved (arrow), same specimen; **J**, External mold of right valve, plasticine cast, K78d; **K**, Internal mold of right valve, PPK-5963; **L**, *Tambaquyra camargoi*, Passa Dois Group, Serra Alta Formation, Paraná Basin, Brazil. Internal mold of right valve, DZP-2250. All scale bars=1 cm.

ÍNDICE DE FIGURAS DOS ANEXOS

ARTIGO 2

- Figure 1.** Schematic chart of the Passa Dois Group, Permian, showing the bivalve Assemblage Biozones of the eastern margin of the Paraná Basin (based on Rohn, 1994, 2007). p- 120
- Figure 2.** Location of the Passa Dois Group outcrop area in the eastern Paraná Basin, southern Brazil, and the occurrence of the bivalve assemblage between the towns of Cândido de Abreu and Reserva, Paraná State (modified from Rohn, 1994 and Ferreira-Oliveira and Rohn, 2010). 121
- Figure 3.** Section of the outcrop at kilometer 44.6 (PR-239 road) between the towns of Cândido de Abreu and Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation Paraná Basin (based on Rohn 1988, 1994). 122
- Figure 4.** *Terraia curvata* (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. **A**, Internal mold of left valve, URCMB-300(2); **B**, Latex cast of internal mold, left valve, same specimen; **C**, Drawing representation of the hinge features, based in the same specimen. Arrow indicates the triangular socket of the left valve; **D**, Internal mold of right valve, URCMB-300(69); **E**, Latex cast of internal mold, right valve, same specimen; **F**, Drawing representation of the hinge features, based in the same specimen. Arrow indicates the large and well defined triangular tooth; **G**, Internal mold of left valve, URCMB-300(4); **H**, internal mold of left valve, URCMB-300(44); **I**, Internal mold of left valve, URCMB-300(82). All the scale bars=0.5cm. 123
- Figure 5. A-C, *Asterlopsis prosoclina*** (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. **A**, Internal mold of right valve, URCMB-300(33); **B**, Drawing representation of the muscle scars, based in the same specimen; **C**, Latex cast of internal mold, right valve, same specimen; **D, *Terraia biplevra*** (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of external mold, left valve, URC-MB-300 (11). **E, *Comperesia emerita*** (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of external mold, right valve, URCMB-300(31); **F, *Leinzia curta*** Beurlen, 1954, Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of internal mold, left valve, URCMB-300(14); **G, *Beurlenella elongatella*** Anelli *et al.*, 2010, Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto 124

Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of internal mold, articulated valves, URC-MB-300 (58). Arrows indicate the blunt tooth in the right valve. **H-I**, *Beurlenella elongatella*, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil, figured by Anelli *et al.*, 2010. **H**, Plasticine cast of internal mold, articulated shells, GP/1E 4825; **I**, Plasticine cast of internal mold, articulated shells, GP/1E 4815. Arrows indicate the blunt tooth in the right valve. All scale bars= 0.5 cm.

ÍNDICE DE FIGURAS DOS ANEXOS

ARTIGO 3

- Figure 1.** Location maps showing the Passa Dois Group sediments in the Rio Grande do Sul State, and the Tiaraju region, São Gabriel Municipality (modified from Klein, 1997). p.
158
- Figure 2.** Geological map of Tiaraju area, highlighting the location of fossiliferous site (modified from Klein, 1997). 159
- Figure 3.** Composite stratigraphic section of the Passa Dois Group, measured in the Tiaraju area, showing the stratigraphic position of the bivalve assemblage studied (modified from Klein, 1997). 160
- Figure 4. A-O,** *Terraia falconeri* (Cox, 1934), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **A,** External view of left valve, MPU 4405; **B,** External view of left valve, MPU 4512; **C,** External view of right valve, MPU 4433; **D,** External view of left valve, MPU 4467; **E,** External view of left valve, MPU 4507; **F,** Internal mold of right valve, MPU 4317; **G,** Internal mold of right valve, MPU 4436; **H,** External view of right valve, MPU 4382; **I,** Internal mold of left valve, MPU 4518; **J,** External view of left valve, MPU 4522; **K,** Internal mold of left valve, MPU 4403; **L,** Plaster cast of articulated valves, the arrow indicates the lunule, DZP-4337; **M,** Plaster cast showing the hinge features of left valve, DZP-4362b; **N,** Plaster cast showing the hinge features of left valve, DZP-4362d; **O,** Internal view of left valve showing the hinge features, MPU 4319. All scale bars=1mm. 161
- Figure 5. A-B,** *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **A,** Plaster cast of right valve, the arrow indicates the triangular cardinal tooth, DZP-4330; **B,** Plaster cast of left valve, DZP-4327. **C,** *Terraia* sp. cf. *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918), Gai-As Formation, Huab area, Permian, Namibia. External view of silicified left valve, DZP-18711. **D-E,** *Holdhausiella elongata* (Holdhaus, 1918), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **D,** Latex cast of right valve, DZP-4335a; **E,** Plaster cast of right valve, DZP-4335b. **F,** *Holdhausiella elongata*, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil, figured by Runnegar & Newell (1971). External view of silicified left valve, DGP 7-966. **G-H,** *Couperesia emerita* (Reed, 1929), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **G,** External view of right valve, MPU 4405; **H,** Plaster cast of right valve, DZP-4323. **I,** *Couperesia emerita* (Reed, 1929), Gai-As Formation, Huab area, Permian, Namibia. Incomplete internal mold of left valve with silicified shell remains, DZP-18700. All scale bars=1mm. 162

Figure 6. Schematic chart of the Passa Dois Group, Permian, showing the bivalve biozones on the eastern margin of the Paraná Basin (based on Rohn, 1994, 2007). **163**

ÍNDICE DE TABELAS DOS ANEXOS**ARTIGO 1**

Table 1. Measurements of Gen. et sp. indet. A.	p. 89
Table 2. Measurements of Gen. et sp. indet. B.	90
Table 3. Measurements of Gen. et sp. indet. C.	91

ÍNDICE DE TABELAS DOS ANEXOS

ARTIGO 2

Table 1. Measurements of <i>Terraia curvata</i>	p. 125
Table 2. Measurements of <i>Terraia bipleura</i> .	127
Table 3. Measurements of <i>Asterlopsis prosoclina</i> .	128
Table 4. Measurements of <i>Beurlenella elongatella</i> .	129
Table 5. Measurements of <i>Conperesia emerita</i> .	129
Table 6. Measurements of <i>Leinzia curta</i> .	130

ÍNDICE DE TABELAS DOS ANEXOS

ARTIGO 3

Table 1. Measurements of <i>Terraia falconeri</i> .	P. 164
Table 2. Measurements of <i>Terraia altissima</i> .	164
Table 3. Measurements of <i>Holdhausiella elongata</i> .	165
Table 4. Measurements of <i>Conperesia emerita</i> .	165

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos a diversas pessoas e instituições que contribuíram para a realização desta tese de doutorado, dentre eles:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões (IBB-UNESP), meu sincero agradecimento por toda ajuda, participação e fundamental orientação durante a execução desta tese, bem como pela oportunidade e aprendizagem acadêmica.

Ao Prof. Dr. Luis Eduardo Anelli (IG-USP), pela efetiva colaboração na preparação dos fósseis e nas descrições e discussões sistemáticas. E também, pela amizade.

À Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies (IGCE-UNESP), pelo empréstimo do material de bivalves referentes ao Membro Serrinha, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, bem como por sempre ter se colocado à disposição para discussões e comentários sobre a problemática abordada na preparação desta tese.

À Dra. Carla Klein (CPRM-RS), por toda ajuda prestada na visita efetuada à coleção de paleontologia da UNISINOS, assim como por toda a discussão envolvendo os bivalves referentes à fauna de Tiaraju.

À Profa. Dra. Tânia Dutra (UNISINOS) e à UNISINOS, por viabilizarem a visita à coleção de paleontologia da UNISINOS e colocarem à disposição do nosso estudo os espécimes de Tiaraju depositados na mesma. Além disso, agradeço à pesquisadora pelas discussões acerca da geologia do Grupo Passa Dois no Estado do Rio Grande do Sul, efetuadas durante a visita referida.

Ao curador da coleção científica de paleontologia do Museu de História Natural da Cidade do Cabo, Shallin Abraham, por viabilizar nossa visita para o estudo dos bivalves da Formação Waterford, assim como pela assistência prestada durante a mesma.

À Profa. Dra. Juliana de Moraes Leme Basso, pela amizade imprescindível, pelo exemplo pessoal e profissional, e por todo apoio durante estes anos de doutorado.

Ao Prof. Dr. Thomas Rich Fairchild, por todo aprendizado acadêmico e pela convivência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geotectônica e Geoquímica (Área: Geotectônica), IGc-USP pela oportunidade e pelo facultamento das instalações oferecidas.

Ao Departamento de Zoologia do IBB/UNESP, especialmente ao Laboratório de Paleozoologia Evolutiva, pelo uso de suas instalações e coleções.

À FAPESP pelo auxílio financeiro concedido sobre forma de bolsa de doutorado (Processo n. 2011/01975-5).

À amiga Suzana Matos, por todo convívio, respeito, amizade e companheirismo essenciais.

Às amigas Bruna Pozzi e Luana Morais, pelo apoio sempre constante e pela amizade tão importante.

Aos meus pais, por sempre acreditarem em mim. E por fim, mas nem um pouco menos importante, ao meu marido Thiago, por ser o meu porto seguro. Obrigada por edificar comigo a nossa casa sobre rocha.

Resumo

Durante o Paleozoico Tardio, grandes áreas do Gondwana Ocidental (Bacia do Paraná, América do Sul, bacias do Karoo e Huab, respectivamente África do Sul e Namíbia) foram recobertas por um vasto mar epicontinental isolado ou com conexão restrita com o Panthalassa. As faunas bentônicas marinhas que prosperaram neste mar eram dominadas por bivalves de infauna, os quais evoluíram associados a condições de isolamento geográfico extremo. As rochas permianas do Grupo Passa Dois, Brasil, juntamente com suas sucessões sedimentares correlatas no Uruguai, Paraguai e Argentina, apresentam o melhor registro fóssil desses bivalves. Embora esta fauna tenha recebido atenção científica renovada na última década, vários aspectos de sua história evolutiva são ainda pouco compreendidos, pois o conhecimento taxonômico da fauna é incompleto e enviesado. De fato, os estudos relacionados à sistemática dos bivalves permianos do Grupo Passa Dois estão concentrados nas malacofaunas preservadas nas formações Teresina e Corumbataí. Adicionalmente, o primeiro registro de bivalves típicos do Permiano da Bacia do Paraná em rochas aflorantes fora da América do Sul, realizado por M.R. Cooper & B. Kenlsey no começo da década de 1980, era ainda questionável. Neste contexto, a presente pesquisa investigou três faunas distintas de bivalves permianos, com a finalidade de adicionar novas e relevantes informações taxonômicas para o entendimento da história evolutiva da malacofauna do Grupo Passa Dois: (a) a fauna de bivalves da Formação Waterford, Bacia do Karoo, África do Sul; (b) a fauna de bivalves do km 44.6, rodovia PR-239, porção basal do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto, Bacia do Paraná, Brasil; (c) a fauna de bivalves da região de Tiaraju, Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil. De acordo com os resultados obtidos, as espécies identificadas na fauna de bivalves da Formação Waterford não podem ser fielmente atribuídas a nenhum táxon permiano da Bacia do Paraná (Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai). A assembleia sul-africana é pouco diversificada e aparenta constituir uma variante regional daquela encontrada na Bacia do

Paraná, possuindo igualmente seus elementos próprios e endêmicos (ao menos três gêneros diferentes). Dessa maneira, a biocorrelação entre a assembleia da Formação Waterford, com aquelas encontradas nas biozonas de bivalves do Grupo Passa Dois, não pode ser seguramente confirmada. A assembleia de bivalves da porção basal do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto, inclui a presença das espécies *Terraia curvata*, *Terraia bipleurra*, *Asterlopsis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* e *Cowperesia emerita*. Este intervalo estratigráfico corresponde à nova biozona de *Terraia curvata*, situada entre as biozonas de *Pinzonella neotropica* e *Leinzia similis*. Adicionalmente, esta assembleia de bivalves provavelmente representa o registro de uma mudança faunística na história geológica dos bivalves do Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, com o predomínio dos carditídeos sobre os pachidomídeos (=megadesmídeos). A revisão sistemática da fauna de bivalves de Tiaraju revelou a presença de *Terraia falconeri*, *Terraia altissima*, *Holdhausiella elongata* e *Cowperesia emerita*. O posicionamento desta assembleia de bivalves no quadro bioestratigráfico referentes à biozonas de bivalves do Grupo Passa Dois ainda é questionável, uma vez que os resultados apresentados neste documento reúnem espécies de bivalves que comumente não são encontrados em uma mesma assembleia. Adicionalmente, a ocorrência da fauna de Tiaraju sugere evidências de que durante certos tempos na história geológica da Bacia do Paraná, as espécies de bivalves não se encontravam geograficamente restritas a certas áreas dentro dela. Por fim, tanto esta fauna, quanto a assembleia de bivalves da porção basal do Membro Serrinha, indicam uma biocorrelação com a Formação Gai-As do Permiano da Namíbia, sugerindo para estes depósitos sedimentares da Bacia do Paraná uma idade cujo limite seria o Meso Permiano (Wordiano-Capitaniano).

Palavras chaves. Bacia do Paraná, Permiano, Grupo Passa Dois, Formação Rio do Rasto, Membro Serrinha, Bacia do Karoo, Formação Waterford, Mar Epicontinental, Bivalvia, Pachydomidae, Carditida.

Abstract

During the Late Paleozoic, large areas of the western Gondwana (Paraná Basin, South America, Karoo and Huab basins, South Africa and Namibia) were covered by a huge epeiric sea. In the Early-Middle Permian, this large inland sea was either isolated or had a restricted connection to the Panthalassa ocean. Benthic marine faunas that thrived in this sea were mainly dominated by shallow burrowing bivalves, and evolved under conditions of extreme geographic isolation. Rocks of the Permian Passa Dois Group, Brazil, and coeval successions in Uruguay, Paraguay, and Argentina encompass the best records of this endemic fauna. Although this fauna has received renewed attention in the last decade, the true evolutionary history of these unique invertebrates is still obscure because of the incomplete and biased information on its taxonomy and systematic. Indeed, most of the studies dealing with the systematics of the Permian Passa Dois Group bivalves have focused on the faunas preserved in rocks of the Teresina and Corumbataí formations. Also, the first record of the Permian Paranean bivalves outside the South America, made by M.R. Cooper and B. Kensley in the early 80's, was still questionable. In this context, the present research investigated three distinct bivalve faunas in order to add new and relevant data to our understandings of the evolution of the Permian Passa Dois Group bivalve fauna: (a) the Permian bivalve fauna of the Waterford Formation, Karoo Basin, South Africa; (b) the Permian bivalve fauna of the km 44.6, PR-239 road, basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil; (c) the Permian bivalve fauna of the Tiaraju region, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. According to our results, the Karoo bivalve fauna cannot be confidently assigned to any known South American genera or species. The poorly diversified South African assemblage seems to be a regional variant of that of the Paraná Basin, also represented by their own endemic taxa (at least three distinct genera). Hence, the biocorrelation of the South African assemblage with those of the Permian bivalve biozones of the Passa Dois Group, Brazil, cannot be securely constrained.

The bivalve assemblage of the basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, includes the presence of the species *Terraia curvata*, *Terraia bipleura*, *Asterlophis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* and *Comperesia emerita*. This stratigraphic range records the new *Terraia curvata* Biozone, lying between the *Pinzonella neotropica* and *Leinzia similis* biozones. Additionally, this bivalve fauna could probably record a faunal turnover in the bivalve geological history of the Passa Dois Group, Paraná Basin. The systematic revision of Tiaraju fauna revealed the presence of *Terraia falconeri*, *Terraia altissima*, *Holdhausiella elongata* and *Comperesia emerita*. The position of this bivalve assemblage in the biostratigraphic scheme of the Passa Dois Group bivalve biozones is still in dispute, since our results indicate the presence of bivalve species that are not commonly found in the same biozone. Additionally, the Tiaraju fauna add evidences that during certain times of the geological history of the Paraná Basin, the bivalve species were not regionally confined to areas of that huge epeiric sea. Indeed, both the Tiaraju fauna and the assemblage of the basal portion of Serrinha Member indicate a biocorrelation with deposits of the Permian Gai-As Formation, in the Huab area, Namibia, providing an age no younger than the mid-Permian (Wordian-Captianian) to these sedimentary deposits of the Paraná Basin.

Keywords. Paraná Basin, Rio do Rasto Formation, Serrinha Member, Karoo Basin, Waterford Formation, Epeiric sea, Bivalvia, Pachydomidae, Carditida.

PARTE 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

Os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois são um dos elementos mais característicos do registro paleontológico do Permiano da Bacia do Paraná, e, desde o estudo pioneiro de Holdhaus (1918), constituíram objeto de pesquisa de diferentes autores. Segundo Simões & Fittipaldi (1992), tais pesquisas podem ser caracterizadas por fases distintas, com uma concentração notável de trabalhos durante as décadas de 1940 a 1960 (*e.g.*, Beurlen, 1953, 1954a, 1954b; Fúlfaro, 1964; Leanza, 1948; Mendes 1944, 1945, 1949, 1952, 1953, 1954, 1961, 1962, 1963; Mendes & Petri, 1950; Mezzalira, 1957).

Posteriormente, no início da década de 1990, as pesquisas sobre esses moluscos tósseis foram retomadas, com avanços importantes relativos à sistemática (Simões & Anelli, 1995; Simões & Mello, 1996; Simões *et al.*, 1997, 2000a), paleoecologia (Simões *et al.*, 1998; Kowalewski *et al.*, 2000; Ghilardi & Simões, 2002), evolução (Simões *et al.*, 1998), tafonomia (Simões *et al.*, 1996, Simões & Kowalewski, 1998, Simões *et al.*, 2000b, Simões & Torello, 2003) e bioestratigrafia (Rohn, 1994; Maranhão & Petri, 1996).

Recentemente, um novo interesse sobre essas malacofaunas foi demonstrado a partir da descoberta de novas ocorrências para o intervalo da biozona de *Pinzonella illusa*, Formação Corumbataí, Permiano médio, Estado do Mato Grosso (Simões *et al.*, 2010), e a recente descrição de um novo táxon (*Beurlenella elongatella*) atribuído à malacoufauna do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto (Anelli *et al.*, 2010). Contudo, a descoberta mais relevante no contexto bioestratigráfico e evolutivo destes moluscos permianos, refere-se à descrição dos bivalves da área de Huab, Namíbia, na sucessão basal e superior da Formação Gai-As (David, 2010; David *et al.*, 2011). Esta fauna de bivalves ocorre em tempestitos distais e inclui espécies tais como *Terraia cf. T. altissima*, *Terraia cf. T. curvata* e *Comperesia emerita*, que aparentemente também estão presentes em assembleias ainda não descritas da porção basal da Formação Rio do Rasto, conforme informações presentes em Rohn (1994) e Rohn & Simões (1997).

1.1. DELIMITANDO O PROBLEMA

As faunas de moluscos do Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná (veja uma síntese em Simões *et al.*, 1998) compreendem um capítulo à parte na história da Classe Bivalvia (Runnegar & Newell, 1971). Isso se deve ao fato de sua evolução ter ocorrido *in situ*, o que confere a esta fauna um alto grau de endemismo, e em associação com as variações do nível do mar e com mudanças paleogeográficas, as quais acompanharam o progressivo isolamento geográfico da bacia durante o Permiano (Beurlen, 1954; Runnegar & Newell, 1971; Simões *et al.*, 1998). Esses e outros autores (*e.g.*, Stanley, 1979), enfatizaram a semelhança entre o processo de radiação adaptativa apresentada pelos moluscos do Grupo Passa Dois, após a deposição dos folhelhos anóxicos da Formação Irati, com a história evolutiva dos moluscos miocênicos no sudeste e centro da Europa, em especial após a fase evaporítica das bacias do Paratétis.

Para Stanley (1979), a Bacia do Paraná foi palco de irradiação e evolução *in situ* para as faunas de moluscos bivalves, porém sobre condições menos dramáticas do que aquelas que vigoraram no Mioceno da Europa. De qualquer modo, em ambos os casos, a importância dos fatores geográficos e paleoambientais, tais como a heterogeneidade espacial (diferentes microhabitats), aparentemente exerceram forte controle sobre a radiação adaptativa dos bivalves (Stanley, 1979). De fato, a Bacia do Paraná é citada como o exemplo mais antigo conhecido de evolução *in situ* na história evolutiva dos moluscos da Classe Bivalvia em bacias sedimentares interiores (Wesselingh, 2007).

Entretanto, vale ressaltar que o real cenário dessa evolução *in situ* e seu efeito na disparidade morfológica da fauna é ainda obscurecido pelo fato de muitos táxons e faunas de bivalves do Grupo Passa Dois permanecerem, desde a década de 1950, inadequadamente descritas ou simplesmente desconhecidas. Anelli *et al.* (2010) destacou que a grande maioria dos estudos prévios sobre a fauna de bivalves do Grupo Passa Dois foram concentrados nas biozonas de *Pinzonella illusa* e *Pinzonella neotropica* (Fig. 1), onde as

conchas são encontradas geralmente silicificadas e em bom estado de preservação (Torello & Simões, 1994; Simões & Anelli, 1995; Simões *et al.*, 1996; Simões & Kowalewski, 1998; Ghilardi, 1999; Mello, 1999; Kowalewski *et al.*, 2000; Ghilardi & Simões, 2002; Simões *et al.*, 2000; Simões & Torello, 2003). Em contrapartida, as faunas presentes na Formação Serra Alta (Biozona de *Anhemia froesi*) e nos membros Serrinha e Morro Pelado (biozonas de *Leinzia similis* e *Palaeomutela? platinensis*) da Formação Rio do Rasto, continuam pouco conhecidas.

Dentro deste contexto, a presente pesquisa de doutorado visa contribuir para ampliar o conhecimento taxonômico, paleobiogeográfico e bioestratigráfico dos bivalves do Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná, em especial daqueles presentes na Formação Rio do Rasto e em outras unidades gondvânicas do continente africano (Formação Waterford, Cooper & Kensley, 1984).

CRONOESTRATIGRAFIA		LITOSTRATIGRAFIA		ASSEMBLÉIAS DE BIVALVES	AMBIENTE DEPOSICIONAL
		GRUPO	FORMAÇÃO		
PERMIANO	LOPINGIANO	PASSA DOIS	RIO DO RASTO	MORRO PELADO	SISTEMA EÓLICO
	WUCHIAPINGIANO			<i>Palaeomutela? platínensis</i>	
	CAPITANIANO	SERRINHA	TERESINA	<i>Leinzia similis</i>	LAGO RASO
	WORDIANO			Sem nome	
	ROADIANO			<i>Pinzonella neotropica</i>	
	KUNGURIANO	SERRA ALTA	SERRA ALTA	<i>Pinzonella illusa</i>	MAR INTERIOR RASO
KUNGURIANO	<i>A. froesi</i>				

Figura 1. Distribuição das assembléias de bivalves do Grupo Passa Dois (baseado em Rohn 1994, 2007).

1.2. ESCOPO DA PESQUISA PROPOSTA: BIOESTRATIGRAFIA

Nas décadas de 1980 e 1990, esforços de pesquisadores, tais como, Setembrino Petri (GSA-IG/USP), Maria S.A.S. Maranhão (IG-Secretaria do Meio Ambiente), Marcello G. Simões (IBB/UNESP) e Rosemarie Rohn (IGCE/UNESP), conduziram a uma série de novas descobertas fossilíferas no Grupo Passa Dois, com importantes implicações evolutivas e bioestratigráficas, especialmente para o registro dos bivalves. Enquanto R. Rohn dedicou-se às unidades litoestratigráficas dos Estados do Paraná e Santa Catarina, os outros pesquisadores concentraram seus estudos no Estado de São Paulo, particularmente

nas formações Corumbataí e Teresina. Os resultados obtidos, maiormente expressos em Rohn (1994), Maranhão & Petri (1996) e Simões *et al.* (2000), confirmaram amplamente a assertiva de Ragonha (1984), ou seja, **“o Grupo Passa Dois já deu muito... e ainda tem muito a dar”**.

Paralelamente aos estudos acima, uma série de investigações de cunho estratigráfico, maiormente de superfície (Zaine, 1980; Sousa, 1985; Maranhão, 1995; Matos, 1995; Warren *et al.*, 2008) e, mais recentemente, de subsuperfície (Meghioratti, 2006), contribuíram para o melhor esclarecimento sobre o posicionamento estratigráfico das assembleias de bivalves do Grupo Passa Dois, com óbvias implicações bioestratigráficas e paleogeográficas.

Durante os trabalhos de campo conduzidos por R. Rohn nos estados do Paraná e Santa Catarina, nas décadas de 1980 e 1990, diversas novas localidades fossilíferas contendo importantes dados paleobiológicos, tafonômicos, sedimentológicos e estratigráficos foram descobertas (Rohn, 1988, 1994). Essas constituem importante complemento ao modelo evolutivo de Runnegar & Newell (1971), refinado por Simões (1992) e Simões *et al.* (1998) e, recentemente, comentado por Wesselingh (2007). Dentre as diversas descobertas, uma em particular se destaca, ou seja, a da seção geológica entre Cândido de Abreu e Reserva no estado do Paraná.

Tradicionalmente, todos os moluscos bivalves previamente registrados para o Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto, foram atribuídos à biozona de *Leinzia similis* (veja discussões em Rohn, 1994 e Rohn & Simões, 1997). Há aproximadamente meio século, o estudo dessa malacofauna foi apresentado por Mendes (1954). Entretanto, até meados da década de 1990 pouco foi dito a seu respeito, cujo interesse científico foi renovado somente a partir do estudo bioestratigráfico de Rohn (1994). Nessa oportunidade, uma provável nova assembléia de bivalves foi descoberta na parte basal da Formação Rio do Rasto, Membro Serrinha. Essa assembléia aparenta possuir uma idade um pouco mais antiga que a de *Leinzia similis*, possivelmente constituindo o registro

estratigráfico de uma biozona ainda não descrita, situada entre a biozona de *Pinzonella neotropica* (no topo da Formação Teresina/Corumbataí) e a biozona de *Leinzia similis* (*sensu* Rohn, 1994), na Formação Rio do Rasto (Fig. 1).

Os melhores registros de elementos dessa possível nova biozona ocorrem em cortes da estrada PR-239, na altura do quilômetro 44,6, sentido Cândido de Abreu à cidade de Reserva. Nessa localidade, camadas métricas de folhelhos esverdeados, bioturbados, contêm abundantes moldes (externos, internos) de bivalves, alguns em bom estado de conservação (*e.g.*, ornamentação e denticção preservadas). Os bivalves ocorrem em associação com conchostráceos e, no topo dos depósitos, com megatósseis vegetais (glossopterídeas e pecopterídeas).

Uma breve inspeção da malacofauna (Rohn & Simões, 1997) revelou a provável presença de *Terraia curvata* (elemento dominante), *Couperesia emerita*, *Relogiicola?* sp., *Terraia?* sp., *Terraia bipleura* e raros espécimes possivelmente atribuíveis à *Pinzonella* e *Jacquesia*. A presença desses dois gêneros, se confirmada, seria a primeira documentada acima da assembleia de *Pinzonella neotropica*, do topo da Formação Teresina/Corumbataí. Do mesmo modo, a ausência de *Leinzia similis* e *Terraia altissima* na malacofauna de Reserva-Cândido de Abreu, indicaria tratar-se de uma nova assembléia (assembléia de *Terraia curvata*), possivelmente de grande interesse bioestratigráfico, já que *Couperesia emerita* e formas possivelmente relacionadas à *Terraia curvata* ocorrem em sedimentos da Formação Gai-As, área de Huab, Namíbia (David, 2010 e David *et al.*, 2011).

Este grande interesse bioestratigráfico é justificado pelo fato de que *Terraia* cf. *T. curvata* e *Couperesia emerita* ocorrem na Formação Gai-As, Namíbia em um horizonte fossilífero pouco abaixo de tufos vulcânicos, cuja datação radiométrica de minerais de zircão indica idades entre 265 ± 2.5 Ma (limite Wordiano-Capitaniano) (Holzfoerster 2000, 2002, Wanke 2000). Porém, somente com a descrição e ilustração formal dos fósseis dessa

provável nova biozona, tais correlações bioestratigráficas poderão ser confirmadas (vide discussão em David, 2010; David *et al.*, 2011).

Finalmente, no contexto da pesquisa proposta, a revisão dos bivalves permianos da assembleia de Tiarajú (Cunha, 1972; Klein, 1997) e da Formação Waterford, Bacia do Karoo, África do Sul (Cooper & Kensley, 1984) também constituíram objeto de estudo. A assembléia de bivalves de Tiarajú é a única ocorrência conhecida de bivalves permianos do Grupo Passa Dois no estado do Rio Grande do Sul, sendo que o posicionamento dos mesmos no esquema bioestratigráfico proposto para os bivalves do Grupo Passa Dois ainda está em debate. Por sua vez, os bivalves da Formação Waterford constituem as primeiras ocorrências registradas na literatura de bivalves do Grupo Passa Dois fora da Bacia do Paraná (Cooper & Kensley, 1984). Contudo, desde Cooper & Kensley (1984) esses bivalves permanecem inadequadamente descritos e figurados. Dessa forma, ainda persistem dúvidas sobre as interpretações taxonômicas destes autores, especialmente sobre a presença de certos gêneros (*e.g.*, *Casterella* e *Naiadopsis*) na África do Sul, conforme discussão presente em Dickins (1992, p.989).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

O presente projeto está fundamentado na hipótese de o progressivo processo de continentalização da Bacia do Paraná, no Permo-Triássico, conduziu ao aparecimento de distintas faunas de bivalves, cujo caráter paleoautoecológico e paleobiogeográfico foi, em grande parte, influenciado pelas alterações paleoambientais ocorridas na bacia, conforme demonstrado pelos dados em Rohn (1994) e Simões *et al.* (1998). O entendimento, entretanto, da evolução *in situ* das malacofaunas permianas da Bacia do Paraná é

prejudicado pelo conhecimento ainda incipiente da taxonomia e afinidades das faunas, em especial da Formação Rio do Rasto.

Paralelamente, postula-se nesse projeto que, assim como ocorre na seção do Permiano médio da Bacia do Paraná (Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto) e Huab, Namíbia (Formação Gai-As), deve ter existido conexão aquática entre a Bacia do Paraná e do Karoo, África do Sul (Formação Waterford, Cooper & Kensley, 1984), no intervalo correspondente às biozonas de *Pinzonella illusa* e *Pinzonella neotropica*. Novamente, porém, a comprovação dessa assertiva depende de revisão sistemática das malacofaunas permianas, nesse caso da Formação Waterford. Assim sendo, tais revisões podem contribuir para o melhor entendimento da evolução dos bivalves permianos da fase de continentalização das bacias do Gondwana Ocidental, com óbvias implicações bioestratigráficas e geocronológicas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

No contexto acima, estabelece-se os seguintes objetivos específicos na presente pesquisa:

a- Revisão sistemática da malacofauna presente na região de Tiaraju, Grupo Passa Dois, no estado do Rio Grande do Sul.

b- Descrição da malacofauna do Membro Serrinha da Formação Rio do Rasto, (Grupo Passa Dois) na região de Reserva-Cândido de Abreu, no Estado do Paraná;

c- Revisão sistemática da malacofauna da Formação Waterford, Bacia do Karoo, África do Sul, estudado por Cooper & Kensley (1984) e depositados na coleção do museu da Cidade do Cabo, África do Sul;

e- Interpretação dos dados obtidos em termos das biozonas de bivalves disponíveis para o Grupo Passa Dois, segundo o modelo proposto por Rohn (1994), e suas consequentes implicações no modelo evolutivo de Simões *et al.* (1998).

1.4. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ANELLI, L.E.; SIMÕES, M.G. & DAVID, J.M., 2010. A new Permian bivalve (Megadesmidae, Plesiocyprinellinae) from the Serrinha Member, Rio Do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. *Revista do IG*, 10(2), 13-21.
- BEURLÉN, K., 1953. Considerações sobre alguns lamelibrânquios das camadas Terezina, no Paraná. *Boletim da Divisão Geológica e Mineralógica*, DNPM, 142, 1-41.
- BEURLÉN, K., 1954a. As faunas de lamelibranquios do sistema Gonduwânico no Paraná. In: LANGE, F. W. (Ed.), *Paleontologia do Paraná*, Volume Comemorativo do 10º Centenário do Estado do Paraná, Curitiba, Brasil, 107-136.
- BEURLÉN, K., 1954b. Horizontes fossilíferos das camadas Serra Alta do Paraná, *Boletim da Divisão Geológica e Mineralógica*, DNPM, 152, 1-30.
- COOPER, M.R. & KENSLEY, B., 1984. Endemic South America Permian bivalve mollusks from the Ecca of South Africa. *Journal of Paleontology*, 58, 1360-1363.
- CUNHA, M.C.L., 1972. *Contribuição à Paleontologia Estratigráfica do Grupo Passa Dois no Rio Grande do Sul*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 103p.
- DAVID, J.M., 2010. *Bivalves permianos da fase de continentalização das bacias do Gondwana Ocidental: sistemática, paleogeografia e bioestratigrafia*. 93p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP.
- DAVID, J.M.; SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E.; ROHN, R. & HOLZFOERSTER, F., 2011. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: systematics, taphonomy and biostratigraphy. *Alcheringa*, 35, 497-516.
- DICKINS, J.M., 1992. Permian geology of Gondwana countries: An overview. *International Geology Review*, 34, 986-1000.
- FÚLFARO, V.J., 1964. A Formação Corumbataí nos arredores de Conchas, Estado de São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 13, 45-53.

- GHILARDI, R.P., 1999. *Paleoautoecologia dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), no Estado de São Paulo: bivalves fósseis como indicadores da dinâmica sedimentar*. 160p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- GHILARDI, R.P. & SIMÕES, M.G., 2002. Foram os bivalves do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Rio do Rasto), Neopermiano, invertebrados tipicamente dulcícolas? *Pesquisas em Geociências*, 29, 3-13.
- HOLDHAUS, K., 1918. Sobre alguns lamelibrânquios fósseis do sul do Brasil. *Serviço Geológico e Mineralógico*, 2, 1-24.
- HOLZFORSTER, F., 2002. Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia. *Berlingeria*, 30, 1-144.
- KLEIN, C., 1997. *Contribuição ao estudo das concentrações fossilíferas do Grupo Passa Dois na região de Tiarajú, RS e suas implicações paleoambientais*. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado, 132 p.
- KOWALEWSKI, M.; SIMOES, M.G.; TORELLO, F.F.; MELLO, L.H.C & GHILARDI, R.P., 2000. Drill holes in shells of Permian benthic invertebrates. *Journal of Paleontology*, 74, 532-543.
- LEANZA, A.F., 1948. El llamado Triássico marino del Brasil, Paraguay, Uruguay y la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 3(3), 219-244.
- MARANHÃO, M.S.A.S., 1995. *Fósseis das formações Corumbataí e Estrada Nova do Estado de São Paulo: subsídios ao conhecimento paleontológico e bioestratigráfico*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MARANHÃO, M.S.A.S. & PETRI, S., 1996. Novas ocorrências de fósseis nas formações Corumbataí e Estrada Nova do Estado de São Paulo e considerações preliminares sobre seus significados paleontológico e bioestratigráfico. *Revista do Instituto Geológico*, 12, 33-54.

- MATOS, S.L.F., 1995. *O contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo*. 110p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MEGLHIORATTI, T., 2006. *Estratigrafia de Sequências das formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Permiano, Bacia do Paraná) na porção nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo*. 133p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP.
- MELLO, L. H. C., 1999. *Análise cláustica dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil: implicações taxonômicas, evolutivas e paleobiogeográficas*. 160p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- MENDES, J.C.M., 1944. Lamelibrânquios Triássicos de Rio Claro (Estado de São Paulo). *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 45 (Geologia 1), 41-76.
- MENDES, J.C.M., 1945. Considerações sobre a estratigrafia e idade da Formação Estrada Nova. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da universidade de São Paulo*, 50 (Geologia 2), 27-34.
- MENDES, J.C.M., 1949. Novos lamelibrânquios fósseis da Série Passa Dois, Sul do Brasil. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral*, 133, 1-40.
- MENDES, J.C.M., 1952. A Formação Corumbataí na região do Rio Corumbataí. (Estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). *Boletim da FCLF-USP*, 145, Geologia, 8, 119p.
- MENDES, J.C.M., 1953. À margem de “Considerações sobre alguns lamelibrânquios das camadas Teresina” de K. Beurlen. *Boletim da Divisão Geológica e Mineralógica*, DNPM, 77, 1-5.

- MENDES, J.C.M., 1954. Contribuição à estratigrafia da Série Passa Dois no Estado do Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 175 (Geologia 10), 1-119.
- MENDES, J.C.M., 1961. Algumas considerações sobre a estratigrafia da Bacia do Paraná. *Boletim Paranaense de Geografia*, 415, 3-33.
- MENDES, J.C.M., 1962. Lamelibrânquios permianos do oólito de Angatuba, Estado de São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 11, 37-56.
- MENDES, J.C.M., 1963. Lamelibrânquios permianos do Estado de Mato Grosso (Formação Estrada Nova). *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 12, 57-64.
- MENDES, J.C.M. & PETRI, S., 1950. Estudos biométricos de certas espécies de Pinzonella e Pinzonellopis. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 22, 99-106.
- MEZZALIRA, S., 1957. Ocorrências fossilíferas novas da Série Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 1, 15-34.
- RAGONHA, E.W., 1984. *Taxinomia de dentes e espinhos isolados de Xenacanthodii (Chondrichthyes-Elasmobranchii) da Formação Corumbataí*. 166p. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROHN, R., 1988. *Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, Estado do Paraná)*. 331p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROHN, R., 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. 480p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROHN, R. & SIMÕES, M.G., 1997. Pelecypods of the basal Serrinha Member (Rio do Rasto Formation, Passa Dois Group, Upper Permian) at the Reserva-Cândido de Abreu region of the Paraná State. *In: XV Congresso Brasileiro de Paleontologia (São Pedro)*, Boletim de Resumos, 1:72.

- RUNNEGAR, B. & NEWELL, N.D., 1971. Caspian- like relict moluscan fauna in the South America Permian. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 146, 1-66.
- SIMÕES, M.G., 1992. *Pelecípodes da Formação Palermo (Permiano) de São Sepé (RS) e Guiratinga (MT): implicações na evolução da fauna Neopaleozóica da Bacia do Paraná, Brasil*. 286p. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SIMÕES, M.G. & FITTIPALDI, F.C., 1987. Bivalves do Grupo Passa Dois, Permiano da Bacia do Paraná, sinopse das pesquisas. *In: Atas do 6º Simpósio Regional de Geologia, Rio Claro, São Paulo*, 281-295.
- SIMÕES, M.G. & ANELLI, L.E., 1995. *Runnegariella*, um novo gênero de Megadesmidae (Pelecypoda) da Formação Corumbataí (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Geociências*, 14, 161-173.
- SIMÕES, M.G. & MELLO, L.H.C., 1996. Sistemática e Paleocologia de *Casterella Gratiiosa* Mendes (Mollusca, Pelecypoda), Formações Terezina e Corumbataí (Permiano Superior), Bacia do Paraná, Brasil. *Acta Geológica Leopoldensia*, 43, 5-23.
- SIMÕES, M.G. & KOWALEWSKI, M., 1998. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Facies*, 38, 175-196.
- SIMÕES, M.G. & TORELLO, F.F., 2003. Modelo de tafofácies para os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois (Formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí), Permiano Superior, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 33, 1-10.
- SIMÕES, M.G.; TORELLO, F.F. & ROCHA-CAMPOS, A.C., 1996. Gênese e Classificação da Coquina de Camaquã, Formação de Corumbataí (Neopermiano), na Região de Rio Claro, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68, 545-557.
- SIMÕES, M.G.; MARQUES, A.C.; MELLO, L.H.C. & ANELLI, L.E., 1997. Phylogenetic analysis of the genera of the extinct family Megadesmidae (Pelecypoda, Anomalodesmata), with remarks on its paleoecology and taxonomy. *Journal of Comparative Biology*, 2, 75-90.

- SIMÕES, M.G.; ROCHA-CAMPOS, A.C. & ANELLI, L.E., 1998. Paleoeecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: JOHNSTON, P.A.; HAGGART, J.W. (Ed.) *Bivalves - An Eon of evolution: paleobiological studies honoring Norman D. Newell*. Calgary: University of Calgary Press, 443-452.
- SIMÕES, M.G.; TORELLO, F.F.; MELLO, L.H.C & GHILARDI, R.P., 2000a. O conteúdo fossilífero de novos afloramentos do Grupo Passa Dois (Neopermiano), nas porções centro sul e nordeste do Estado de São Paulo: implicações bioestratigráficas e paleoecológicas. *Acta Geologica Leopoldensia*, 23(50), 61-90.
- SIMÕES, M.G.; KOWALEWSKI, M.; TORELLO, F.F.; GHILARDI, R.P. & MELLO, L.H.C., 2000b. Early onset of Modern-Style shell beds in the Permian sequences of the Paraná basin: implications for the Phanerozoic trend in bioclastic accumulations. *Revista Brasileira de Geociências*, 30, 499-503.
- SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E. & DAVID, J.M., 2010. *Othonella araguaiana* (Bivalvia, Megadesmidae) from the Corumbataí Formation (Middle Permian), eastern margin of the Paraná Basin: systematical, evolutionary and biostratigraphical significances. *Revista do IG*, 10(2), 45-55.
- SOUSA, S.H.M., 1985. *Fácies sedimentares das Formações Estrada Nova e Corumbataí no Estado de São Paulo*. 142 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- STANLEY, S.M., 1979. *Macroevolution: Pattern and Process*. San Francisco, 332 p.
- TORELLO, F. F. & SIMÕES, M. G., 1994. Características tafonômicas da assembléia de *Pinzonella illusa* Reed, Formação Corumbataí (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 39, 159-173.
- WANKE, A., 2000. *Karoo- Etendeka Uncoformites in NW Namibia and their Tectonic Implications*. Tese de Doutorado, Würzburg University, Alemanha.

- WARREN, L.V.; ALMEIDA, R.P.; HACHIRO, J.; MACHADO, R.; ROLDAN, L.F.; STEINER, S.S. & CHAMANI, M.A.C., 2008. Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: 213-227.
- WESSELING, F.P., 2007. Long-lived lake molluscs as island faunas: a bivalve perspective, p. 275-314. *In: Biogeography, time and place: distributions, barriers and islands*, Springer.
- ZAINE, M.F., 1980. *Uma barreira geográfica no Paleozóico superior na região de Fartura, SP*. 89p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

[Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side.]

PARTE 2

MATERIAL & MÉTODOS

2. GEOLOGIA DA UNIDADE EM ESTUDO: BREVE REVISÃO

A Bacia do Paraná estende-se por quase todo o Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, ocupando uma área de aproximadamente 1,5 milhão de km² (Milani *et al.*, 2007). Somente a borda norte-nordeste possivelmente representa o limite deposicional original da bacia, enquanto outros foram significativamente erodidos ou recobertos por sedimentos mais recentes, respectivamente nas porções leste e oeste da bacia (Milani *et al.*, 2007). Os depósitos permianos da Bacia do Paraná inserem-se no contexto da supersequência Gondwana I de Milani (1997; Milani *et al.*, 1998, 2007), abrangendo o intervalo Neocarbonífero-Eotriássico (Moscoviano-Olenekiano). Trata-se de uma sucessão sedimentar tipicamente depositada em bacia intracratônica, abrangendo uma maior área e volume com os grupos Itararé, Guatá, Passa Dois e as formações Sanga do Cabral e Pirambóia (Milani *et al.*, 2007). Sua história deposicional iniciou-se sob influência da glaciação permo-carbonífera, seguida por uma longa fase transgressiva, caracterizada por sistemas deposicionais costeiros (onde se originaram carvões) a marinhos rasos, e uma fase regressiva mais longa, primeiramente em condições de mar restrito (com geração de hidrocarbonetos, dolomitos e evaporitos), seguido da última incursão marinha e, finalmente, a gradual continentalização, encerrando-se com ampla sedimentação eólica (Milani *et al.*, 2007).

O Grupo Passa Dois congrega a totalidade dos depósitos consensualmente datados como permianos, com a Formação Irati em sua porção basal. Esta formação foi recentemente datada (Santos *et al.*, 2006) como artinskiana (Eopermiano) e nesta unidade ocorrem vertebrados, como os mesossaurídeos (Araújo-Barbarena *et al.*, 2002), vegetais (principalmente troncos de gimnospermas), invertebrados (crustáceos, raros insetos, moluscos bivalves e possíveis foraminíferos ainda não formalmente descritos), estromatólitos e os últimos acritarcas registrados na Bacia do Paraná (Mussa *et al.*, 1980; Pinto & Adami-Rodrigues, 1996; Araújo, 2001; Lages, 2004; Silva, 2011). Os

mesossaurídeos atestam a existência de comunicação aquática entre as bacias do Paraná, Karoo (sul da África) e Huab (Namíbia). A alternância de calcários e folhelhos betuminosos na parte superior da formação (Membro Assistência), observada em toda a parte oriental e nordeste da bacia, provavelmente reflete variações climáticas cíclicas (condições secas e úmidas) de milhares de anos (Hachiro & Coimbra, 1993; Araújo, 2001). No extremo nordeste da bacia, em Santa Rosa de Viterbo, tal ritmo é substituído por enormes estromatólitos (Suguio & Sousa, 1985; Ricardi-Branco *et al.*, 2006).

A Formação Serra Alta e os depósitos equivalentes da porção basal da Formação Corumbataí sobrepõem-se à unidade basal do Grupo Passa Dois e são caracterizados por folhelhos, provavelmente depositados em águas calmas afastadas da costa e com certo grau de anoxia. Dentre os principais macrofósseis destacam-se os bivalves, especialmente no Estado de São Paulo (Mendes, 1952; Maranhão, 1986; Simões *et al.*, 2000; Bondioli, 2014), além de escamas, dentes e coprólitos de peixes dispersos ou, às vezes, constituindo *bone beds*, com nódulos fosfáticos (Simões & Rohn, 1996; Bondioli, 2014). Em raras intercalações micríticas ocorrem ostracodes e moluscos bivalves (Meghioratti, 2006).

Na faixa aflorante oriental da bacia, a Formação Serra Alta passa gradualmente para a Formação Teresina. Esta unidade é constituída, principalmente, por folhelhos cinza escuros interlaminados com arenitos muito finos (Rohn, 1994, 2001, 2007; Meghioratti, 2006). As duas formações equivalem, no norte/nordeste da bacia, à Formação Corumbataí, cujas rochas pelíticas são avermelhadas nos afloramentos próximos à superfície (Rohn, 1994, 2001; Meghioratti, 2006).

Assim como para a Formação Serra Alta, os bivalves são os principais macrofósseis de invertebrados e representativos das biozonas *Pinxonella illusa* e *P. neotropica* (Mendes, 1952; Rohn, 1994). As interpretações sobre os ambientes deposicionais da Formação Teresina são controversas. Para alguns autores (*e.g.*, Milani *et al.*, 2007) as diferentes fácies evocam condições marinhas rasas ou costeiras com marés. Diversos supostos fósseis

marinhos foram noticiados de modo preliminar, faltando o seu estudo formal, como no caso dos possíveis ostracodes marinhos cosmopolitas do norte da bacia (Almeida & Do Carmo, 2005). Recentemente, braquiópodes rhynchonelliformes foram encontrados em calcários micríticos do topo da Formação Teresina (Fig. 2), na seção da Rodovia Castello Branco, atualmente em estudo pelos pesquisadores L.E. Anelli e M.G. Simões. Também foram registrados icnofósseis *Thalassinoides*, que se assemelham a representantes marinhos, porém não se pode admitir uma origem francamente marinha para toda a Formação Teresina em função desta ocorrência (Rohn *et al.*, 2004).

A última unidade do Grupo Passa Dois é a Formação Rio do Rasto, subdividida nos membros Serrinha e Morro Pelado, aflorantes no leste da bacia. O primeiro membro caracteriza-se por camadas relativamente tabulares de arenitos muito finos a finos, intercalados entre siltitos maciços, mas a unidade apresenta uma variação regional e suas litofácies são relativamente diversificadas (Rohn, 1994, 2007; Meghioratti, 2006). A partir da porção basal da formação ocorrem conchostráceos, atestando a instalação de paleoambientes com água doce. Grande parte da sucessão deve corresponder a condições lacustres, com tempestitos e depósitos de desembocadura de distributários em lagos (Rohn, 1994, 2007).

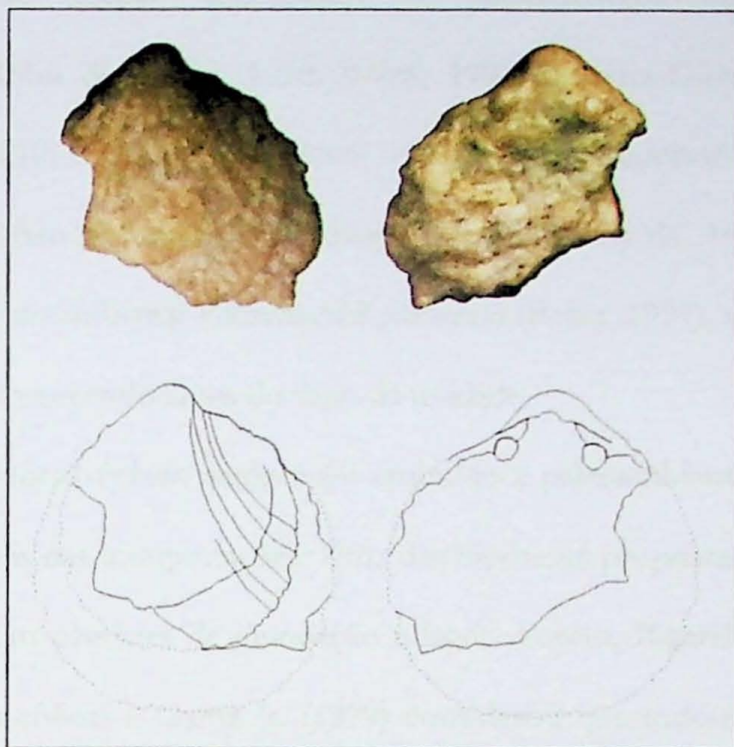


Figura 2. Braquiópode rhynchonelliforme encontrado em calcários micríticos próximos ao topo da Formação Teresina (Simões, M.G. e Anelli, L.E., comunicação pessoal 2014), na sucessão estratigráfica da Rodovia Castello Branco, SP-280 (km 165), no Estado de São Paulo.

A fauna de bivalves modifica-se substancialmente (Rohn, 1994; Simões *et al.*, 1998), correspondendo, conforme acima referido, a duas biozonas ainda informais sugeridas em Rohn (1988, 1994), com destaque à *Terraia curvata*. Formas relacionadas a esta espécie ocorrem também na Namíbia, em posição estratigráfica próxima a uma camada de cinzas vulcânicas datada em $265,5 \pm 2,2$ Ma (Stollhofen *et al.*, 2000), equivalente ao final do Wordiano (Mesopermiano). Impressões de folhas e moldes de caules são relativamente comuns e diversificadas, especialmente glossopterídeas, estenótitas e pecopterídeas (Rohn & Rösler, 2000). Escamas de peixes são frequentes, e na transição para o Membro Morro Pelado, em Santo Antônio da Platina-PR, foram encontrados palaenisciformes completos (Vega-Dias *et al.*, 2000).

O Membro Morro Pelado caracteriza-se por siltitos avermelhados com muitas intercalações de arenitos finos lenticulares eólicos ou representativos de fluxos hiperpicnais em corpos de água rasas (Lavina, 1991; Rohn, 1994; 2007; Rohn *et al.*, 2005). Os

conchostráceos são muito abundantes e possibilitaram relativo refinamento bioestratigráfico (Rohn & Rösler, 1990; Rohn, 1994; Ferreira-Oliveira, 2007; Ferreira-Oliveira & Rohn, 2010) e correlação bastante segura da parte superior da Formação Rio do Rasto com o “Tatariano” (provável Wuchiapingiano inferior) da Austrália. Os bivalves, pertencentes à Biozona informal *Palaeomutela? platinensis* (Rohn, 1994), vão se tornando mais raros e acabam desaparecendo antes do topo da unidade.

O Membro Morro Pelado sempre foi atribuído a paleoambientes continentais, mas existem controvérsias nas interpretações. Uma das hipóteses propostas por Mendes (1954) é a origem fluvial em planícies de inundação e lagos. Porém, Bigarella (1973) identificou depósitos de dunas eólicas e Gama Jr. (1979) considerou que todo o Grupo Passa Dois (exceto a Formação Irati) representaria um grande sistema deltaico. Neste contexto, o Membro Morro Pelado corresponderia à planície deltaica. Lavina (1991) sugeriu deposição em lagos rasos efêmeros em sistema desértico e Rohn *et al.* (2005) lançaram a hipótese da sedimentação em sistema de leque aluvial extremamente distal em condições de clima semi-árido de acordo com dados de paleocorrentes consistentes rumo ao norte. Finalmente, Warren *et al.* (2008) sugeriram que o Membro Morro Pelado estaria em contexto de sistemas deltaicos gradando para depósitos desérticos.

Por fim, com base nos bivalves permianos da Formação Gai-As (David *et al.*, 2011), Namíbia, Horsthemke (1992), Lendendecker (1992) e Wanke (2000) correlacionaram essas ocorrências às das formações Rio do Rasto, Bacia do Paraná e Waterford, Bacia do Karoo, África do Sul. A Formação Waterford, Wordiano, é a unidade transicional entre os depósitos plataformais do Grupo Ecça e os indubitavelmente continentais, terrestres, do Grupo Beaufort. Em sua localidade tipo, a unidade é informalmente dividida em três membros (Main Member, Middlewater Shale Member e o Transitional Member) (Johnson *et al.*, 1996), os quais se diferenciam dos da Formação Koonap, subjacente e da Formação Fort Brown, suprajacente, pela maior frequência de litofácies arenosas (Rubdige, 1988). A

Formação Waterford é interpretada como representando depósitos deltaicos que prograram na bacia, após a deglaciação do Gondwana (Pludow *et al.*, 2010).

Na região de Prince Albert, Província do Cabo, depósitos de frente deltaica da Formação Waterford contêm fósseis atribuíveis a *Jacquesia elongata*, *Leinzia cf. froesi*, *Casterella cf. gratiosa* e *Naiadopsis lamellosus*. Todas essas espécies são comuns às biozonas de *Anhembia froesi*, *Pinzonella illusa* e *Pinzonella neotropica* nas formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí. Entretanto, parecem existir diferenças sutis na forma das conchas dos exemplares da Formação Waterford, quando comparadas às da Bacia do Paraná, tanto que Dickins (1992, p. 989) não aceita integralmente as interpretações de Cooper & Kensley (1994). Como resultado, essa fauna necessita ser redescrita e revisada (veja discussão a esse respeito em David *et al.*, 2011), em decorrência de seu potencial para biocorrelação.

2.1. GEOLOGIA E LOCALIZAÇÃO DOS SÍTIOS FOSSILÍFEROS ESTUDADOS

Comentários sobre a geologia e a localização dos sítios fossilíferos são realizados dentro de cada anexo referente à fauna estudada.

2.2. METODOLOGIA DE LABORATÓRIO

Todas as amostras de bivalves encontravam-se disponíveis para o estudo sem a necessidade de trabalhos de campo para obtê-las. O material de Tiaraju é constituído por mais de 100 espécimes que se encontram na coleção científica do Museu de Paleontologia da Universidade Vale dos Sinos (Unisinos), Rio Grande do Sul. Por sua vez, o material de bivalves da Formação Waterford totaliza 41 espécimes, os quais se encontram depositados na coleção científica do Museu de História Natural da Cidade do Cabo, na África do Sul. Por fim, o material referente ao afloramento localizado na estrada entre Cândido de Abreu e Reserva é constituído por 60 amostras previamente cedidas para estudo pela Prof. Dra.

Rosemarie Rohn Davies (IGCE-UNESP, Rio Claro). Ambos os materiais foram submetidos aos procedimentos relatados nos itens abaixo.

2.2.1. MOLDAGEM DOS ESPÉCIMES

Em um estudo sistemático de bivalves fósseis, a interpretação e descrição de feições morfológicas (como impressões musculares, dentição, ornamentação, etc) revela-se de extrema importância para o entendimento adequado da classificação destes invertebrados (Runnegar & Newell, 1971; Simões *et al.*, 1997). O processo de moldagem em látex tem como objetivo ressaltar tais feições morfológicas, permitindo, portanto, a análise correta destas características. Tal procedimento foi efetuado nos espécimes estudados no presente doutorado de acordo com as seguintes etapas: 1) inicialmente, o espécime é limpo com o auxílio de um pincel e aplica-se sobre o mesmo uma fina camada de vaselina; 2) em seguida, são aplicadas camadas de látex diluído em água e pigmentado com nanquim preto; 3) o processo anterior é repetido aumentando a concentração de látex a cada nova aplicação; 4) com o intuito de se obter moldes mais resistentes, tiras de gaze são intercaladas com as camadas de látex; e) após a secagem completa, que leva aproximadamente 24h, o molde é retirado do fóssil e suas bordas aparadas com tesoura.

Vale ressaltar que, alternativamente à moldagem por látex, utilizou-se também a massa de cerâmica plástica da marca FIMO na cor preta. Essa massa é comumente utilizada em trabalhos artísticos e, após imprimi-la contra o fóssil estudado, obtêm-se um contra-molde do mesmo. Em seguida, o mesmo é levado ao forno a 110° C/130° C durante 30 minutos, para endurecer. Após a cura, a massa torna-se totalmente resistente e equivale a um molde de látex finalizado, com a vantagem do processo de obtenção da mesma ser mais rápido do que o tempo dispensado para obtenção do molde de látex.

2.2.2. FOTODOCUMENTAÇÃO

Diversas feições dos bivalves estudados, como por exemplo, cicatrizes musculares e dentição, estão preservadas em relevo negativo nas conchas e podem ser evidenciadas a partir do método de impregnação de fuligem de magnésio metálico. Os espécimes receberam uma camada de tinta nanquim e, após a secagem da mesma, foram recobertos por uma camada delgada de fuligem de magnésio metálico, sendo posteriormente fotografados. Aqueles que se encontravam em moldes de látex e de massa FIMO foram somente recobertos pela camada de magnésio e fotografados, não sendo necessário receberem a camada de nanquim, uma vez que os mesmos já se encontram escuros pelo fato de o látex ter sido pigmentado com nanquim.

2.3. METODOLOGIA DE GABINETE

As atividades de gabinete desenvolvidas incluíram a descrição e discussão sistemática dos bivalves estudados e amplo levantamento bibliográfico, envolvendo tópicos relacionados ao histórico de pesquisa no Grupo Passa Dois, à sistemática de bivalves e à estratigrafia do intervalo estudado.

2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C.M. & CARMO, D.A., 2005. Taxonomia e paleoecologia de ostrácodes do Permiano da Bacia do Paraná, Estado de Goiás, Brasil. *In: XIX Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Aracaju, Boletim de Resumos. 1, 48.
- ARAÚJO, L.M., 2001. *Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica e inorgânica nas seqüências Irati*. 260 p. Tese de Doutorado, UFRGS.
- ARAÚJO-BARBERENA D.C.; LACERDA FILHO, J.V. & TIMM, L.L., 2002. Mesossauro da Serra do Caiapó (Montividiu), GO: Um vertebrado fóssil típico do

- Paleozóico Superior, importante na história da Deriva Continental. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPO, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M. & BEBERT-BORN, M.L.C. (Eds), Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 1, 81-85.
- BIGARELLA, J.J., 1973. Paleocurrents and the problem of continental drift. *Geologische Rundschau*, 62, 447-477.
- BONDIOLI, J.G.. 2014. *Dinâmica sedimentar, tafonomia e paleoambientes da fácies de offshore da Formação Serra Alta, Permiano, Bacia do Paraná: um estudo de caso no estado de São Paulo, Brasil*. 130pp. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- COOPER, M.R. & KENSLEY, B., 1984. Endemic South America Permian bivalve mollusks from the Ecca of South Africa. *Journal of Paleontology*, 58, 1360-1363.
- DAVID, J.M.; SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E.; ROHN, R. & HOLZFOERSTER, F., 2011. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: systematics, taphonomy and biostratigraphy. *Alcheringa*, 35, 497-516.
- DICKINS, J.M., 1992. Permian geology of Gondwana countries: An overview. *International Geology Review*, 34, 986-1000.
- FERREIRA-OLIVEIRA, L.G., 2007. *Conchostráceos permianos da Bacia do Paraná: taxonomia, evolução, bioestratigrafia e paleobiogeografia*. 185p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro.
- FERREIRA-OLIVEIRA, L.G. & ROHN, R., 2010. Leiid conchostracans from the uppermost Permian strata of the Paraná Basin, Brazil: Chronostratigraphic and paleobiogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 371-380.
- GAMA JR., E., 1979. A sedimentação do Grupo Passa Dois (Exclusiva Formação Irati): um modelo morfológico. *Revista Brasileira de Geociências*, 9, 1-16.

- HACHIRO, J. & COIMBRA, A., 1993. Ciclos de Milankovitch nas seqüências rítmicas da Unidade Irati. *In: I Simpósio de Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. Boletim de Resumos*, 72-73.
- HORSTHEMKE, E., 1992. Fazies der Karoosediment in der Huab-Region, Damaraland, NW-Namibia. *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie*, 55, 1-102.
- JOHNSON, M.R.; VAN VUUREN, C.J.; HEGENBERGER, W.F.; KEY, R. & SHOKO, U., 1996. Stratigraphy of the Karoo Supergroup in southern Africa: an overview: *Journal African Earth Sciences Middle East*, 23, 3-15.
- LAGES, L.C., 2004. *A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR)*. 117 pp. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- LAVINA, E.L., 1991. *Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (Intervalo Kazaniano-Scythiano) da Bacia do Paraná*. 333 p. Tese de Doutorado, UFRGS.
- LEDENDECKER, S., 1992. Stratigraphie der Karoosedimente der Huabregion (NW-Namibia) und deren Koorrelalion mit zeitäquivalenten Sedimenten des Paranábeckens (Südamerika) un des Groben Karrobeckens (Südafrika) unter besonderer Berücksichtigung der ü berrequonalen geodynamischen und klimatishen Entwicklung Westgondwanas. *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie*, 54, 1-87.
- MARANHÃO, M.S.A.S., 1986. *Contribuição ao conhecimento da malacofauna das camadas basais da Formação Corumbataí (Permiano), Estado de São Paulo*. 88p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SILVA, S.A.M. 2011. *Tafonomia dos Pygocephalomorpha (Crustacea, Peracarida), Subgrupo Irati, Permiano, Bacia do Paraná, Brasil: Implicações Paleoecológicas e Paleoambientais*. Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Universidade Estadual Paulista, Dissertação de Mestrado, 71 p.

- MEGLHIORATTI, T., 2006. *Estratigrafia de Seqüências das formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Permiano, Bacia do Paraná) na porção nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo*. 133p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP.
- MENDES, J.C.M., 1952. A Formação Corumbataí na região do Rio Corumbataí. (Estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). *Boletim da FCLF-USP*, 145, Geologia, 8, 119p.
- MENDES, J.C.M., 1954. Contribuição à estratigrafia da Série Passa Dois no Estado do Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 175 (Geologia 10), 1-119.
- MILANI, E.J.; FACCINI, U.F.; SCHERER, C.M.S.; ARAÚJO, L.M. & CUPERTINO, J.A., 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim IG-USP, Série científica*, 29, 125-173.
- MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES L.A. & FRANÇA, A.B., 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 15, 265–287.
- MUSSA, D.; CARVALHO, R.G. & SANTOS, P.R., 1980. Estudo estratigráfico e paleoecológico em ocorrências fossilíferas da Formação Irati, Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim IG-USP*, 11, 142-149.
- PINTO, I.D. & ADAMI-RODRIGUES, K., 1996. Pygocephalomorph crustacean: new data and interpretations, with emphasis on Brazilian and South African forms. *Pesquisas*, 23, 41-50.
- PLUDOW, B.A.; GASTALDO, R.A. & NEVELING, J., 2010. A Middle Permian (Wordian) avulsion system, Karoo Basin, South Africa: implications for the Ecca-Beaufort transition. The Geological Society of America Annual Meeting, *Abstracts with Programs*, 42(5), 428.

- RICARDI-BRANCO, F.; CAÍRES, E.T. & SILVA, A.M., 2006. Campo de Estromatólitos Gigantes de Santa Rosa de Viterbo Excelente registro do litoral do mar permiano Irati, Bacia do Paraná, Brasil. *In: Sítios Geológicos e* ROHN, R., 1988. *Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, Estado do Paraná)*. 331p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROHN, R., 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. 480p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROHN, R., 2001. A estratigrafia da Formação Teresina (Permiano, Bacia do Paraná) de acordo com furos de sondagem entre Anhembi (SP) e Ortigueira (PR). *Ciência, Técnica, Petróleo, Seção Exploração de Petróleo*, 20, 209-218.
- ROHN, R., 2007. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. *In: I Workshop - Problems in the Western Gondwana Geology, South America - Africa correlations: du Toit revisited (Gramado), Extended Abstracts*, 1, 151-157.
- ROHN, R. & RÖSLER, O., 1990. Conchostráceos da Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná): Bioestratigrafia e implicações paleoambientais. *Revista Brasileira de Geociências*, 19, 486-493.
- ROHN, R. & RÖSLER, O., 2000. Fitoestratigrafia do Permiano médio a superior do leste da Bacia do Paraná. *In: PALEO 2000 (Rio Negro, PR, Mafra, SC), Programa e Resumos*, 1: 18.
- ROHN, R.; ASSINE, M.L. & MEGLHIORATTI, T., 2005. A new insight on the Late Permian environmental changes in the Paraná Basin. *In: Gondwana 12 (Mendoza) Abstracts*, 1, 316.

- RUBIDGE, B.S., 1988. *A palaeontological and palaeoenvironmental synthesis of the Permian Ecca-Beaufort in the southern Karoo between Prince Albert and Rietbron, Cape Province, South Africa*. 347p. Tese de doutorado, University of Port Elizabeth, África do Sul.
- SANTOS, R.V.; SOUSA, P.A.; ALVARENGA, C.J.S.; DANTAS, E.L.; PIMENTEL, M.M.; OLIVEIRA, C.G. & ARAÚJO, L.M., 2006. Shrimp U Pb zircon dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil. *Gondwana Research*, 9, 456-463.
- SIMÕES, M.G. & ROHN, R., 1996. On the Significance of a Phosphatic Concentration at Serra Alta Formation (Passa Dois Group, Late Permian), Paraná Basin, Brazil. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Anais. 1, 295-297.
- SIMÕES, M.G. & KOWALEWSKI, M., 1998. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Facies*, 38, 175-196.
- SIMÕES, M.G.; TORELLO, F.F.; MELLO, L.H.C & GHILARDI, R.P., 2000. O conteúdo fossilífero de novos afloramentos do Grupo Passa Dois (Neopermiano), nas porções centro sul e nordeste do Estado de São Paulo: implicações bioestratigráficas e paleoecológicas. *Acta Geologica Leopoldensia*, 23(50), 61-90.
- STOLLHOFEN, H.; STANISTREET, I. G.; ROHN, R.; HOLZFOERSTER, F. & WANKE, A., 2000. The Gat-As lake system, northern Namibia and Brazil. In: GLERLOWSKI-KORDESCH, E. H.; KELTS, K. R. (Eds). *Lake basins through space and time*. Tulsa: AAPG Studies in Geology 46, 87-108.
- SUGUIO, K. & SOUSA, S.H.M., 1985. Restos de mesossaurídeos na Formação Corumbataí, Permiano da bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 57, 339-347.
- VEGA-DIAS, C.; DIAS, E.V. & RICHTER, M., 2000. Actinopterygian remains from the Rio do Rasto Formation, Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Acta Geologica Leopoldinense*, 23, 21-31.

- WANKE, A., 2000. *Karoo- Etendeka Uncoformites in NW Namibia and their Tectonic Implications*. Tese de Doutorado, Würzburg University, Alemanha.
- WARREN, L.V.; ALMEIDA, R.P.; HACHIRO, J.; MACHADO, R.; ROLDAN, L.F.; STEINER, S.S. & CHAMANI, M.A.C., 2008. Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, 38: 213-227.

3 RESULTADOS

El presente informe tiene como finalidad dar a conocer los resultados de la investigación realizada en el marco del proyecto de tesis. El mismo está dividido en tres capítulos: el primero describe el contexto de la investigación, el segundo presenta los resultados de la investigación y el tercero discute los resultados de la investigación. El primer capítulo describe el contexto de la investigación, el segundo presenta los resultados de la investigación y el tercero discute los resultados de la investigación.

El primer capítulo describe el contexto de la investigación, el segundo presenta los resultados de la investigación y el tercero discute los resultados de la investigación. El primer capítulo describe el contexto de la investigación, el segundo presenta los resultados de la investigación y el tercero discute los resultados de la investigación.

PARTE 3

RESULTADOS

3. RESULTADOS OBTIDOS

Apresentam-se como resultados derivados da pesquisa conduzida neste projeto de doutorado três artigos científicos. Estes são aqui apresentados com o *status* em preparação, pois aguardam as críticas, correções e modificações que poderão ocorrer durante a fase de defesa pública da tese de doutoramento. O artigo relativo aos bivalves da Bacia do Karoo, África do Sul almeja como objetivo uma publicação em periódico internacional, pois o tema é de amplo interesse da comunidade geocientífica que investiga o Gondwana, no Neopaleozoico, especialmente à paleogeografia do setor que envolve a América do Sul e África. As faunas brasileiras são de interesse mais regional e, por este motivo, os artigos derivados serão submetidos para periódicos nacionais de primeira linha.

Os três artigos apresentados estão vinculados diretamente à questão central investigada. Neste contexto, os resultados obtidos têm importantes implicações para o entendimento da composição faunística das assembleias de bivalves permianos da Bacia do Paraná, com importantes implicações bioestratigráficas e paleogeográficas. Para maiores detalhes sobre as descrições dos resultados obtidos vide anexos 1 a 3.

3.1. BIVALVES PERMIANOS DA FORMAÇÃO WATERFORD, BACIA DO KAROO, ÁFRICA DO SUL

Resumo do artigo “*Locked in a Huge Epeiric Sea: the Endemic South American Permian Bivalves from the Ecca of South Africa Revisited*”

During the Late Paleozoic, large areas of the western Gondwana (Paraná Basin, South America, Karoo and Huab basins, South Africa and Namibia) were covered by a huge inland sea. In the Early-Middle Permian, this large epeiric sea was either isolated or had a restricted connection to the Permian oceans. Benthic marine faunas that thrived in this sea were mainly dominated by shallow burrowing bivalves, and evolved under conditions of extreme geographic isolation. Remarkable morphological disparity is shown, especially by the anomalodesmatans. Rocks of the Permian Passa Dois Group, Brazil, and coeval successions in Uruguay, Paraguay, and Argentina encompass the best records of that endemic fauna. Until the early 70's, at least 24 generic names were applied to the Paranean bivalves, none of these known outside the Paraná Basin. In the early 80's, M.R. Cooper and B. Kensley announced (but not described) the record of the Permian Paranean bivalves outside the South America. According to them, at least one conspecific taxon (*Naiadopsis lamellosus*) and others apparently congeneric (*Leinzia*, *Casterella*, *Jacquesia*) were found in delta front deposits of the Waterford Formation, Ecca Group, South Africa. Curiously, the genera from three distinct Permian biozones of the Paraná Basin were amassed in a same South African assemblage. Yet, specimens of the most abundant and widely distributed Paranean genera (*Pinzonella*, *Terraia*, *Plesiocyprinella*) were not found in the South African fauna. Conversely, rare South American forms were reported (*Leinzia*, *Naiadopsis*). In the early 90's, this interpretation was hardly questioned by J.M. Dickins and others. Since then, the record of the endemic South American Permian bivalves in the Main Karoo Basin is questionable, since the South African assemblage remained undescribed. Here we revised

the type material studied by M.R. Cooper and B. Kensley, which is deposited in the Iziko Museums of Cape Town, South Africa. Our results indicate that their taxonomic interpretations were flawed. Although apparently related to the Plesiocyprinellinae bivalves (the dominant group in the Paranean assemblages), the Karoo ones cannot be confidently assigned to any known South American genera or species. The poorly diversified South African assemblage seems to be a regional variant of that of the Paraná Basin, also represented by their own endemic taxa (at least three distinct genera). Hence, the biocorrelation of the South African assemblage with those of the Permian bivalve biozones of the Passa Dois Group, Brazil, cannot be securely constrained.

3.2. BIVALVES PERMIANOS DA PORÇÃO BASAL DA FORMAÇÃO RIO DO RASTO, MEMBRO SERRINHA, BACIA DO PARANÁ.

Resumo do artigo “*Permian bivalves of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin: biostratigraphical and paleoecological implications*”

The basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation records the stratigraphic range of an undescribed bivalve biozone, lying between the *Pinzonella neotropica* and *Leinzia similis* biozones. The best record of this potential new biozone crops-out at kilometer 44.6, PR-239 road, Paraná State, Brazil. The systematic description of this bivalve assemblage revealed the presence of forms attributed to *Terraia curvata*, *Terraia bipleura*, *Asterlopsis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* and *Conperesia emerita*. The genus *Terraia* is the dominant bivalve in this assemblage, with the predominance of specimens attributed to *Terraia curvata*. The stratigraphic range of this species seems to be restricted to this particular interval, and could possibly represent the best element to determinate this new bivalve assemblage, therefore being named as *Terraia curvata* Biozone. Additionally, this bivalve fauna could probably record a faunal turnover in the bivalve geological history of the Passa Dois Group, Paraná Basin. Permian sediments of the Gai-As Formation, Namibia are tentatively correlated with the basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, indicating that this sedimentary succession of the Passa Dois Group, Paraná Basin would be no younger than the mid-Permian (Wordian-Captianian).

3.3. BIVALVES PERMIANOS DO GRUPO PASSA DOIS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Resumo do artigo “*The Permian Tiaraju Bivalve Fauna Revisited: Biostratigraphic and Paleobiogeography Significance*”

The Permian bivalve mollusk fauna of the Paraná Basin evolved in a shallow and large inland sea, under conditions of geographical isolation and variable salinity regimes. Although this bivalve fauna has received renewed attention in the last decade, the true evolutionary history of these unique invertebrates is still obscure because of the incomplete and biased information on its systematics. Indeed, most of the studies dealing with the systematics of the Permian Passa Dois Group bivalves have focused on the faunas preserved in rocks of the Teresina and Corumbataí formations. The majority of these studies are based on materials that were collected in outcrops of the eastern border of the Paraná Basin, especially in the Brazilian states of São Paulo and Paraná. In this context, the systematic revision of the Tiaraju bivalve assemblage, the only known occurrence of Permian bivalves in the Passa Dois Group of Rio Grande do Sul State, Brazil, adds new information about the systematics, biostratigraphy, and paleobiogeography of this Permian bivalve fauna. The systematic revision of this assemblage revealed the presence of *Terraia falconeri*, *Terraia altissima*, *Holdhausiella elongata* and *Comperesia emerita*. The record of *C. emerita* and *T. altissima* indicates a biocorrelation with deposits of the Permian Gai-As Formation, in the Huab area, Namibia, providing an age no younger than the mid-Permian (Wordian-Captianian) to these Brazilian deposits. The placing of the Tiaraju assemblage in the biostratigraphic scheme of the Passa Dois Group bivalve biozones is still in dispute, since our results groups together bivalves species that are not commonly found in the same assemblage. Also, the occurrence of Tiaraju fauna adds evidence that during certain times

in the geological history of the Paraná Basin, the bivalve species were not geographically restricted to certain areas within it.

4. DISCUSSÃO INTEGRADA

4.1. INTRODUÇÃO

A análise dos dados do Grupo Pão de Açúcar, realizada a partir da metodologia proposta, permitiu identificar as principais tendências de comportamento dos consumidores, bem como as oportunidades de melhoria para a empresa. Os resultados obtidos indicam que a maioria dos consumidores valoriza a qualidade dos produtos e a variedade de opções disponíveis. Além disso, a facilidade de acesso aos produtos e a rapidez no atendimento são fatores importantes para a satisfação do cliente. A análise também revelou que a empresa possui uma boa reputação no mercado e que os consumidores estão dispostos a pagar um preço mais elevado por produtos de qualidade superior. Esses resultados são muito importantes para a empresa, pois permitem que ela tome decisões estratégicas baseadas em dados e que melhore continuamente sua oferta de produtos e serviços.

Os resultados também indicam que a empresa possui uma boa reputação no mercado e que os consumidores estão dispostos a pagar um preço mais elevado por produtos de qualidade superior. Esses resultados são muito importantes para a empresa, pois permitem que ela tome decisões estratégicas baseadas em dados e que melhore continuamente sua oferta de produtos e serviços. A análise também revelou que a empresa possui uma boa reputação no mercado e que os consumidores estão dispostos a pagar um preço mais elevado por produtos de qualidade superior. Esses resultados são muito importantes para a empresa, pois permitem que ela tome decisões estratégicas baseadas em dados e que melhore continuamente sua oferta de produtos e serviços.

Os resultados também indicam que a empresa possui uma boa reputação no mercado e que os consumidores estão dispostos a pagar um preço mais elevado por produtos de qualidade superior. Esses resultados são muito importantes para a empresa, pois permitem que ela tome decisões estratégicas baseadas em dados e que melhore continuamente sua oferta de produtos e serviços.

PARTE 4

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4. DISCUSSÃO INTEGRADA

4.1. BIOESTRATIGRAFIA

A fauna de bivalves do Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná é caracterizada por uma evolução *in situ*, apresentando um alto grau de endemismo, em associação com as variações do nível do mar e com as mudanças paleogeográficas que acompanharam o progressivo isolamento geográfico da bacia durante o Permiano (Beurlen, 1954; Runnegar & Newell, 1971; Simões *et al.*, 1998). Seu alto grau de endemismo, associado com uma grande disparidade morfológica apresentada pelos seus elementos, tornam esta fauna uma potencial ferramenta para utilização em estudos de cunho bioestratigráficos (para maiores detalhes, veja Anexo 2).

O conhecimento bioestratigráfico atual da fauna de bivalves do Grupo Passa Dois baseia-se nas zonas bioestratigráficas informais sugeridas por Rohn (1994). Segundo esta autora, os bivalves do Grupo Passa Dois estão distribuídos nas biozonas de: *Anhemia froesi* (porção basal da Formação Serra Alta), *Pinzonella illusa* (porção superior da Formação Serra Alta, além das porções basal e média da Formação Teresina/Corumbataí), *Pinzonella neotropica* (porção superior da Formação Teresina), *Leinzia similis* (porções basal e média do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto) e *Paleomutela? platinensis* (porção superior do Membro Serrinha, além das porções basal e média do Membro Morro Pelado, Formação Rio do Rasto) (Fig. 1).

No entanto, Rohn (1994) sugeriu que a porção basal do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto, provavelmente poderia representar a amplitude estratigráfica de uma nova biozona, situada entre as biozonas de *P. neotropica* e *L. similis*. O melhor registro desta provável biozona é encontrado no afloramento situado no km 44,6 da rodovia PR-239, entre as cidades de Cândido de Abreu e Reserva, no estado do Paraná. A análise sistemática da assembleia de bivalves deste afloramento, descrita no Anexo 2 deste

documento, revelou relevantes dados que auxiliam no embasamento da hipótese sugerida por Rohn (1994).

De acordo com nossos resultados, a fauna do km 44,6 (rodovia 239) é composta pelas espécies de *Terraia curvata*, *Terraia bipleurra*, *Asterloopsis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* e *Comperesia emerita* (para discussões específicas sobre cada espécie veja Anexo 2). O gênero *Terraia* é a forma de bivalve dominante, com uma expressiva predominância de espécimes atribuíveis à *Terraia curvata*. É importante ressaltar que não foi observada a presença de bivalves relacionados aos elementos típicos da Biozona de *Leinzia similis* (e.g., *Leizzia similis* e *Terraia altissima*) na assembleia estudada.

A amplitude estratigráfica de algumas espécies identificadas nesta fauna aparenta estar relacionada com o intervalo estratigráfico correspondente à porção basal da Formação Rio do Rasto, Membro Serrinha. Entre elas inclui-se *Terraia curvata*, *Asterloopsis prosoclina*, *Leinzia curta* e *Beurlenella elongatella*. De acordo com o conhecimento atual da bioestratigrafia do Grupo Passa Dois, estas espécies não são reportadas em outras assembleias de bivalves desta unidade sedimentar.

Todos os bivalves previamente registrados na porção basal do Membro Serrinha (Formação Rio do Rasto) eram anteriormente atribuídos à Biozona de *Leinzia similis*. No entanto, a presença de bivalves cujas espécies estão possivelmente relacionadas somente com a amplitude estratigráfica da porção basal da Formação Rio do Rasto, adicionalmente à ausência de bivalves típicos da Biozona de *Leinzia similis* na fauna do quilômetro 44,6 (PR-239), indicam que a porção basal do Membro Serrinha representa a amplitude estratigráfica de uma nova biozona, assim como proposto por Rohn (1994).

É importante ressaltar que, embora os resultados presentes no Anexo 2 sejam relacionados à análise da assembleia de bivalves do quilômetro 44,6 (PR-239), esta ocorrência representa o melhor registro da fauna de bivalves da porção basal do Membro Serrinha e, de fato, apresenta registros correlacionáveis em outras regiões da Bacia do

Paraná (veja mais detalhes em Rohn, 1994). Uma vez que *Terraia curvata* é a forma de bivalve mais comum encontrada nesta nova assembleia, sugere-se que esta nova biozona seja nomeada como Biozona de *Terraia curvata*, tendo sua amplitude estratigráfica relacionada com o primeiro e o último registro sedimentar desta espécie.

A assembleia de bivalves da porção basal do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto inclui formas atribuíveis aos carditídeos (=veneroidas em trabalhos anteriores) e aos pachidomídeos (megadesmídeos em trabalhos anteriores). De acordo com Simões *et al.* (1998), estes são os grupos com maior representatividade na história geológica dos bivalves do Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná. No entanto, é interessante observar que a assembleia da porção basal do Membro Serrinha apresenta uma fauna cuja afinidade sistemática predominante é relacionada aos carditídeos (*T. curvata*, *T. bipleuria*, *A. prosoclinia*).

Esta mesma característica não é observada nas biozonas de bivalves subjacentes do Grupo Passa Dois. Na realidade, a composição faunística das biozonas de *Anhembia froesi*, *Pinzonella illusa* e *Pinzonella neotropica* apresenta grande proporção de pachidomídeos (=megadesmídeos) como elementos predominantes (Simões *et al.*, 1998). Esta diferença entre a fauna da porção basal do Membro Serrinha em relação às biozonas subjacentes, possivelmente poderia estar associado com uma renovação da fauna de bivalves durante a história geológica dos bivalves do Grupo Passa Dois.

Esta interpretação coaduna com o fato de que muitos elementos típicos das biozonas subjacentes de *Pinzonella illusa* e *Pinzonella neotropica* (e.g., *Pinzonella*, *Naiadopsis*) estão ausentes nos depósitos da Formação Rio do Rasto. De fato, somente poucas espécies de bivalves destas unidades são reportadas nesta Formação (e.g., *Couperesia emerita*), tomando quase a totalidade de bivalves descritos na Formação Rio do Rasto endêmicos à esta unidade sedimentar.

Beurlen (1954), Rohn (1994) e Simões *et al.* (1998) abordaram e discutiram que de fato existe uma diferença entre a composição da fauna de bivalves registrada na Formação

Rio do Rasto e nas formações subjacentes do Grupo Passa Dois. Esses autores sugeriram que tal modificação estaria provavelmente associada com um alto estresse ambiental relacionado ao final da regressão e do isolamento geográfico da Bacia do Paraná durante o Permiano, o que provavelmente tornou os ambientes cada vez mais dulcícolas (Beurlen, 1954; Rohn, 1994; Simões *et al.*, 1998). Dessa maneira, as espécies das biozonas de *P. illusa* e *P. neotropica* desapareceram em quase sua totalidade em virtude de mudanças ambientais que impossibilitaram a sobrevivência dos mesmos, as quais, por outro lado, seriam vantajosas para o estabelecimento das faunas das biozonas de *T. curvata*, *L. similis* e *P. platinensis*.

A assembleia de bivalves da região de Tiaraju, Formação Teresina, apresenta alguns táxons que também estão presentes na composição faunística do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto. Em Tiaraju, foram reportadas as espécies de *Terraia falconeri*, *Holdhausiella elongata*, *Couperesia emerita* e *Terraia altissima*. Até o presente momento, esta ocorrência representa a única assembleia conhecida de bivalves do Grupo Passa Dois em depósitos sedimentares desta unidade na região do Rio Grande do Sul.

O posicionamento da assembleia de bivalves de Tiaraju no esquema bioestratigráfico do Grupo Passa Dois (Fig. 1) ainda é questionável, uma vez que os resultados apresentados no Anexo 3 reúne espécies de bivalves que comumente não são encontradas em uma mesma assembleia. *Terraia falconeri* foi registrada por Cox (1934) e Beurlen (1953) em depósitos da Formação Teresina no Uruguai e Brasil, relacionados à amplitude estratigráfica da Biozona de *Pinzonella neotropica*. Por sua vez, *Holdhausiella elongata* é comumente documenta em depósitos da Biozona de *P. illusa*, cuja amplitude estratigráfica está relacionada à porção superior da Formação Serra Alta e à porção basal e media da Formação Teresina/Corumbataí (Fig.1). Entretanto, alguns raros espécimes foram registrados na amplitude da Biozone *P. neotropica* (Rohn, 1994; Simões *et al.*, 1998). E por fim, *Couperesia emerita* e *Terraia altissima* são comumente reportadas em assembleias

presentes no Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto. Dessa maneira, a ocorrência dessas quatro espécies em um mesmo depósito do Grupo Passa Dois é incomum.

É importante ressaltar que Klein (1997) e Klein *et al.* (1999) não encontraram evidências de depósitos do Membro Serrinha na região de Tiaraju. Estes autores somente identificaram facies correlacionáveis com o Membro Morro Pelado da Formação Rio do Rasto, além de descreverem a presença de um contato abrupto entre as formações Teresina e Rio do Rasto na região. Dessa maneira, a porção próxima ao topo da Formação Teresina em Tiaraju poderia ser crono-correlata ao Membro Serrinha (Formação Rio do Rasto) de outras áreas da Bacia do Paraná, como Santa Catarina e Paraná. Essa interpretação poderia constituir uma possível explicação para o fato da fauna de bivalves de Tiaraju apresentar uma assembleia incomum de espécies de ambas as unidades estratigráficas.

Os resultados sistemáticos apresentados neste documento para as faunas de Tiaraju, Formação Teresina e do km 44.6, porção basal da Formação Rio do Rasto, contribuem para o estabelecimento da biocorrelação entre estes depósitos e a Formação Gai-as, do Permiano da Namíbia, uma vez que David *et al.* (2011) identificou formas relacionadas à *Comperesia emerita*, *Terraia curvata* e *Terraia altissima* nos depósitos desta formação africana. A datação de grãos de zircão presentes em tufos vulcânicos localizados na porção superior da Formação Gai-As revelou uma idade de aproximadamente 265 ± 2.5 Ma (Holsfoerster 2000, 2002; Wanke 2000), um intervalo equivalente ao limite entre o Wordiano e o Capitaniano. Dessa maneira, a biocorrelação entre os depósitos da Namíbia e da Bacia do Paraná sugerem uma idade cujo limite seria o Permiano Médio para os depósitos da porção basal do Membro Serrinha e para a porção superior da Formação Teresina na região de Tiaraju.

4.2. PALEOBIOGEOGRAFIA

O conhecimento atual sobre a distribuição das faunas dos bivalves do Grupo Passa Dois envolve ocorrências no Brasil (*e.g.*, Reed, 1929; Mendes, 1954; Mezzarila, 1957; Maranhão, 1986; Rohn 1994), Uruguai (*e.g.*, Cox, 1934; Morton & Herbst, 1990), Paraguai (Reed, 1935), Argentina (Leanza, 1948), Namíbia (David *et al.*, 2011) e África do Sul (Cooper & Kensley, 1984; veja comentários abaixo). No Brasil, as ocorrências relatadas na literatura estão distribuídas nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Mato Grosso. Até o momento, a fauna de bivalves de Tiaraju representa os únicos bivalves do Grupo Passa Dois documentados no estado do Rio do Grande do Sul. Este registro adiciona importante evidência para a hipótese de que, durante tempos específicos da história geológica da Bacia do Paraná, as espécies de bivalves não estavam geograficamente restritas a certas áreas da bacia (mais detalhes em Simões *et al.*, 2010).

Simões *et al.* (2010) discutiu os fatores que provavelmente estariam envolvidos na distribuição dos bivalves do Grupo Passa Dois durante intervalos específicos de tempo na história geológica da Bacia do Paraná. Estes autores argumentaram que provavelmente existiria uma possível associação entre a máxima dispersão da fauna com intervalos de aumento do nível da água na Bacia (“transgressões”), enquanto o isolamento da fauna estaria associado com intervalos de diminuição do nível de água (“regressões”). De fato, flutuações no nível da água em habitats rasos têm sido comumente associadas com variações na diversidade e distribuição espacial de faunas durante o Fanerozóico (*e.g.*, Newell, 1967; Simberloff, 1974; Flessa & Sepkoski, 1978; Bayer & McGhee, 1985; Jablonski, 1986; Brett & Baird, 1995; Brett, 1998).

Na sucessão estratigráfica do Grupo Passa Dois, na região de Tiaraju, a concentração fossilífera de bivalves é encontrada somente na porção superior da Formação Teresina. Notavelmente, Klein *et al.* (1999) realizou um estudo de estratigrafia de sequência e identificou a porção superior da Formação Teresina como a última transgressão na

história geológica desta unidade na região de Tiaraju. Dessa maneira, a fauna de bivalves de Tiaraju se encontra associada com um intervalo transgressivo, no qual provavelmente ocorreu a dispersão de faunas que estavam evoluindo em outras regiões da bacia. Em outras palavras, esta fauna pode ser considerada como um exemplo de fauna regional dentro do grande lago-mar da Bacia do Paraná durante o intervalo de tempo geológico do Grupo Passa Dois.

Por sua vez, a fauna de bivalves da Formação Waterford, Bacia do Karoo, África do Sul representa a primeira documentação de bivalves do Grupo Passa Dois fora da Bacia do Paraná, realizada por Cooper & Kenlsey (1984). No entanto, de acordo com os resultados descritos no Anexo 1, a fauna de bivalves da África do Sul é composta por táxons que aparentemente são distintos daqueles presentes na Bacia do Paraná. No momento, estes bivalves são mantidos em nomenclatura aberta. Portanto, não foi possível atestar uma clara vinculação entre essa fauna e as das assembleias permianas do Grupo Passa Dois, diferentemente do que ocorre com a fauna de bivalves da Formação Gai-As, Bacia Huab, Namíbia (veja David *et al.*, 2011).

Dessa maneira, as hipóteses expostas em Cooper & Kensley (1984), de que a assembleia sul-africana apresentaria mistura temporal e espacial e seria lateralmente transportada para porções mais distais da bacia pela instabilidade dos depósitos das frentes deltaicas, não puderam ser confirmadas. Além disso, é notável que não ocorram na fauna sul-africana os gêneros mais comuns, abundantes e amplamente distribuídos (vertical e horizontalmente) na porção sul americana da Bacia do Paraná. Portanto, é possível que a fauna sul-africana represente também uma fauna regional de caráter altamente endêmico.

4.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAYER, U. & MCGHEE, G.R. 1985. Evolution in marginal epicontinental basins: The role of phylogenetic and ecologic factors (Ammonite replacements in the German Lower and Middle Jurassic). Pp. 164–220 *In*: U. Bayer and A. Seilacher, eds. Sedimentary and evolutionary cycles. Springer, New York.
- BEURLEN, K., 1954. Horizontes fossilíferos das camadas Serra Alta do Paraná, *Boletim da Divisão Geológica e Mineralógica*, DNPM, 152, 1-30.
- BEURLEN, K., 1953. *Considerações sobre alguns lamelibrânquios das camadas Tereziña, no Paraná*. Divisão Geológica e Mineralógica do Brasil, 142, 41pp.
- BRETT, C. E. 1998. Sequence stratigraphy, paleoecology, and evolution: biotic clues and responses to sea level fluctuations. *Palaios*, 13, 241–262.
- BRETT, C. E. & BAIRD, G.C. 1995. Coordinated stasis and evolutionary ecology of Silurian to Middle Devonian faunas in the Appalachian Basin. Pp. 285–315 *In*: D. H. Erwin and R. L. Anstey, eds. New approaches to speciation in the fossil record. Columbia University Press, New York.
- COOPER, M.R. & KENSLEY, B., 1984. Endemic South America Permian bivalve mollusks from the Ecca of South Africa. *Journal of Paleontology*, 58, 1360-1363.
- COX, L.R., 1934. Triassic Lamellibranchia from Uruguay. *Annals and Magazine of Natural History*, 13, 264–273.
- DAVID, J.M.; SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E.; ROHN, R. & HOLZFOERSTER, F., 2010. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: systematics, taphonomy and biostratigraphy. *Alcheringa*, 35, 497-516.
- FLESSA, K. W. & SEPKOSKI, J. J., 1978. On the relationship between Phanerozoic diversity and changes in habitable area. *Paleobiology*, 4, 359–366.

- HOLZFÖRSTER, F., 2000. *Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia*. Tese de Doutorado, University of Würzburg.
- HOLZFÖRSTER, F., 2002. Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia. *Beringeria*, 30, 1-144.
- JABLONSKI, D. & FLESSA, K.W., 1986. The taxonomic structure of shallow-water marine faunas: implications for Phanerozoic extinctions. *Malacologia*, 27, 43-66.
- KLEIN, C., 1997. *Contribuição ao estudo das concentrações fossilíferas do Grupo Passa Dois na região de Tiarajú, RS e suas implicações paleoambientais*. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado, 132 p.
- KLEIN, C.; LEIPNITZ, I.I. & NOWATZKI, C.H., 1999. Fácies sedimentares e observações bioestratinômicas das concentrações fossilíferas da Formação Teresina na região de Tiaraju, RS, Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 23(49), 75-92.
- LEANZA, A.F, 1948. El llamado Triassico marino de Brasil, Paraguay, Uruguay y la Argentina. *Revista de la Asosiation Geologica da Argentina*, 3(3), 219-244.
- MARANHÃO, M.S.A.S., 1986. *Contribuição ao conhecimento da malacofauna das camadas basais da Formação Corumbataí (Permiano), Estado de São Paulo*. 88p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENDES, J.C.M., 1954. Contribuição à estratigrafia da Série Passa Dois no Estado do Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 175 (Geologia 10), 1-119.
- MEZZALIRA, S., 1957. Ocorrências fossilíferas novas da Série Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 1, 15-34.

- MORTON, L.S. & HERBST, R. 1990. *Leinzia similis* (HOLDHAUS), (PELECYPODA) del Permico Superior (Formacion Yaguai) del Uruguay. *Revista de la asociacion de Ciencias Naturales del Litoral*, 21 (1), 95-97.
- NEWELL, N.D. 1967. Revolutions in the history of life. *In*: C. C. Albritton Jr., ed. Uniformity and simplicity: a symposium on the principle of the uniformity of nature. Geological Society of America Special Paper 89:63-91.
- REED, F.R.C., 1929. Faunas Triassicas do Brasil. *Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, 9, 1-83.
- REED, F.R.C., 1935. Some Triassic lamellibranchs from Brazil and Paraguay. *Geological Magazine* 72, 33-42.
- ROHN, R., 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. 480p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RUNNEGAR, B. & NEWELL, N.D., 1971. Caspian- like relict moluscan fauna in the South America Permian. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 146, 1-66.
- SIMBERLOFF, D. 1974. Permo-Triassic extinctions: effects of an area on biotic distributions. *Journal of Geology*, 82, 267-274.
- SIMÕES, M.G.; ROCHA-CAMPOS, A.C. & ANELLI, L.E., 1998. Paleocology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. *In*: JOHNSTON, P.A.; HAGGART, J.W. (Ed.) *Bivalves - An Eon of evolution: paleobiological studies honoring Norman D. Newell*. Calgary: University of Calgary Press, 443-452.
- SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E. & DAVID, J.M., 2010. *Othonella araguaiana* (Bivalvia, Megadesmidae) from the Corumbataí Formation (Middle Permian), eastern margin of the Paraná Basin: systematical, evolutionary and biostratigraphical significances. *Revista do IG*, 10(2), 45-55.

WANKE, A., 2000. *Karoo- Etendeka Uncoformites in NW Namibia and their Tectonic Implications*. Tese de Doutorado, Würzburg University, Alemanha.

[Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side.]

PARTE 5

CONCLUSÕES

5. CONCLUSÕES

Os resultados e discussões expostos neste documento certamente contribuem para as discussões referentes ao entendimento de questões sistemáticas, paleoambientais, paleobiogeográficas e bioestratigráficas sobre as faunas de bivalves do Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná e de unidades gondvânicas coevas do continente africano (Formação Waterford). As sínteses das conclusões geradas pelos principais resultados e discussões propostos neste presente documento de doutoramento seguem listadas abaixo:

- A fauna do km 44,6 (rodovia 239), da porção basal do Membro Serrinha, Formação Rio do Rasto constitui o melhor registro de uma nova biozona situada entre as biozonas de *Pinzonella neotropica* e *Leinzia similis*.

- A composição faunística desta fauna compreende as espécies de *Terraia curvata*, *Terraia bipleura*, *Asterlophis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* e *Cowperesia emerita*.

- O gênero *Terraia* é a forma de bivalve dominante encontrada na fauna do km 44,6 (rodovia 239), com uma expressiva predominância de espécimes atribuíveis à *Terraia curvata*. Elementos típicos da Biozona de *Leinzia similis* (e.g., *Leinzia similis* e *Terraia altissima*) não foram encontrados nesta assembleia.

- A amplitude estratigráfica de *Terraia curvata*, *Asterlophis prosoclina*, *Leinzia curta* e *Beurlenella elongatella* aparenta estar relacionada com o intervalo estratigráfico correspondente à porção basal da Formação Rio do Rasto, Membro Serrinha.

- A presença de bivalves cujas espécies estão possivelmente relacionadas somente com a amplitude estratigráfica da porção basal da Formação Rio do Rasto, adicionalmente à ausência de bivalves típicos da Biozona de *Leinzia similis* na fauna do quilômetro 44,6 (PR-239), indicam que a porção basal do Membro Serrinha representa a amplitude estratigráfica de uma nova biozona, denominada Biozona de *Terraia curvata*.

- A Biozona de *Terraia curvata* apresenta uma grande proporção de bivalves

relacionados aos carditideos (=veneroidea), possivelmente registrando uma renovação da fauna de bivalves durante a história geológica do Grupo Passa Dois.

- A assembleia de bivalves da região de Tiaraju, Formação Teresina, representa até o presente momento, a única assembleia conhecida de bivalves do Grupo Passa Dois em depósitos sedimentares desta unidade na região do Rio Grande do Sul.

- O estudo sistemático da fauna de Tiaraju revelou a presença de *Terraia falconeri*, *Holdhausiella elongata*, *Conperesia emerita* e *Terraia altissima*.

- O posicionamento da assembleia de bivalves de Tiaraju no esquema bioestratigráfico do Grupo Passa Dois ainda é questionável, uma vez que a mesma reúne espécies de bivalves que comumente não são encontradas em uma mesma assembleia.

- Uma possível interpretação para o fato acima seria a possibilidade do topo da Formação Teresina em Tiaraju ser crono-correlata ao Membro Serrinha (Formação Rio do Rasto) de outras áreas da Bacia do Paraná, como Santa Catarina e Paraná. Dessa maneira, a fauna de bivalves de Tiaraju reuniria espécies de ambas as unidades estratigráficas.

- Tanto os resultados sistemáticos apresentados para as faunas de Tiaraju, Formação Teresina, e do km 44.6, porção basal da Formação Rio do Rasto, contribuem para o estabelecimento da biocorrelação entre estes depósitos e a Formação Gai-as, Namíbia, sugerindo uma idade cujo limite seria o Permiano Médio para estes depósitos da Bacia do Paraná.

- A documentação da fauna de bivalves de Tiaraju contribui para a hipótese de que durante tempos específicos da história geológica da Bacia do Paraná, as espécies de bivalves não estavam geograficamente restritas a certas áreas da bacia.

- A fauna de bivalves de Tiaraju se encontra associada a um intervalo transgressivo, no qual provavelmente ocorreu a dispersão de faunas que estavam evoluindo em outras regiões da bacia. Dessa forma, ela pode ser considerada como um exemplo de fauna

regional dentro do grande lago-mar da Bacia do Paraná durante o intervalo de tempo geológico do Grupo Passa Dois.

- De acordo com nossos resultados, a fauna de bivalves da Formação Waterford, África do Sul é composta por táxons que aparentemente são distintos daqueles presentes no Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná.

- Não foi possível atestar uma clara vinculação entre a fauna da Formação Waterford e as das assembleias permianas do Grupo Passa Dois, como proposto por Cooper & Kensley (1984). Dessa maneira, as hipóteses expostas em Cooper & Kensley (1984), de que a assembleia sul-africana apresentaria mistura temporal e espacial e seria lateralmente transportada para porções mais distais da bacia pela instabilidade dos depósitos das frentes deltaicas, não puderam ser confirmadas.

- É notável que não ocorram na fauna sul-africana os gêneros mais comuns, abundantes e amplamente distribuídos (vertical e horizontalmente) na porção sul americana da Bacia do Paraná. Portanto, é possível que a fauna sul-africana represente também uma fauna regional de caráter altamente endêmico.

5.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COOPER, M.R. & KENSLEY, B., 1984. Endemic South America Permian bivalve mollusks from the Ecca of South Africa. *Journal of Paleontology*, 58, 1360-1363.

É O QUE AINDA PRECISA SER FEITO

... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país...

... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país...

... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país...

... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país... a primeira vez que se debateu sobre o futuro do país...

PARTE 6

DESAFIOS PARA O FUTURO

6. O QUE AINDA PRECISA SER FEITO?

A despeito dos avanços obtidos neste documento em relação ao conhecimento da sistemática dos bivalves do Grupo Passa Dois, é evidente que ainda restam diversos táxons (e.g., *Anhembia*, *Maackia*) e assembleias que necessitam ser descritos e/ou revisados. Em especial, revela-se de grande importância para o entendimento da evolução dos bivalves do Grupo Passa Dois a investigação da malacofauna do Membro Morro Pelado, da Formação Rio do Rasto, atribuída à biozona de *Palaeomutela? Platinensis* (Rohn, 1994; Simões *et al.*, 1998).

Esta assembleia constitui o registro mais jovem de bivalves no Grupo Passa Dois e aparenta conter elementos que evoluíram *in situ*, a partir de formas marinhas ou de águas salobras, além de formas cosmopolitas, tipicamente de águas doces (Simões *et al.*, 1998). Dentre essas formas, estão os táxons reconhecidos como *Religiicola delicata*, a qual aparenta corresponder a um típico megadesmídeo, na concepção de Simões *et al.* (1997), bem como *Nothoterra acarinata*, que se assemelha a um veneroide. Ambos os táxons são informalmente conhecidos desde 1985, a partir de apresentação da Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies (IGCE/UNESP), no Congresso Brasileiro de Paleontologia, Fortaleza, CE, cujos anais nunca foram oficialmente publicados. Assim, esses táxons permanecem não descritos de acordo com as normas do Código Internacional de Nomenclatura Zoológica.

Portanto, a biozona de *Palaeomutela? platinensis* poderia conter as evidências necessárias para comprovação dos modelos evolutivos sintetizados em Simões *et al.* (1998), as quais demonstrariam a evolução de formas de águas doces a partir de ancestrais marinhos, à moda do que ocorreu com os bivalves neógenos do Paratétis. Dessa maneira, dentre os objetivos imediatos para o futuro, incluem-se:

a- Descrição da malacofauna do Membro Morro Pelado da Formação Rio do Rasto, (Grupo Passa Dois), segundo o material coletado por Rohn (1994) e Warren *et al.* (2008), nos estados do Paraná e Santa Catarina e,

b- Estudo tafonômico e paleoautoecológico dos bivalves do Membro Morro Pelado da Formação Rio do Rasto, com a finalidade de interpretar o caráter paleoautoecológico da fauna e suas relações com as condições deposicionais, investigando as implicações evolutivas e bioestratigráficas dos resultados obtidos.

6.1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ROHN, R., 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. 480p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SIMÕES, M.G.; MARQUES, A.C.; MELLO, L.H.C. & ANELLI, L.E., 1997. Phylogenetic analysis of the genera of the extinct family Megadesmidae (Pelecypoda, Anomalodesmata), with remarks on its paleoecology and taxonomy. *Journal of Comparative Biology*, 2, 75-90.
- SIMÕES, M.G.; ROCHA-CAMPOS, A.C. & ANELLI, L.E., 1998. Paleoecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: JOHNSTON, P.A.; HAGGART, J.W. (Ed.) *Bivalves - An Eon of evolution: paleobiological studies honoring Norman D. Newell*. Calgary: University of Calgary Press, 443-452.
- WARREN, L.V.; ALMEIDA, R.P.; HACHIRO, J.; MACHADO, R.; ROLDAN, L.F.; STEINER, S.S. & CHAMANI, M.A.C., 2008. Evolução sedimentar da Formação Rio do Rasto (Permo-Triássico da Bacia do Paraná) na porção centro sul do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, 38, 213-227.

ANEXO 1

ARTIGO 1

LOCKED IN A HUGE EPEIRIC SEA: THE ENDEMIC SOUTH AMERICAN
PERMIAN BIVALVES FROM THE ECCA GROUP OF SOUTH AFRICA
REVISITED

MARCELLO GUIMARÃES SIMÕES

Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Distrito de Rubião Junior, Botucatu, SP, Brasil.

<profmgsimoes@gmail.com>

JULIANA MACHADO DAVID

Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geotectônica, Universidade de São Paulo, SP,

Brasil. <julianamdavid@gmail.com.br>

LUIZ EDUARDO ANELLI

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil.

<anelli@usp.br>

ABSTRACT

During the Late Paleozoic, large areas of the western Gondwana (Paraná Basin, South America, Karoo and Huab basins, South Africa and Namibia) were covered by a huge inland sea. In the Early-Middle Permian, this large epeiric sea was either isolated or had a restricted connection to the Permian oceans. Benthic marine faunas that thrived in this sea were mainly dominated by shallow burrowing bivalves, and evolved under conditions of extreme geographic isolation. Remarkable morphological disparity is shown, especially by the anomalodesmatans. Rocks of the Permian Passa Dois Group, Brazil, and coeval successions in Uruguay, Paraguay, and Argentina encompass the best records of that endemic fauna. Until the early 70's, at least 24 generic names were applied to the Paranean bivalves, none of these known outside the Paraná Basin. In the early 80's, M.R. Cooper and B. Kensley announced (but not described) the record of the Permian Paranean bivalves outside the South America. According to them, at least one conspecific taxon (*Naiadopsis lamellosus*) and others apparently congeners (*Leinzia*, *Casterella*, *Jacquesia*) were found in delta front deposits of the Waterford Formation, Ecca Group, South Africa. Curiously, the genera from three distinct Permian biozones of the Paraná Basin were amassed in a same South African assemblage. Yet, specimens of the most abundant and widely distributed Paranean genera (*Pinzonella*, *Terraia*, *Plesiocyprinella*) were not found in the South African fauna. Conversely, rare South American forms were reported (*Leinzia*, *Naiadopsis*). In the early 90's, this interpretation was hardly questioned by J.M. Dickins and others. Since then, the record of the endemic South American Permian bivalves in the Main Karoo Basin is questionable, since the South African assemblage remained undescribed. Here we revised the type material studied by M.R. Cooper and B. Kensley, which is deposited in the Iziko Museums of Cape Town, South Africa. Our results indicate that their taxonomic interpretations were flawed. Although apparently related to the Plesiocyprinellinae bivalves (the dominant group in the Paranean assemblages), the Karoo ones cannot be confidently

assigned to any known South American genera or species. The poorly diversified South African assemblage seems to be a regional variant of that of the Paraná Basin, also represented by their own endemic taxa (at least three distinct genera). Hence, the biocorrelation of the South African assemblage with those of the Permian bivalve biozones of the Passa Dois Group, Brazil, cannot be securely constrained.

1. INTRODUCTION

The Permian successions of the Paraná Basin (Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay), the Karoo basins of south-central Africa (sense Catuneanu *et al.*, 2005), including main Karoo (South Africa), and Huab (NW Namibia) basins were deposited during the Late Paleozoic, when large areas of the western Gondwana (South America and Africa) were covered by an extensive inland sea (Figs. 1 e 2). In the Early Permian, this large inland sea was either isolated or had a restricted connection to the Permian oceans (Runnegar and Newell, 1971; Cooper and Kensley, 1984). As demonstrated by the Permian succession of the Paraná Basin (ca 281–265 Ma, Holz *et al.*, 2010), this inland sea was shallow, with variable salinity regimes (hypersaline, brackish and freshwater) due to climatic changes (humid to arid: Rohn 1994, Holz *et al.*, 2010). As in the case of Paraná (Passa Dois Group) and Huab (Gai-as Formation) basins, benthic faunas within this inland sea were dominated by bivalve mollusks that flourished despite the conditions of high environmental stress (Mendes 1952, Runnegar and Newell 1971, Simões *et al.*, 1998).

Shells of the Permian bivalve mollusks from the Passa Dois Group, Paraná Basin are well known since the first report by White (1908). It is long known that the fauna holds one of the most spectacular examples of the molluskan-bearing long-lived lake/sea biotas (Wesseling, 2007). Indeed, the Passa Dois Group bivalves, especially those preserved in the Teresina and Corumbataí formations, which the shells are commonly silicified, rivals in terms of preservation with the most famous, and better studied, silicified bivalve faunas of the Permian World, including USA, Greece, China and Japan.

Until the publication of the benchmark monograph of Runnegar and Newell (1971), at least 24 generic names were applied to bivalves from the Permian Passa Dois Group (Serra Alta, Teresina, and Corumbataí formations) of the Paraná Basin. Notably, none of these names has been applied to species or genera found outside the Paraná Basin (Runnegar & Newell 1971). Hence, there were agreements in the literature that the fauna

evolved *in situ* under conditions of extreme geographic isolation. However, Cooper and Kensley (1984) were the first authors to record bivalves in the Permian delta front deposits of the South African Waterford Formation, Ecca Group (Karoo Basin), ascribing them to typical Permian genera and species of the Paraná Basin, including *Jacquesia elongata* (= *Holdhausiella elongata*), *Naiadopsis lamellosus*, *Casterella* cf. *gratiosa* and *Leinzia* cf. *froesi* (= *Anhembia* cf. *froesi*).

In this context, the data as recorded in Cooper and Kensley (1984) are significantly, since: a- it indicates that the diverse Passa Dois bivalve fauna is not endemic to Paraná Basin (Brazil, Uruguay and Paraguay) but also occurs in South Africa. This is in agreement with recent findings of Permian bivalve mollusks in the Gai-as Formation, including members of the Brazilian Passa Dois Group fauna (see David *et al.*, 2011); b- it allows for an extension of the environmental and evolutionary model proposed by Runnegar and Newell (1971) and Simões *et al.* (1998) to include the main Karoo Basin (plus the Paraná and Huab basins). c- Waterford bivalves could enable a more precise dating of the unusual Permian Paraná Basin molluscan fauna (see Cooper and Kensley, 1984).

Despite the comments and statements above, some authors, such as Dickins (1992, p. 989) and Rohn (1994), did not fully accept the Cooper and Kensley's identifications of the African forms. Indeed, some of these forms are morphologically distinct from the Brazilian counterparts. For example, South African *Naiadopsis* specimens are preserved as internal molds, as well as the remainder of Cooper and Kensley's material. According to these authors, this mode of preservation could possibly explain the lack of the umbonal carina in the South African *Naiadopsis* specimens, which is one of the main features of *Naiadopsis lamellosus*. However, this feature is present in internal molds of *Naiadopsis lamellosus* shells from the Permian Corumbataí Formation (Passa Dois Group, Paraná Basin), Brazil (Fig. 3), demonstrating that the preservation of the South African shells cannot be used as a reliable argument for the absence of that character. Hence, this may

indicate that the taxonomic assignment of the South African material to *Naiadopsis lamellosus*, may be viewed with caution.

The same is also true for other members of the Ecça molluskan fauna, as *Casterella* cf. *gratiosa* which actually reassembles *Itatamba praima*, a species described by Simões *et al.* (1997). Finally, the two most abundant Brazilian species that commonly occurs with the species that Cooper and Kensley identified (*Pinzonella illusa* and *P. neotropica*) were not recorded by these authors in the Ecça material (1984). As a result, this particular South African fauna needs to be fully revised and redescribed. Until this, the occurrence of Permian bivalves in common with the Paraná Basin (Brazil, Uruguay and Paraguay) is still questionable.

1.1. THE ISSUE

Most of the questions regarding Cooper and Kenley's identifications are connected to the fact that these authors compared and assigned those bivalves to the Paraná Basin species, but not formally described them. Actually, the Ecça material remains officially undescribed (*i.e.*, according to the rules of the ICZN). However, as demonstrated by David *et al.* (2011), there is a great potential for the occurrence of members of the Permian Passa Dois Group molluskan fauna outside South America. Indeed, fossil bivalves from two horizons in the Gai-as Formation of NW Namibia were correlated with mid-Permian taxa of the Passa Dois Group (Rio do Rasto Formation), supporting the arguments that the Paraná Basin extended into Africa and it's molluskan fauna is no longer endemic of South America (see also Cooper and Kensley, 1984).

In the Paraná Basin, benthic assemblages recording the "endemic" molluskan fauna are found in three geological units (Serra Alta, Teresina/Corumbataí and Rio do Rasto formations) of the Passa Dois Group. From the base to the top five assemblage biozones are recognized (Rohn, 1994; Simões *et al.*, 1998) (Fig. 4). The oldest occurrences are

recorded in the *Anhembia froesi* Biozone, Serra Alta Formation, nearly five meters above the top of the mesosaurid-bearing limestones and black shales of the Irati Formation. Recently, some bivalves of the *Leinzia similis* Biozone, Rio do Rasto Formation, were recognized in Namibia, Huab Basin. The presence of *Comperesia emerita* in these Namibian sediments, indicates a possible biocorrelation of the Permian Gai-as Formation with intervals of the lower portion (Serrinha Member) of the Rio do Rasto Formation (David *et al.*, 2011). Also, the occurrence of *Terraia* cf. *T. curvata* in the Namibian fauna may constitute additional evidence for the biocorrelation above. Radiometric dating of zircon grains from tuff beds within the top part of the Gai-As succession provide U/Pb ages of 265±2.5 Ma (Holzfoerster, 2000, 2002; Wanke, 2000). This age, according to the International Stratigraphic Chart of 2014 (Cohen *et al.*, 2013), corresponds to the Wordian/Capitanian boundary in the Guadalupian (Middle Permian). More significantly, recent U/Pb ages obtained from zircon grains from ash-fall beds in coeval Permian rocks of the Paraná Basin indicate ages of 267±17 Ma for the Teresina Formation, and 266.3±4.6 Ma for the Serrinha Member of the Rio do Rasto Formation (Rocha-Campos *et al.*, 2009).

If the taxonomic assignments of Cooper and Kensley (1984) are accepted as correct, the Ecça assemblage includes members of the *Anhembia froesi*, *Pinzonella illusa* and *P. neotropica* assemblage biozones (Teresina/Corumbataí Formations), which are recorded immediately below of the *Leinzia similis* Biozone (Fig. 4). Hence, the Waterford Formation molluscan fauna is older than 265±2.5Ma (mid-Permian). In other words, determination of the taxonomic composition of Waterford Formation bivalves, plus its biocorrelation with assemblage biozones of the Paraná Basin, Brazil and Gai-as Formation, NW Namibia, are potential to provide a solid dating for the Ecça molluscan fauna, which a mid-Permian age was already suggested by Cooper and Kensley (1984).

Even more important, the Ecça material in association with the Brazilian and Namibian shells are a potential to detailed biostratigraphy. As well known, bivalve moluscs

has a poor utility in high resolution biostratigraphy. This is due to the fact that individual mollusk species may persist for a long time (millions of years). However, those forms from ecologically isolated ecosystems, such as long-lived epeiric seas, could be an exception (see Wesselingh, 2007, 2008). As commented by Wesselingh (2008), “in such systems rapid evolution in unrelated lineages may drastically improve the utility of mollusks for detailed biozonation”. This is the potential case for the Passa Dois and *Ecca* bivalves.

2. GOALS

In the context discussed above, herein we describe by the first time, the bivalve specimens previously studied by Cooper and Kensley (1984), Waterford Formation, *Ecca* Group. We seek to determine the taxonomic composition, the affinities and age of the South African fauna. The paleoecologic significance of the fauna and their availability to establish inter-basinal correlations among time-equivalent rock strata of the Paraná Basin, Brazil are also discussed. Having this in mind the main goals of this contribution are: 1- to improve the knowledge of the taxonomic composition of the Waterford Formation molluscan fauna, as a fundamental basis for the establishment of its biocorrelation with bivalve assemblage biozones of the Permian Paraná Basin (Brazil, Uruguay, Paraguay and Argentina) deposits (Passa Dois Group); 2- to determine the paleogeographic distribution in space and time of the “endemic” molluscan fauna of the Passa Dois Group, Paraná Basin (Brazil, Uruguay, Paraguay and Argentina), by considering the extension of coeval occurrences in the Main Karoo Basin. This can allow for an extension of the environmental and evolutionary model proposed by Runnegar and Newell (1971) and Simões *et al.* (1998) to include the *Ecca* occurrences (plus the Huab Basin findings, NW Namibia, see below) and, finally, 3- to identify the paleoecologic signature of the fauna, checking for the dominance of megadesmid (*Anomalodesmata*) and crassatellacean (*Veneroida*) bivalves, whose attained high morphological disparity during their *in situ*

evolution in the intracratonic basins of Gondwanaland. Hence, these forms may be used as potential tools in detailed biostratigraphy.

3. MATERIAL AND METHODS

We revised the bivalve collection originally investigated by Cooper and Kensley (1984), which includes specimens that were found in dark grey limestones of the Waterford Formation by R. Oosthuizen at the Prince Albert area, in the southern Cape Province, South Africa. This material is now amassed in the Scientific Collection of the Iziko Museums of Cape Town, South Africa, under the codes PPK, K, 992 and 994. In total, 42 bivalve specimens including disarticulated as well as conjoined valves were detailed examined. Most of the specimens were originally extracted from the sedimentary matrix. Hence, no physical or chemical preparation was needed (see Feldmann *et al.*, 1989).

During the examination of the shells plasticine casts of most of the material were confectioned to enhance morphological characters, such as the hinge and muscle scars of the studied shells. The suprageneric systematics was based on Morris *et al.* (1991) and Carter *et al.* (2011). The morphological terminology and systematic classification of pachydomidis (=megadesmids in previous works) was based on Mendes (1952), Runnegar and Newell (1971), Runnegar (1974) and Simões *et al.* (1997). The index of elongation and obesity was interpreted following Stanley (1970).

4. SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

Infraclass HETEROCONCHIA Hertwig, 1895

Megaorder SOLENATA Dall, 1889

Order HIATELLIDA Carter, 2011

Superfamily EDMONDIOIDEA King, 1850

Family PACHYDOMIDAE Fischer, 1887

Subfamily PACHYDOMINAE Fischer, 1887

Tribe PLESIOCYPRINELLINI Simões *et al.*, 1997

Gen. et sp. indet. A (Fig. 5 A-G, J-N)

Material examined. Thirteen internal molds (PPK-5960a-c, 5964, 5969, 5972a, 5975, 5978; K-38b-d, 78a-b) and three external molds (K-38a; 992a-b).

Locality and unit. South Africa, Prince Albert, southern Cape Province, Waterford Formation, Ecca Group, Karoo Basin.

Age. Late Permian.

Description. Shell small to moderately small, equivalved, oblique, elongate to very elongate, compressed (Table 1). Umbones low, slightly projected above hinge line, beaks prosogyrous. Shallow umbonal sulcus runs vertically from umbonal region to reach the ventral margin. Internal molds with very weak and rounded umbonal slope. Anterior dorsal margin straight, slightly oblique; anterior auricle distinct, rounded, slightly detached from shell body by shallow furrow, immediately in front of umbonal region; ventral margin convex. Posterior margin rounded, with large posterior wing running from umbonal slope

to the straight posterior dorsal margin of shell. Surface sculpture of irregularly spaced commarginal rugae; growth lines weakly distinct in anterior region of some specimens. Muscle scars consisting of small, triangular well marked anterior adductor located close to anterior dorsal margin; posterior adductor, pedal scars and pallial line not observed; umbonal region crowded with accessory muscle pits scars. Hinge edentulous.

Discussion. Cooper and Kensley (1984) were the first authors to describe the *Ecca* bivalves and to correlate these specimens with bivalve species that are commonly found in the Permian Paraná Basin deposits. These authors noted a close resemblance in these specimens and the species *Naiadopsis lamellosus* Mendes, 1952, including the general shell shape and a distinctive set of scar pits in the umbonal region. However, if analyzed more carefully, *N. lamellosus* presents more quadrangular lateral profile, shell surface ornamented with very rough lamellae, and is more obese (Fig. 5H-I). Plus, the specimens of *N. lamellosus* exhibit a pronounced umbonal carina that is not present in the *Ecca* material. Cooper and Kensley (1984) noted this absence and associated this condition to the fact that the *Ecca* bivalves are preserved in internal molds and thus do not present this particular feature of the external shell of *N. lamellosus*. However, *N. lamellosus* are preserved as internal molds in the Corumbataí Formation, Paraná Basin, and yet presents a well-marked carinae as one of its features (Fig. 5H-I). Considering this, we do not associate the *Ecca* specimens with *Naiadopsis lamellosus*, designating them as Gen. et sp. indet. A. Additionally, some particular features of *Ecca* bivalves, including a very conspicuous set of scar pits over umbonal region and a small anterior adductor muscle, could possibly approach them to the Family Pachydomidae (=Megadesmidae in previous works), one of the most dominant mollusk family in the geological history of the Permian Paraná Basin.

Gen. et sp. indet. B (Fig. 6 A-L)

Type material. Eight internal molds (PPK-5910, 5957a-b, 5958, 5960d, 5968, 5974, 5976; K-78c), and two external molds (PPK-5957).

Locality and unit. South Africa, Prince Albert, southern Cape Province, Waterford Formation, Ecca Group, Karoo Basin.

Age. Late Permian.

Description. Shell moderately large to large, thin, as seen in fragments of shell material, equivalved, very elongated (Table 2). Umbones low not projected above hinge line. A well-defined umbonal carinae runs from beak to postero-ventral angle. Anterior dorsal margin straight, projected as a long anterior auricle, rounded at extremity. Anterior ventral margin oblique; posterior ventral margin straight. Posterior extremity pointed, with straight and oblique respiratory margin; postero-dorsal margin straight. Surface of shell fragments on internal molds with rough irregularly commarginal costae; growth lines weakly distinct. Hinge edentulous. Anterior adductor scar large, well impressed, slightly elongated, with irregularly posterior margin, oblique related to the long axis of shell; three others scars are present posteriorly, lined vertically, nearly circular in shape and well impressed; between them, three others possible weakly impressed scars are present; a deep furrow is present posteriorly to the sets of scars; pallial line thick, well impressed.

Discussion. The genus *Anhembia* is remarkably distinct of other Permian bivalves due to its unusual morphology, marked by a shell with well-developed anterior rostrum (Fig. 6M-P). *Anhembia gigantea* (Mendes, 1949) and *A. froesi* (Mendes, 1949) are the unique known

species of the genus. However, *A. gigantea* seems to be conspecific with *A. froesi*, as the two species are very similar and only distinguish by morphometric features that, in our opinion in this particular case, are not acceptable (Mezzalana *et al.*, 1990). In fact, the only known specimen of *A. gigantea* possibly represents a deformed specimen of *A. froesi* (Runnegar and Newell, 1971). The genus is recorded in the Permian Passa Dois Group, Paraná Basin, Brazil, with *A. gigantea* occurring in the basal portion of the Serra Alta Formation, and *A. froesi* in the chronocorrelated basal portion of the Corumbataí Formation. The presence of a small anterior rostrum in the Karoo material led Cooper and Kensley (1984) to assign them to *Anhemia froesi*. However, the general shell shape of the African material is not similar; the umbones are low and anteriorly placed. The anterior muscle scars are distinct (Fig. 6H, N) and the positions of the posterior carina are different in both shells. On the other hand, the ornamentation of the African and Brazilian is similar and characterized by rough irregularly spaced commarginal costae. Considering this, we assigned our material to Gen. et sp. indet. B.

Gen. et sp. indet. C (Fig. 7 A-K)

Type material. Fourteen internal molds (PPK-5959, 5961, 5962, 5963, 5965, 5971, 5972b-c, 5973a-b, 5977; 994a-b; K38e) and two external molds (992c; K78).

Locality and unit. South Africa, Prince Albert, southern Cape Province, Waterford Formation, Ecca Group, Karoo Basin.

Age. Late Permian.

Description. Shell moderately small to moderately large, equivalved, elongate, moderately inflated (Table 3). Umbones not strongly projected above hinge line, with slightly curved beaks. Lunule and escutcheon absent. A sharp and well-defined umbonal carina runs from beak to postero-ventral angle. Anterior dorsal margin concave, rounded at extremity. Ventral margin convex; posterior extremity bearing a short, straight and slightly oblique respiratory margin, possible with a small siphonal gape. Postero-dorsal margin straight. Surface of shell fragments with well-spaced commarginal rugae and thin growth lines. Ligament furrow short with strong nymphs. Hinge and muscle scars not observed.

Discussion. The *Ecca* material is very similar to *Tambaquyra camargoi* (Fig. 7 L) from the Permian of the Paraná Basin. *Casterella? camargoi* was first described by Beurlen (1954) to designate a unique specimen found in outcrops of the Permian strata of the Paraná State, correlated with the stratigraphic range of the *Anhembia froesi* Biozone, Paraná Basin. Later, Mezzalira (1957) and Maranhão (1986) suggested that some bivalve species recorded in the Corumbataí Formation, Paraná Basin, São Paulo State, could be designated under the species proposed by Beurlen (1954). More recently, Simões *et al.* (2000) reevaluated the validity of *Casterella? camargoi*, and based in new and well preserved specimens founded in the Serra Alta Formation, São Paulo State, designated this species under the new genus *Tambaquyra*. These authors argued that the lack of a commissural opening, the presence of a well-marked umbonal carinae and an odontoid thickening in the left valve, would justify *Tambaquyra* as a new genus. As commented above, the material here described is very comparable to *Tambaquyra camargoi*, presenting similar general shape, same pattern of external sculpture of shell, consisting on well-spaced commarginal rugae, umbones with slightly curved beaks, and sharp and well-defined umbonal carinae. However, the anterior portion of the shells of the South African species is more prolonged than that of Brazilian members of this species. In addition, as *Tambaquyra camargoi* from Paraná Basin presents a

well-preserved anterior muscle scar (Simões *et al.*, 2000) and an odontoid thickening in the left valve, features that are not visible in the Waterford bivalves, we designate them as *Gen. et sp. indet. C.*

5. BIOSTRATIGRAPHY AND CORRELATION

According to Cooper and Kensley (1984) the Waterford Formation bivalve fauna were composed by *Jacquesia elongata* (= *Holdhausiella elongata*), *Naiadopsis lamellosus*, *Leinzia cf. froesi* (= *Anhembia cf. froesi*) and *Casterella cf. gratiosa*. As commented above, in the Paraná Basin, benthic assemblages recording the “endemic” molluscan fauna are found in three geological units (Serra Alta, Teresina/Corumbataí and Rio do Rasto formations) of the Passa Dois Group. From the base to the top five assemblage biozones are recognized (Rohn, 1994; Simões *et al.*, 1998) (Fig.5). The oldest occurrences are recorded in the *Anhembia froesi* Biozone, Serra Alta Formation, nearly five meters above the top of the mesosaurid-bearing limestones and black shales of the Irati Formation.

In the Paraná Basin, the presence of the genus *Anhembia* is documented in the interval of the *Anhembia froesi* Biozone, in the basal portion of the Serra Alta Formation (Fig. 5). On the other hand, *Casterella* is found in the biozones of *A. froesi* and *Pinzonella illusa* (basal and middle portion of Teresina/Corumbataí formations), while *Naiadopsis* is commonly reported to the stratigraphic range of the *Pinzonella neotropica* Biozone (superior portion of the Teresina Formation). Thus, if the taxonomic assignments of Cooper and Kensley (1984) would be accepted as correct, the Ecça bivalve assemblage would be characterized by an unusual concentration of bivalve species that are not commonly found in the same assemblage. However, our results indicate that their taxonomic interpretations were flawed. Although apparently related to the Plesiocyprinellinae bivalves (the dominant group in the Paranean assemblages), the Karoo ones cannot be confidently assigned to any known South American genera or species. Because of that they are kept in open

nomenclature. The poorly diversified South African assemblage seems to be a regional variant of that of the Paraná Basin, also represented by their own endemic taxa (at least three distinct genera). Hence, the biocorrelation of the South African assemblage with those of the Permian bivalve biozones of the Passa Dois Group, Brazil, cannot be securely constrained.

6. SUMMARY

The typical South American Permian bivalve fauna of the Paraná Basin is well known since White (1918) and there were agreements in the literature that the fauna evolved *in situ* under conditions of extreme geographic isolation. Cooper and Kensley (1984) were the first authors to record bivalves in the Permian delta front deposits of the South African Waterford Formation, Ecca Group (Karoo Basin), ascribing them to typical Permian genera and species of the Paraná Basin. However, as commented above, the poorly diversified South African assemblage seems to be a regional variant of that of the Paraná Basin, also represented by their own endemic taxa (at least three distinct genera). Thus, considering our results, the biocorrelation proposed by Cooper and Kensley (1984) between the South African assemblage with those of the Permian bivalve biozones of the Passa Dois Group does not seem to be valid.

Nevertheless, it is noteworthy to emphasize that the Permian bivalve fauna of the Passa Dois Group, Paraná Basin was not confined to the South American portion of the Permian sea that covered the southern region of Gondwana. David *et al.* (2011) described elements of this unique fauna in sedimentary deposits of the Namibian Gai-As Formation. However, as highlighted by these authors, the best record of this fauna in terms of preservation, abundance and stratigraphic completeness is still found in Brazil.

7. ACKNOWLEDGMENTS

This study was financially supported by the State of São Paulo Research Foundation (FAPESP) and National Council for Research and Development (CNPq), through the projects: FAPESP-2011/01975-0, and CNPq-302903/2012-7. We thank Shallin Abraham (Iziko Museums of Cape Town, South Africa), for his assistance during our examination of the original bivalve collection studied by Cooper and Kensley (1984).

8. REFERENCES

- BEURLIN, K., 1954. Horizontes fossilíferos das camadas Serra Alta do Paraná, *Boletim da Divisão Geológica e Mineralógica*, DNPM, 152, 1-30.
- CARTER, J.G. & 50 others, 2011. A Synoptical Classification of the Bivalvia (Mollusca). Paleontological Contributions, Number 4. Publication of the University of Kansas, Lawrence, Kansas, 1-47.
- CATUNEANU, O., WOPFNER, H., ERIKSSON, P.G., CAINCROSS, B., RUBIDGE, B.S., SMITH, R.M.H., HANCOX, P.J., 2005. The Karoo Basins of south-central Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 43, 211-253.
- COOPER, M.R. AND KENSLEY, B., 1984. Endemic South America Permian bivalve mollusks from the Ecca of South Africa. *Journal of Paleontology*, 58, 1360-1363.
- COHEN, K.M., FINNEY, S.C., GIBBARD, P.L., FAN, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. Episodes 36, 199-204.
- DALL, W.H., 1889. On the hinge of pelecypods and its development, with an attempt toward a better subdivision of the group. *American Journal of Science*, 38, 445-462.
- DAVID, J.M., SIMÕES, M.G., ANELLI, L.E., ROHN, R., HOLZFOERSTER, F., 2011. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: Systematics, Taphonomy and Biostatigraphy. *Alcheringa*, 35, 497-516.

- DICKINS, J.M., 1992. Permian geology of Gondwana countries: An overview. *International Geology Review*, 34(10), 986-1000.
- FELDMANN, R.M., CHAPMAN, R.E., HANNIBAL, J.T., 1989. *Paleotechniques*. The Paleontological Society Special Publication, New York, 358p.
- HERTWIG, C.W.T.R., 1895. *Lehrbuch der Zoologie*. Gustav Fischer, Boulder, 599 pp.
- HOLZ, M., FRANÇA, A.B., SOUZA, P.A., IANNUZZI, R., ROHN, R., 2009. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South América, *Journal of South American Earth Sciences*. 29(2), 381-399.
- HOLZFÖRSTER, F., 2000. *Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia*. PhD thesis, University of Würzburg.
- HOLZFÖRSTER, F., 2002. Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia. *Beringeria*, 30, 1-144.
- MARANHÃO, M.S.A.S., 1986. *Contribuição ao conhecimento da malacofauna das camadas basais da Formação Corumbataí (Permiano), Estado de São Paulo*. 88p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENDES, J.C.M., 1949. Novos lamelibrânquios fósseis da Série Passa Dois, Sul do Brasil. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral*, 133, 1-40.
- MENDES, J.C., 1952. Formação Corumbataí na região do Rio Corumbataí (estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). *Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras*, 145, Série Geologia, 8, 1-119.
- MEZZALIRA, S., 1957. Ocorrências fossilíferas novas da Série Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 1, 15-34.

- MEZZALIRA, S.; MENDES, J.C., MARANHÃO, M.S.A.S., 1990. *Anhembia*: novo gênero de bivalves do Grupo Passa Dois- Permiano. *Revista do Instituto Geológico*, 11, 51-54.
- MORRIS N.J., DICKINS, J.M., ASTAFIEVA-URBAITIS, K., 1991. Upper Paleozoic Anomalodesmatan Bivalvia. *Bulletin of the British Museum of Natural History, (Geology)* 47, 51-100.
- ROCHA-CAMPOS, A.C., BASEI, M.A., DOS SANTOS, P.R., 2009. Depósitos de cinza vulcânica no Neopaleozóico da Bacia do Paraná: datação radiométrica (shrimp) e possíveis implicações cronoestratigráficas e paleoambientais. *Boletim de Resumos da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Paleontologia - Núcleo SP*, 1, 8-8.
- ROHN, R. 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. 2v. PhD Dissertation- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RUNNEGAR, B., 1974. Evolutionary history of the bivalve Subclass Anomalodesmata. *Journal of Paleontology*, 48, 904-939.
- RUNNEGAR, B. AND NEWELL, N.D., 1971. Caspian-like relict molluscan fauna in the South American Permian. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 146, 1-66.
- SIMÕES, M.G., MARQUES, A.C., MELLO, L.H.C., ANELLI, L.E., 1997. Phylogenetic analysis of the genera of the extinct Family Megadesmidae (Pelecypoda, Anomalodesmata), with remarks on its paleoecology and taxonomy. *Journal of Comparative Biology*, 2(2), 75-90.
- SIMÕES, M.G., ROCHA-CAMPOS, A.C., ANELLI, L.E., 1998. Paleoecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: JOHNSTON, P.A. and HAGGART, J.W. (eds) *Bivalves- An Eon of evolution: paleobiological studies honoring Norman D. Newell*, University of Calgary Press, Calgary, p. 443-452.

- SIMÕES, M.G., MELLO, L.H., TORELLO, F.F., GHILARDI, R.P. 2000. *Tambaquyra* gen. n. (Bivalvia, Anomaloedsmata), Formação Serra Alta (Neopermiano), Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista UNG, Série Geociências*, 6, 11-19.
- STANLEY, S.M., 1970. Relation of shell form to life habitats of the Bivalvia (Mollusca). *Memoir of the Geological Society of America*, 125, 1-296.
- WANKE, A., 2000. *Karoo- Etendeka Uncoformites in NW Namibia and their Tectonic Implications*. Ph.D. thesis, Würzburg University.
- WESSELINGH, F.P., 2007. Long-lived lake molluscs as island faunas: a bivalve perspective. In: RENEMA, W. Biogeography, time and place: distributions, barriers and islands. Dordrecht, Springer, p. 275-314.
- WESSELINGH, F.P., 2008. Molluscan radiations and landscape evolution in Miocene Amazonia. *Annales Universitates Turkuensis. Biologica-Geographica-Geologica* 232, 41p.
- WHITE, I.C., 1908. *Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil*. Rio de Janeiro: DNPM. 617p.

FIGURES CAPTIONS

Figure 1. Biostratigraphic correlations between the Early Permian sedimentary deposits of South Africa, Namibia and Brazil (modified from Wanke, 2000).

Figure 2. Schematic map of Huab and Main Karoo basins (modified from Catuneanu *et al.*, 2005).

Figure 3. A-B, *Naiadopsis lamellosus*, Paraná Basin, Brazil, showing the characteristic umbonal carina in internal molds. **C,** *Naiadopsis lamellosus*, Ecca Group, Waterford Formation, South Africa, figured by Cooper and Kensley, 1984.

Figure 4. Schematic chart of the Passa Dois Group, Permian, showing the bivalve Assemblage Biozones of the eastern margin of the Paraná Basin (based on Rohn, 1994, 2007).

Figure 5. A-G, J-N, Gen. et sp. indet. A, Ecca Group, Waterford Formation, Karoo Basin, Permian. **A,** Internal mold of right valve, K38b; **B,** Internal mold of right valve, PPK-5972; **C,** Internal mold of articulated valves, right valve view, PPK-5969; **D,** Internal mold of articulated valves, right valve view, PPK-5960a; **E,** External mold of left valve, plasticine cast, K38a; **F,** Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK-5978; **G,** Drawing representation of umbonal muscular scars, based in the same specimen; **H-I,** *Naiadopsis lamellosus*, Passa Dois Group, Corumbataí Formation, Paraná Basin, Permian. **H,** Internal

mold with shell remains of right valve, DZP-1972; **I**, Incomplete internal mold of right valve, evidencing the muscular scars over the umbonal region, DZP-1770; **J**, Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK-5964; **K**, Drawing representation showing the anterior adductor scar, based on the same specimen; **L**, Internal mold of right valve, K78a; **M**, External mold of right valve, plasticine cast, 992a; **N**, External mold of left valve, plasticine cast, 992b. All scale bars=1cm.

Figure 6. A-L, Gen. et sp. indet. B, Ecca Group, Waterford Formation, Karoo Basin, Permian. **A**, External mold of left valve, PPK-5957b; **B**, Plasticine cast of the same specimen; **C**, Drawing representation based on the same specimen; **D**, Plasticine cast of external mold of left valve, PPK-5957a; **E**, Plasticine cast, internal view of articulated hinge region, showing the absence of teeth, PPK-5974; **F**, Internal mold of articulated valves, left valve view, same specimen; **G**, Internal mold of articulated valves, left valve view evidencing the muscle scars, same specimen; **H**, Drawing representation of the muscle scars, same specimen; **I**, Internal mold of articulated valves, view of articulated hinge region, PPK-5976; **J**, Internal mold of the posterior region of left valve, PPK-5910; **K**, Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK-5968; **L**, Internal mold of articulated valves, right valve view, PPK-5976; **M-N**, *Anhembia gigantea*, Passa Dois Group, Serra Alta Formation, Paraná Basin, Permian. **M**, Internal mold of left valve, DGP-7- 91; **N**, Drawing representation of the muscle scars, same specimen; **O-P**, *Anhembia froesi*, Passa Dois Group, Serra Alta and Corumbataí Formation, Paraná Basin, Permian. **O**, Internal mold of left valve, DGP-7-90; **P**, Internal mold of left valve, IG/SMA-611-I. **aa**= anterior adductor; **as**= accessory scars; **lp**= pallial line. All scale bars=1 cm.

Figure 7. A-K, Gen. et sp. indet. C, Ecca Group, Waterford Formation, Karoo Basin, Permian. **A**, Internal mold of left valve, 994a; **B**, Internal mold of right valve, PPK-5972b; **C**, Internal mold of right valve, PPK-5973b; **D**, Internal mold of left valve, PPK-5972c; **E**, External mold of right valve, plasticine cast, 992c; **F**, Internal mold of right valve, 994b; **G**, Internal mold of left valve, PPK-5973a; **H**, Internal mold of articulated valves, left valve view, PPK- 5959; **I**, Internal mold of articulated valves, view of articulated hinge region with ligament area preserved (arrow), same specimen; **J**, External mold of right valve, plasticine cast, K78d; **K**, Internal mold of right valve, PPK-5963; **L**, *Tambaquyra camargoi*, Passa Dois Group, Serra Alta Formation, Paraná Basin, Brazil. Internal mold of right valve, DZP-2250. All scale bars=1 cm.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Measurements of Gen. et sp. indet. A.

Table 2. Measurements of Gen. et sp. indet. B.

Table 3. Measurements of Gen. et sp. indet. C.

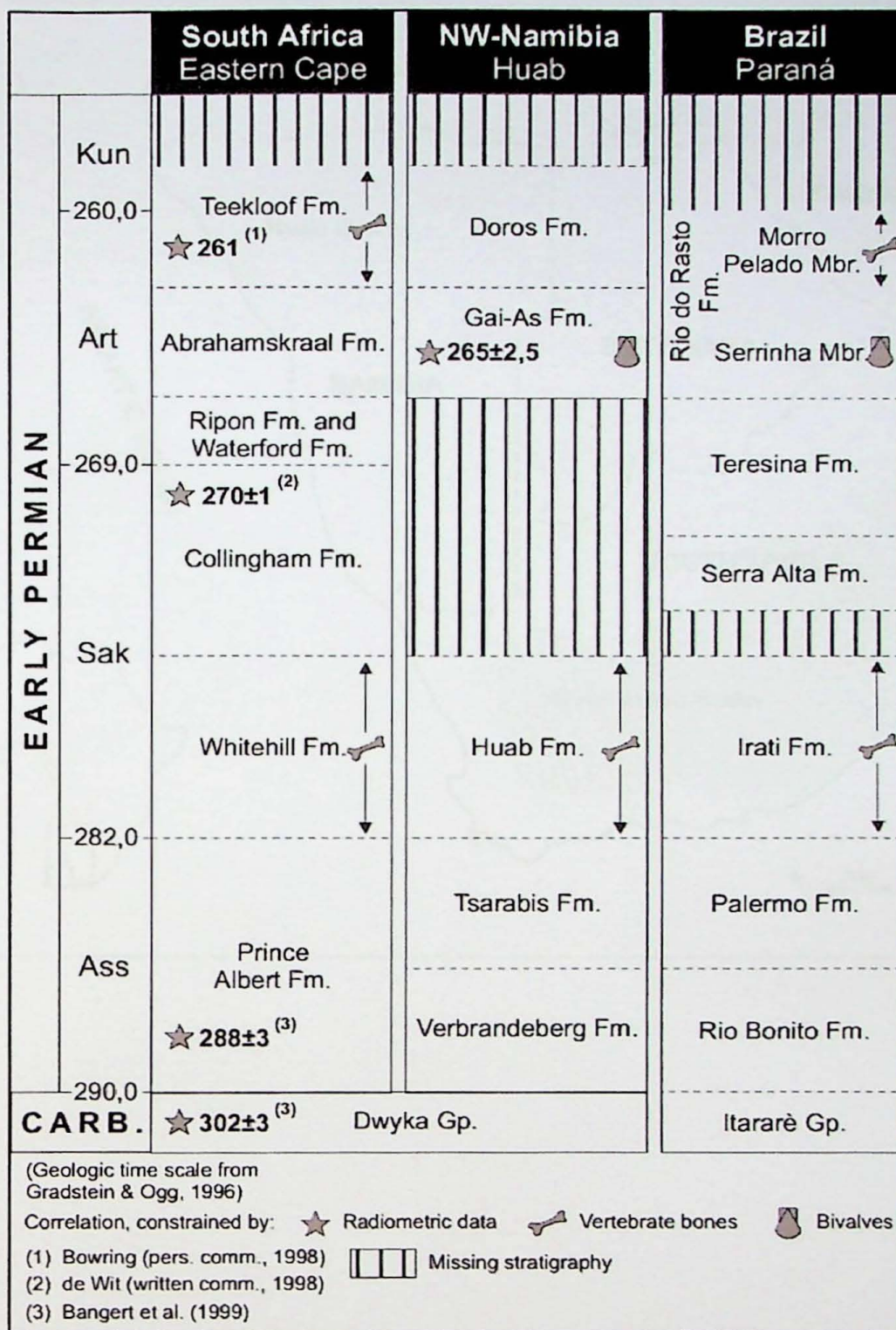


FIGURE 1

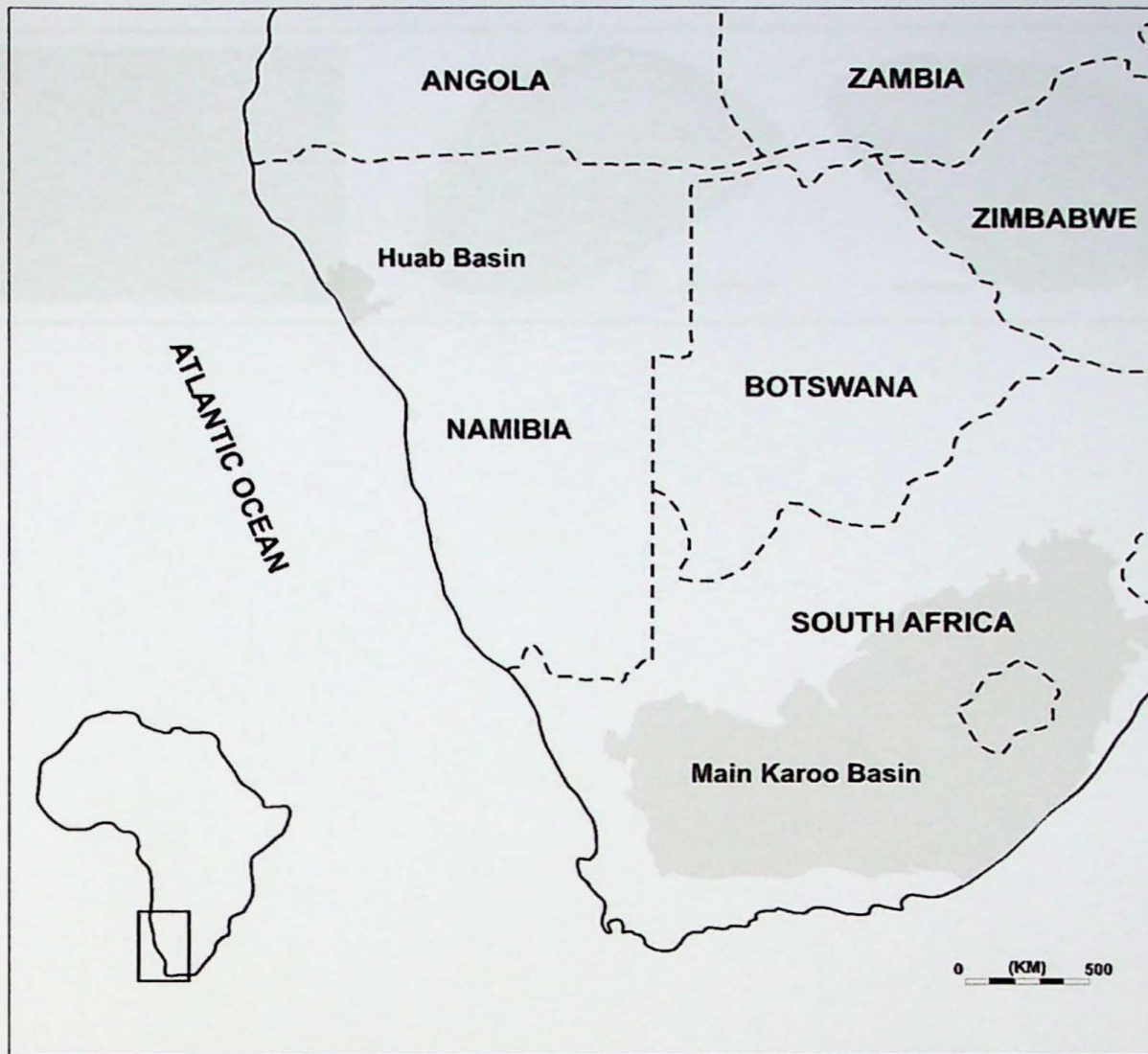


FIGURE 2

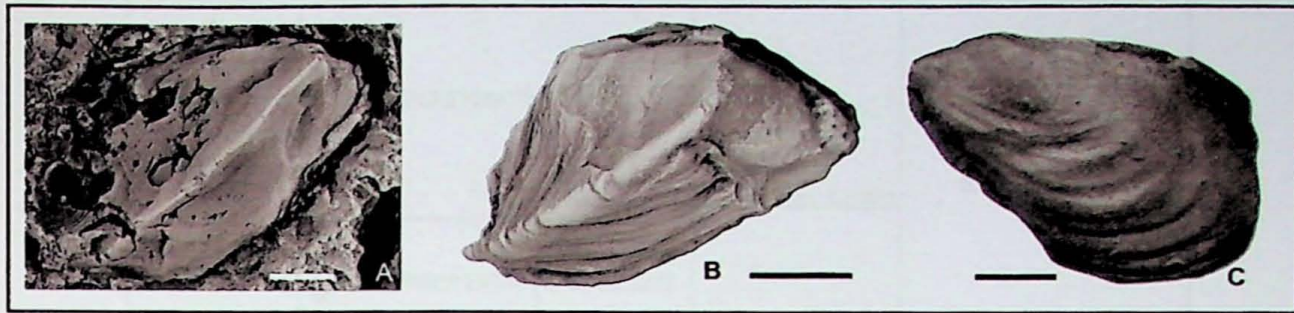


FIGURE 3

CHRONOSTRATIGRAPHY		LITHOSTRATIGRAPHY		BIVALVE ASSEMBLAGES	DEPOSITIONAL ENVIROMENT		
		GROUP	FORMATION			MEMBER	
PERMIANO	LOPINGIANO	PASSA DOIS	RIO DO RASTO	MORRO PELADO	<i>Palaeomutela?</i> <i>platinensis</i>	EOLIC SYSTEM	
	WUCHIAPINGIANO						
	GUADALUPIANO	PASSA DOIS	TERESINA	SERRINHA	<i>Leinzia</i> <i>similis</i>	SHALLOW LAKE	
	WORDIANO				Unnamed		
	ROADIANO	PASSA DOIS	SERRA ALTA			<i>Pinzonella</i> <i>neotropica</i>	INTERIOR SHALLOW SEA
	KAZANIANO					<i>Pinzonella</i> <i>illusa</i>	
CISURALIANO					<i>Anhembia froesi</i>		
KUNGURIANO							
KUNGURIANO							

FIGURE 4

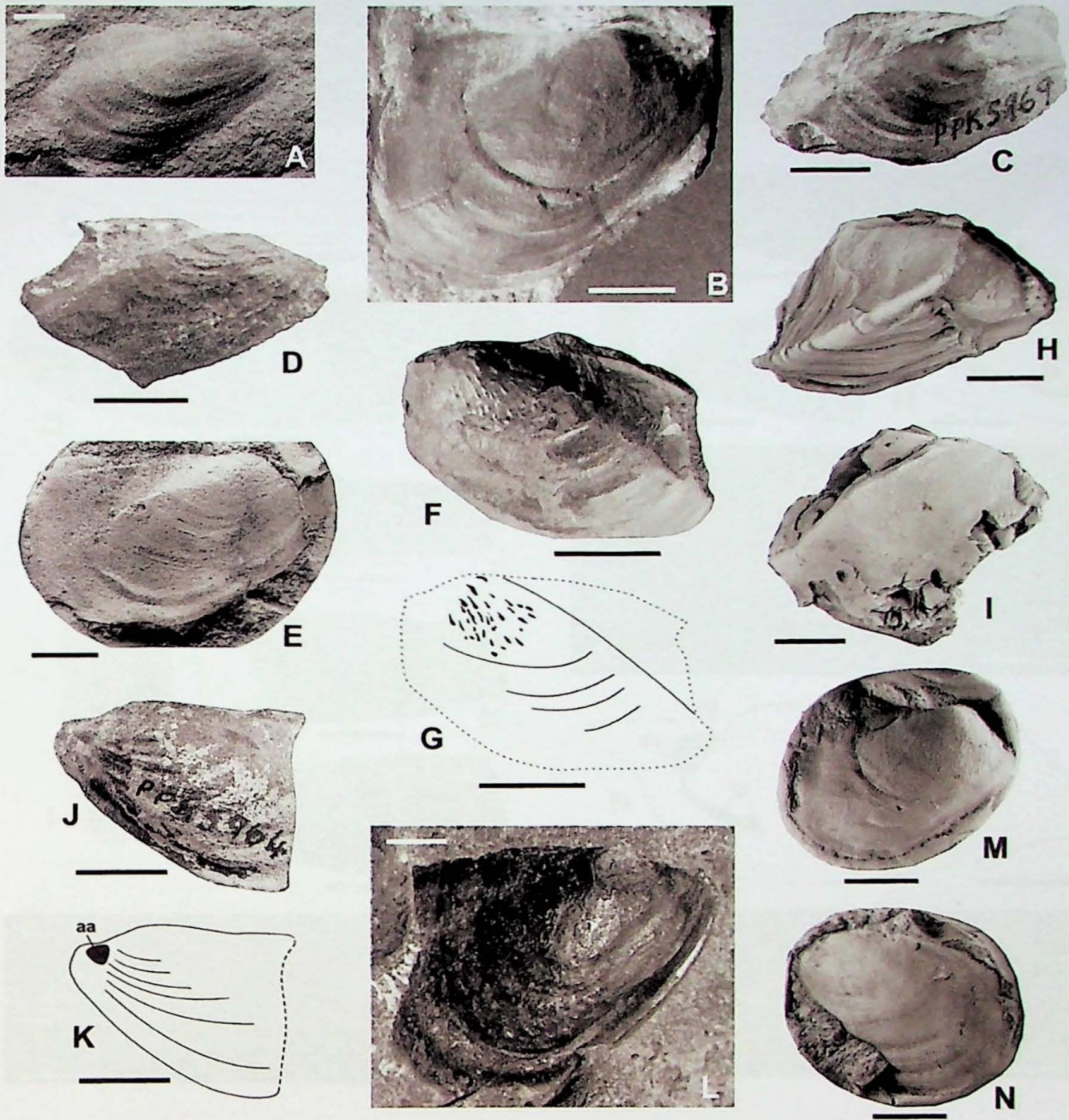


FIGURE 5

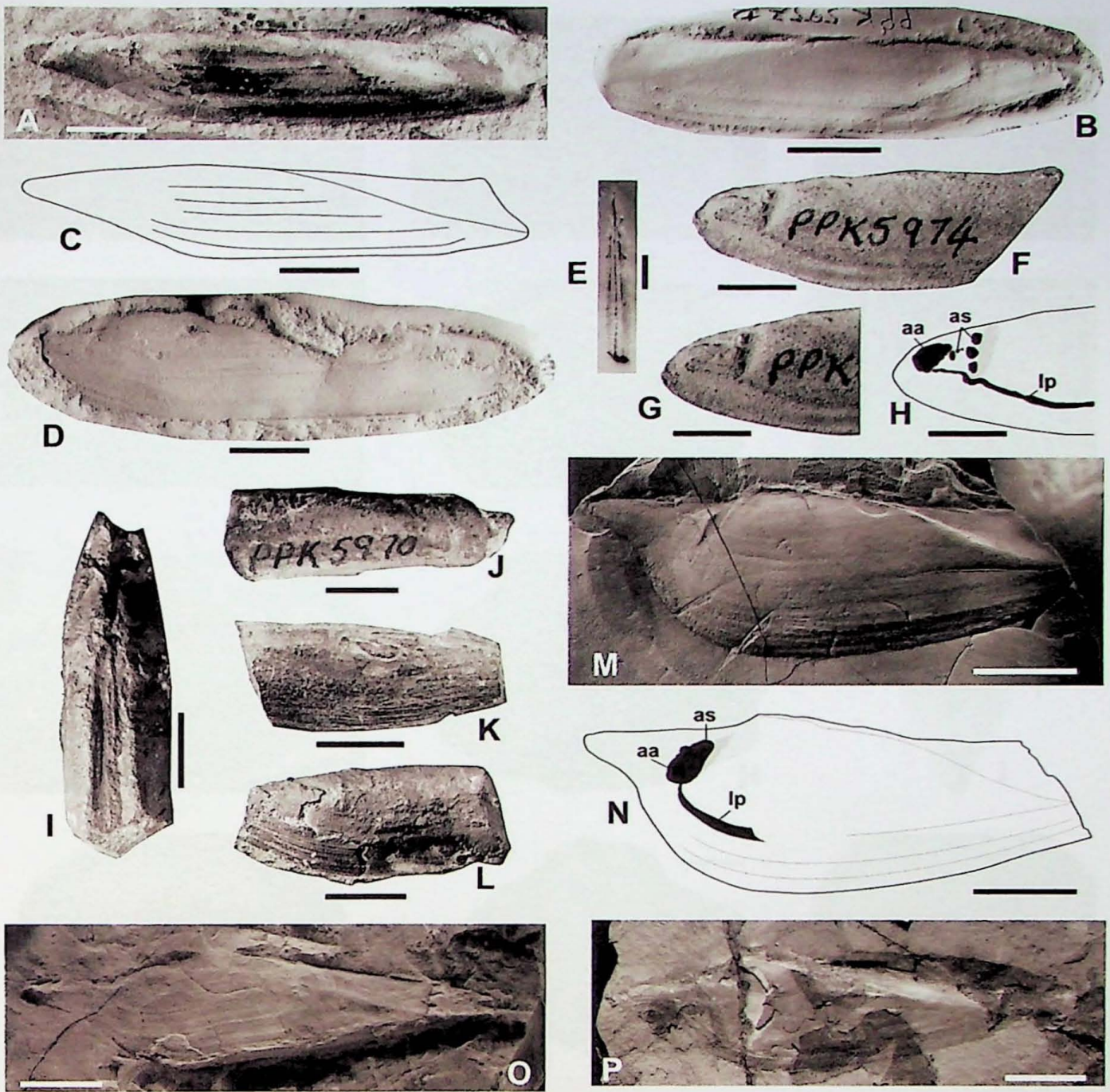


FIGURE 6

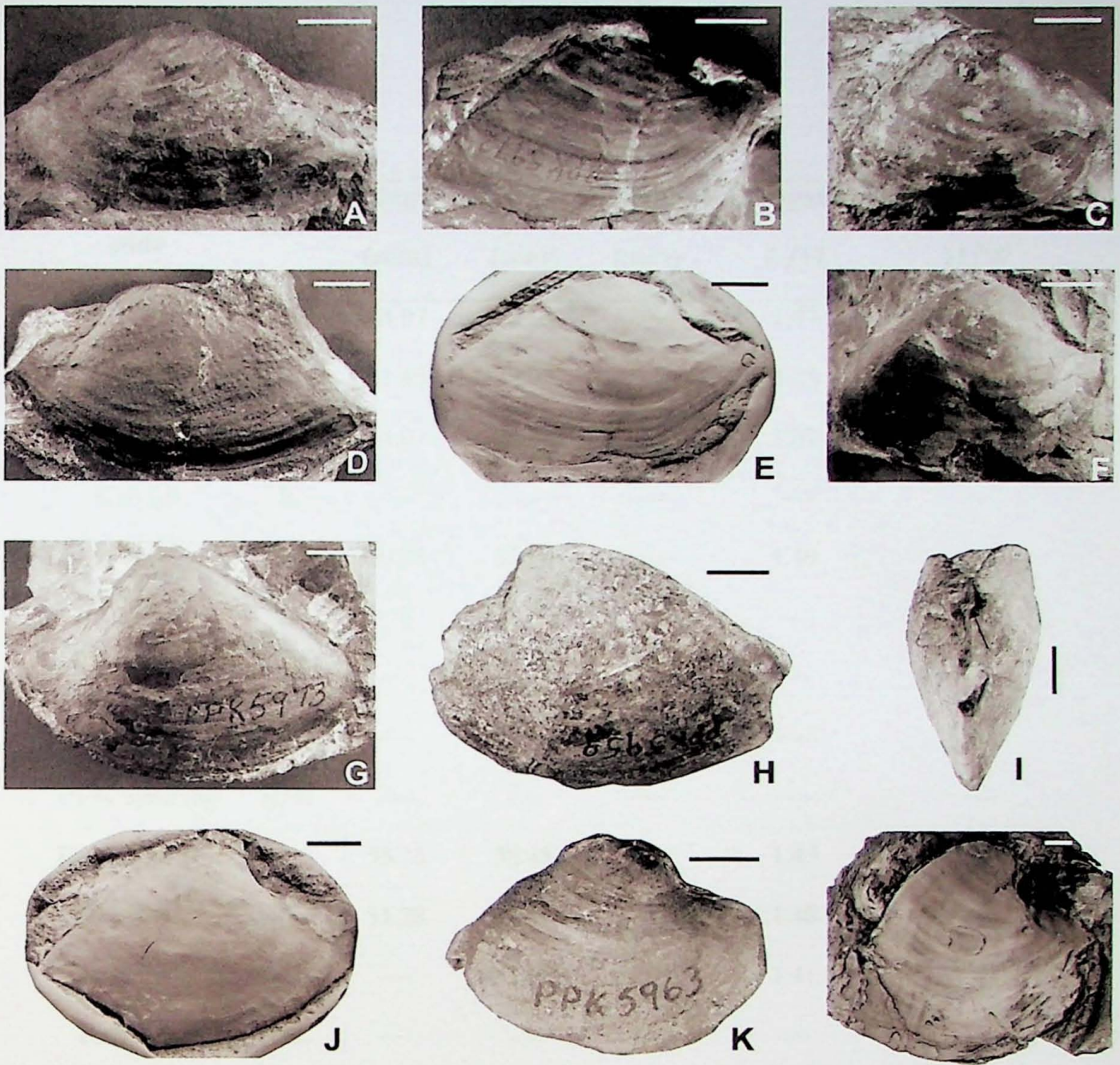


FIGURE 7

TABLES

Table 1

Specimen code	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
		(mm)	(mm)	(mm)	L/H	H/W
K38 (a)	L	44.07	23.53	----	1.87	----
K38 (b)	R	41.45	32.93	----	1.25	----
K38 (c)	R	44.07	23.53	----	1.87	----
K38 (d)	R	----	----	----	----	----
K78 (a)	R	50.23	33.50	----	1.49	----
K78 (b)	L	----	----	----	----	----
992 (a)	L	----	38.72	----	----	----
992 (b)	R	----	----	----	----	----
PPK 5960 (a)	R/L	----	----	----	----	----
PPK 5060 (b)	L	55.76	38.45	----	1.45	----
PPK 5060(c)	R	51.28	34.67	----	1.48	----
PPK 5964	R/L	----	23.49	12.71	1.41	1.85
PPK 5969	R/L	----	----	13.00	----	----
PPK 5972a	R	35.23	24.21	----	1.45	----
PPK 5975	R/L	----	----	11.68	----	----
PPK 5978	R/L	38.58	26.38	14.87	1.46	1.77

Table 2

Specimen code	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
		(mm)	(mm)	(mm)	L/H	H/W
K78c	L	62,13	11,55	----	5,34	----
PPK-5910	L	----	----	----	----	----
PPK-5957a	R	----	----	----	----	----
PPK-5957b	R	72,71	15,42	----	4,72	----
PPK-5958	R	----	----	----	----	----
PPK-5960d	L	----	----	----	----	----
PPK-5968	R/L	----	----	6,43	----	----
PPK-5974	R/L	----	----	5,42	----	----
PPK-5976	R/L	----	----	10,74	---	----

Table 3

Specimen code	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
		(mm)	(mm)	(mm)	L/H	H/W
992c	R	56,65	34,96	----	1,62	----
994a	L	47,37	30,00	----	1,58	----
994b	R	41,09	29,32	----	1,40	----
K38e	R	----	32,47	----	----	----
K78d	R	58,40	37,17	----	1,57	----
PPK-5959	R/L	56,04	43,28	16,80	1,30	2,58
PPK-5961	R/L	----	40,21	18,41	----	2,18
PPK-5962	R/L	----	----	----	----	----
PPK-5963	R	48,61	38,31	----	1,27	----
PPK-5965	R/L	----	45,48	19,01	----	2,39
PPK-5971	L	----	45,73	----	----	----
PPK-5972b	R	51,95	35,31	----	1,47	----
PPK-5972c	L	66,74	50,10	----	1,33	----
PPK-5973a	L	42,61	34,54	----	1,23	----
PPK-5973b	R	34,43	30,93	----	1,11	----
PPK-5977	R/L	53,25	42,56	18,48	1,25	2,30

ANEXO 2

ARTIGO 2

PERMIAN BIVALVES OF THE SERRINHA MEMBER, RIO DO RASTO
FORMATION, PARANÁ BASIN: BIOSTRATIGRAPHICAL AND
PALEOENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

JULIANA MACHADO DAVID

*Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geotectônica, Universidade de São Paulo, SP,
Brasil. <julianamdauid@gmail.com.br>*

LUIZ EDUARDO ANELLI

*Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil
<anelli@usp.br>*

ROSEMARIE ROHN DAVIES

*Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, Rio
Claro, SP, Brasil.
<rohn@rc.unesp.br>*

MARCELLO GUIMARÃES SIMÕES

*Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Distrito de Rubião Junior, Botucatu, SP, Brasil
<profmgsimoes@gmail.com>*

ABSTRACT

The basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, records the stratigraphic range of an undescribed bivalve biozone, lying between the *Pinzonella neotropica* and *Leinzia similis* biozones. The best record of this potential new biozone crops-out at kilometer 44.6, PR-239 road, Paraná State, Brazil. The systematic description of this bivalve assemblage revealed the presence of forms attributed to *Terraia curvata*, *Terraia bipleura*, *Asterlophis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* and *Cowperesia emerita*. The genus *Terraia* is the dominant bivalve in this assemblage, with the predominance of specimens attributed to *Terraia curvata*. The stratigraphic range of this species seems to be restricted to this particular interval, and could possibly represent the best element to determinate this new bivalve assemblage, therefore being named as *Terraia curvata* Biozone. Additionally, this bivalve fauna could probably record a faunal turnover in the bivalve geological history of the Passa Dois Group, Paraná Basin. Permian sediments of the Gai-As Formation, Namibia are tentatively correlated with the basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, indicating that this sedimentary succession of the Passa Dois Group, Paraná Basin would be no younger than the mid-Permian (Wordian-Captianian).

1. INTRODUCTION

As well known, mollusks are an invertebrate group that has a carbonate shell with a good fossilization potential. Due to this particular characteristic, these invertebrates have a fossil record with good completeness, making them an important tool in geological investigations. Indeed, assemblages of fossil mollusks are frequently used in studies concerning paleoenvironmental analysis (since their ecological signatures provides evidences of the ecological frame in which they occurred) (*e.g.*, Ruggiero and Annunziata, 2002; Bromley and Heinberg, 2006), sedimentary facies (such assemblages often show high correspondence to specific sedimentary facies) (*e.g.*, Dominici, 2001; Hendy and Kamp, 2007) and taphonomy (it is possible to interpreted them as sedimentary particles) (*e.g.*, Kidwell, 1991; Simões and Kowalewski, 1998).

Wesselingh (2007) highlighted that although these invertebrates present an excellent utility in reconstructing past environments and depositional processes, their use in studies of detail stratigraphy is impacted by the fact that individual mollusk species may persist for millions of years. However, mollusk faunas from ecologically isolated ecosystems, such as the long-lived epeiric seas, could be an exception (see Wesselingh, 2007). As commented by this author, “in such systems rapid evolution in unrelated lineages may drastically improve the utility of molluscs for detailed biozonation”. This is the potential case for the Passa Dois Group bivalves, which evolved under conditions of geographic isolation and exhibit high morphological disparity during their *in situ* evolution in the intracratonic basins of the Gondwanaland (Runnegar & Newell, 1971; Simões *et al.*, 1998). Hence, these forms may be used as potential tools in detailed biostratigraphy.

1.1. PREVIOUS BIOZONATION RESEARCH

Along the last century, the correlation between sedimentary strata with bivalve species of the Passa Dois Group has been the aim of several studies in the Gondwana I sequence of the Paraná Basin. Huene (1928) was the pioneer author to deal with this question, when he identified two distinct fossiliferous strata in the region of Rio Claro, São Paulo State, Brazil. Reed (1929) examined fossil bivalves from distinct outcrops of the so-called Estrada Nova Formation (= Serra Alta and Teresina Formations) in the Paraná State and also concluded that an lower and upper fossil-rich strata could be distinguished in this unit. Later, new bivalve species were recognized in these strata by Reed (1932) and Mendes (1944, 1945).

Posteriorly, Mendes (1949) analyzed bivalve specimens from the basal portion of the Corumbataí Formation (laterally coeval to the Serra Alta and Teresina Formations), Paraná Basin and suggested a biozonation for the region of Rio Claro, São Paulo State, Brazil. This author ascribed the *Pinzonellopsis-Jacquesia* and *Pinzonella-Plesiocyprinella* Association Biozones, which corresponde to Huene's fossil-rich beds. In 1952, this same author collected and revised bivalve specimens in the same geographic region and proposed three new Association Biozones for the Permian sequence crop-in-out in the Corumbataí river valley: *Pinzonella neotropica-Jacquesia brasiliensis* (upper portion of the Corumbataí Formation), *Pinzonella illusa-Plesiocyprinella carinata* (middle portion of the the Corumbataí Formation) and *Barbosaia angulata-Holdhausiella almeidai* (basal portion of the Corumbataí Formation). Bivalve faunal compositions of these assemblages were posteriorly complemented studies made by Mezzalira (1957) and Mendes (1954, 1962). This last author also recognized the *Pinzonella illusa-Plesiocyprinella carinata* Zone in correlated sedimentary deposits located in the state of Mato Grosso, Brazil (Mendes, 1963).

Runnegar and Newell (1971) conducted an extensive review of the Passa Dois Group bivalve fauna and, based on previous researches (e.g., Mendes, 1949, 1952, 1954;

Mezzalira, 1957), reporting four bivalves assemblages in the Passa Dois Group: *Leinzia froesi* assemblage, *Pinzonella illusa* assemblage, *Pinzonella neotropica* assemblage and *Leinzia similis* assemblage. Later, Maranhão (1986) proposed the *Leinzia froesi-Barbosaia angulata* Zone to the basal portion of the Corumbataí Formation.

Although the use of the bivalve fauna of the Passa Dois Group in biozonation research has been applied since Huene (1928), the majority of these studies are concentrated in the geographic region of the State of São Paulo. In the states of Paraná and Santa Catarina the only biostratigraphic studies are those performed by Reed (1929), Beurlen (1954), who recognized in these states some zones established to the Corumbataí Formation in the São Paulo State, and Rohn (1988, 1994). This last author conducted extensive fieldworks in those states and established informal biostratigraphic biozones on which the actual knowledge of the Passa Dois Group bivalve biostratigraphy relies on (Fig. 1).

1.2. THE ISSUE

Nowadays, the biostratigraphic knowledge of the Permian Passa Dois Group bivalves includes five informal association biozones (Fig. 1). Bivalves are recorded in the *Anhembia froesi* Biozone (basal portion of the Serra Alta Formation), *Pinzonella illusa* Biozone (superior portion of the Serra Alta Formation plus basal and middle portion of the Teresina/Corumbataí Formation), *Pinzonella neotropica* Biozone (upper portion of the Teresina Formation), *Leinzia similis* Biozone (basal and middle portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation) and *Paleomutela? platinensis* Biozone (upper portion of the Serrinha Member plus basal and middle portion of the Morro Pelado Member, Rio do Rasto Formation).

According to this current knowledge, all the bivalves previously recorded in the basal portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation) are assigned to the *L.*

similis Biozone. However, Rohn (1994) highlighted the fact that the stratigraphic range proposed to this particular Biozone could probably be reduced, since the basal portion of the Rio do Rasto Formation recorded nearly only forms of *Pyramus? emerita*, *Terraia? sp.* and *Terraia? curvata* (Rohn, 1994, p.177), without presenting the typical elements of the *Leinzia similis* Biozone (e.g., *Leinzia similis*, *Terraia altissima*). In this way, the basal portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation) could possible represent an undescribed record of a new bivalve biozone lying between the *P. neotropica* and *L. similis* biozones (Rohn, 1994).

The best records of this potential new biozone are the rocks that crops-out at the kilometer 44.6, PR-239 road, State of Paraná, Brazil (Fig.2). A preliminary investigation of this bivalve assemblage (Rohn and Simões, 1997) revealed bivalve taxa probably associated to *Terraia curvata* (dominant element), *Cowperesia emerita*, *Relogicola? sp.*, *Terraia? sp.*, *Terraia bipleura* and few specimens that could be possible related to *Pinzonella* and *Jacquesia*. If confirmed, the presence of these two last bivalve genera would be the first documentation of them in the stratigraphic range above the *Pinzonella neotropica* Biozone. Furthermore, the possible absence of *Leinzia similis* and *Terraia altissima* in the bivalve assemblage of the kilometer 44.6 (PR-239 road) could provide robust evidence to a new bivalve assemblage in the basal portion of the Serrinha Member. Hence, the hypothesis suggested by Rohn (1994) about the stratigraphic range of the *Leinzia similis* Biozone would be confirmed.

The systematic investigation of this particular bivalve assemblage can provide relevant information for biocorrelation, since forms related to its fauna composition (especially *Terraia curvata*) are present in others outcrops from the basal portion of the Serrinha Member (Rohn, 1994). Additionally, David *et al.* (2011) described forms associated with *T. curvata* and *Cowperesia emerita* in Permian sediments of the Gai-As Formation, Namibia. Radiometric dating of zircon grains from tuff beds found in the upper part of the Gai-As succession provide U/Pb ages of 265 ± 2.5 Ma (Holzfoester, 2002; Wanke, 2000), an

interval equivalent to the Wordian-Capitanian boundary of the Guadalupian. However, these biocorrelations can only be confirmed with a formal study of systematic description and illustration of this particular bivalve assemblage.

In this context, the present paper aims to describe for the first time the bivalve assemblage of the kilometer 44.6 (PR-239 road), Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, in order to elucidate the biostratigraphic and paleoenvironmental implications of this particular fauna.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. GEOLOGICAL SETTING

The Permian Rio do Rasto Formation belongs to the sedimentary succession of the Passa Dois Group, Paraná Basin, which includes, from bottom to top: the Late Artinskian Irati Formation, the Kungurian Serra Alta Formation, the Late Kungurian-Rodian Teresina/Corumbataí formations and the Wordian-Wuchiapingian Rio do Rasto Formation (Holz *et al.*, 2010). This last unit is sub-divided into the 150-250 m thick Serrinha Member (basal portion) and the 250-300 m thick Morro Pelado Member (superior portion) (Holz *et al.*, 2010). The Serrinha Member is mostly composed by greenish sandstones, siltstones and mudstones, which are generally organized in tabular strata. The deposition of those strata is mainly associated with lacustrine origin. The Morro Pelado Member is generally composed by reddish fine sandstone and mudstones, including lenses of sedimentary facies that are probably associated with fluvial, lacustrine, deltaic and aeolian depositional systems (Holz *et al.*, 2010).

The outcrop containing the material here investigated is a long roadside exposure at the kilometer 44.6, PR-239 road, between the towns of Cândido de Abreu and Reserva, Paraná State, Brazil (Fig.2). According to Rohn (1994), the most abundant rock type is a

greenish fossiliferous mudstone that gradates upwards to heterolithic stones with wavy bedding (Fig.3). The succession is characterized by the presence of bioturbation and mud-cracks, in addition to compact calciferous sediments and mudstones lenses. These lenses are interbedded with calciferous sediments, fine sandstone with hummocky stratification and very fine massive sandstone or, in some layers, with horizontal lamination (Rohn, 1994) (Fig.3). The bivalve fossils are found in a greenish-gray mudstone, located in the superior portion of the outcrop. They are commonly associated with conchostracans, indicating that this bivalve assemblage probably evolved in a low salinity environment.

2.2. FOSSIL COLLECTION AND SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

The material here studied was originally collected in the 1980s and 1990s by the Dra. Rosemarie Rohn Davies, during the fieldworks related to her Master dissertation and Ph.D. thesis. The bivalve assemblage is housed in the Institute of Geosciences and Exact Sciences of the São Paulo State University (UNESP) in Rio Claro, São Paulo State, under the code URC-MB. The material comprises nearly 60 samples with of internal and external shell molds. The preparation of the material included plasticine casts (FIMO brand) and impregnation with magnesium to highlight the internal anatomical characters, including possible muscle scars and hinge features (Anelli, 1999). The suprageneric systematics was based on Morris *et al.* (1991) and Carter *et al.* (2010). The morphological terminology and systematic classification of carditids and pachydomids was based on Mendes (1952), Runnegar and Newell (1971), Runnegar (1974) and Simões *et al.* (1997). The index of elongation and obesity was interpreted following Stanley (1970).

3. RESULTS

3.1. SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

Infraclass HETEROCONCHIA Hertwig, 1895

Cohort CARDIOMORPHI Férussac, 1822

Subcohort CARDITIONI Dall, 1889

Order CARDITIDA Dall, 1889

Superfamily CRASSATELLOIDEA Férussac, 1822

Family unknown

Terraia Cox, 1934

Type species. *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918).

Terraia curvata (Reed, 1929) (Fig. 4)

Type species. *Isocyprina curvata* Reed, 1929.

Examined Material. Twenty six internal molds (URCMB-300 2a, 2b, 4, 12, 27, 30a, 34b, 40a, 40b, 41a, 41b, 43, 44, 53e, 69a, 69b, 82, 96, 103, 116, 118, 121, 125a, 125d, 144a, 159) and fourteen external molds (URCMB-300 3c, 30b, 32, 34a, 53a, 71a, 71c, 97, 101, 125b, 126, 146b, 154e, 158e).

Locality and unit. Road PR-239, km 44,6, Passa Dois Group, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil.

Age. Permian, Wordian.

Description. Shell small, inequilateral, equivalved, moderately elongate to elongate (Table 1). Umbones high, pointed and prosogyral, with subcentral beaks. Anterior dorsal margin rounded; ventral margin convex; posterior dorsal margin arched descending steeply to a small obliquely truncated respiratory margin. Two arched posterior umbonal carina are present, the first one extending from the umbonal region to the postero-ventral angle and the second very close to the posterior dorsal margin. Hinge plate of the right valve with a large and well defined triangular tooth, bordered in both sides by depressions in the hinge plate thickening. Hinge plate of the left valve with corresponding triangular socket bordered in both sides by a hinge plate thickening. External surface of the valve covered with fine growth lines. Musculatures features were not observed.

Discussion. The material herein described is very similar in shape, hinge and musculatures features to the specimens described by Reed (1929) as *Isocyprina curvata*. This species occurs in deposits of the basal portion (Serrinha Member) of Rio do Rasto Formation, Paraná Basin. Mendes (1954) tentatively suggested that *I. curvata* might be a subjective synonym of *Terraia altissima*, but Beurlen (1954) didn't agree with this synonym. This author argued that *T. curvata* differs of *T. altissima* by its triangular form (shells of *T. altissima* are more posterior elongated), umbones subcentral (almost in the middle of the shell) and posterior dorsal margin arched. Our material groups most of the characters summarized by Reed (1929) and Beurlen (1954) to described *T. curvata*, including the characteristic posterior dorsal margin arched, the umbones subcentral and the hinge features.

Terraia bipleura (Reed, 1929) (Fig. 5d)

Type species. ?*Pleurophorus bipleura* Reed, 1929.

Examined Material. Two internal molds (URCMB-300, 11, 93).

Locality and unit. Road PR-239, km 44,6, Passa Dois Group, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil.

Age. Permian, Wordian.

Description. Shell small, equivalved, inequilateral, moderately elongate (Table 2). Umbones low, subcentral. Anterior dorsal margin concave; ventral margin convex; posterior dorsal margin slightly convex. Two well-defined posterior umbonal carinae running from umbonal region to the posterior margin. Shell surface covered with fine growth lamellae. Hinge and musculature features were not observed.

Discussion. *Terraia bipleura* is usually found in sedimentary rocks attributed to the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. It was first described as *?Pleurophorus bipleura* by Reed (1929) and posteriorly tentatively ascribed as a junior synonym of *Terraia altissima* by Mendes (1954). In fact, as highlighted by Runnegar and Newell (1971), the hinge of *T. bipleura* is very similar to that presented by *T. altissima*, but the second umbonal carina of *T. bipleura* does not coincide with the posterior dorsal margin of the valve, as observed in *T. altissima*. Our material here studied closely resembles those figured by Runnegar and Newell (1971, p.53) as *T. bipleura*, specially the distinct double carinae and the wide area behind the second umbonal carinae.

Asterloopsis Beurlen, 1954

Type species. *Asterloopsis prosoclina* (Reed, 1929)

Asterloopsis prosoclina (Reed, 1929) (Fig.5a-c)

Type species. *Astarte cf. triasina* Reed, 1929.

Examined Material. Thirteen internal molds (URCMB-300 8, 19, 33, 44, 45, 48b, 63a, 63b, 87, 113, 117, 138, 141).

Locality and unit. Road PR-239, km 44,6, Passa Dois Group, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil.

Age. Permian, Wordian.

Description. Shell small, triangular, equivalved, inequilateral, equant (Table 3). Umbones high, pointed and prosogyral, with subcentral beaks. One posterior umbonal carinae is weakly present coinciding with the posterior dorsal margin of the valve. Posterior dorsal margin concave; anterior dorsal margin convex; ventral margin concave. Hinge plate of the right valve with a massive and curved cardinal tooth, bordered in both sides by a hinge plate thickening. Anterior adductor muscle scars rounded, located next to the anterior ventral margin. External surface of the valve covered with fine growth lines.

Discussion. Reed (1929) proposed *Astarte cf. triasina* to designate some specimens found in the sediments of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation. Later, Beurlen (1954) analyzed some bivalve material from the Passa Dois Group in the Paraná State and described a new genus and species to designate the previous Reed's species, naming them as *Astartellopsis prosoclina*. Runnegar and Newell (1971) validated Beurlen's designation, however they didn't analyzed fossil material that could be related with those forms. Beurlen (1954) argued that this species could probably be derivate from *Terraia curvata*, due to the curved shell shape and Rohn(1994) suggested that *A. prosoclina* could be a junior synonym of *T. curvata*. However, we believe that *A. prosoclina* differs in external features from *T. curvata*, specially the position of the carina. Also, the cardinal tooth present in *A. prosoclina* is more pronounced than that observed in the specimens of *T. curvata*. Our material is very

similar to that illustrated and described by Beurlen (1954, fig.4-33, fig.5-45, 46, 47), presenting the same shell shape and hinge features, especially the massive cardinal tooth of the right valve. Until this moment, the only stratigraphic range reported to this species correspond to the basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin.

Infraclass HETEROCONCHIA Hertwig, 1895

Megaorder SOLENATA Dall, 1889

Order HIATELLIDA Carter, 2011

Superfamily EDMONDIOIDEA King, 1850

Family PACHYDOMIDAE Fischer, 1887

Subfamily PACHYDOMINAE Fischer, 1887

Tribe PLESIOCYPRINELLINI Simões *et al.*, 1997

Beurlenella elongatella Anelli *et al.*, 2010 (Fig. 5g)

Type species. *Beurlenella elongatella* Anelli *et al.*, 2010.

Examined Material. One internal mold of articulated shell (URCMB-300 58).

Locality and unit. Road PR-239, km 44,6, Passa Dois Group, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil.

Age. Permian, Wordian.

Discussion. The material here examined surely refers to the megadesmid (=plesiocyprinellini) *Beurlenella elongatella* Anelli *et al.* (2010), described from the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. The specimen comprises a well-defined blunt tooth in the right valve and left valve with a well-defined socket, as the same

as the specimens illustrated by Anelli *et al.* (2010). Anelli *et al.* (2010) described this new species from specimens that were stored in the scientific collection of the University of São Paulo and labeled as only placed in the Passa Dois Group, Rio do Rasto Formation. However, the exact location and stratigraphic horizon where the specimens were collected was unknown. Based on the preservation type and lithology of the internal molds of the studied specimens, these authors interpreted that *B. elongatella* probably could be found in the basal portion of the Serrinha Member. The material here studied and ascribed to *B. elongatella* demonstrates that this hypothesis was corrected.

Conperesia emerita (Reed, 1929) (Fig. 6e)

Type species. *Pseudocorbula emerita* Reed, 1929.

Examined Material. Two internal molds (URCMB-300 16b, 28) and five internal molds (URCMB-300 16a, 21, 71a, 77, 93b).

Locality and unit. Road PR-239, km 44,6, Passa Dois Group, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil.

Age. Permian, Wordian.

Description. Shell small, subtriangular, equivalved, equilateral, equant (Table 5). Umbones low with central beaks. Two well defined and slightly curved posterior umbonal carinae are present, one extending from the umbonal region to the postero-ventral angle and the other close to the postero-dorsal margin. Anterior dorsal margin straight; anterior margin rounded; posterior margin straight. External ornament of fine, commarginal growth lines, superimposed by widely spaced, broad co-marginal rugae, also apparent on internal molds. Hinge features and musculature not observed.

Dicussion. The genus *Cowperesia* was first proposed by Mendes, 1952 and includes three species: *Cowperesia anceps* (Reed, 1935), *Cowperesia emerita* (Reed, 1929) and *Cowperesia camposi* Mendes, 1952. Runnegar and Newell (1971) suggested that this genus would be a junior subjective synonym of *Pyramus* Dana, 1847. However, as discussed in David *et al.* (2011, pgs. 506-7), this synonymy does not seem to be valid (see also Mello, 1999). The material here studied is very similar to the specimens described as *Cowperesia emerita* by David *et al.* (2011) in the Gai-As Formation, Huab area, Namibia, especially in the external features of the shell, including the ornamentation, the double umbonal carinae and the shell shape.

Leinzia curta Beurlen, 1954 (Fig.6f)

Type species. *Leinzia curta* Beurlen, 1954.

Examined Material. Two internal molds (URCMB-300 14a, 14b) and one external mold (URCMB-300 68).

Locality and unit. Road PR-239, km 44,6, Passa Dois Group, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil.

Age. Permian, Wordian.

Description. Shell small, inequilateral, posteriorly expanded, equivalved, moderately elongate (Table 6). Umbones low, prosogyral with subcentral beaks. Anterior dorsal margin rounded; ventral margin convex; posterior dorsal margin. A well-marked umbonal carina is present, delimiting a small respiratory margin with the extremity of the posterior dorsal margin. Hinge plate of the right valve with a triangular carinal tooth imedt below beaks. Hinge plate of the left valve with corresponding triangular socket. External surface

of the valve covered with regularly spaced commarginal rugae. Musculature features were not observed.

Discussion. *Leinzia curta* was first described by Beurlen (1954) to designate some specimens present in sediments of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation. This author suggested that this species could probably be related with precursor forms of *Leinzia similis*, since these two species are very similar but *L. curta* exhibits an anterior dorsal margin rounded, without the particular rostrum of *L. similis*. David *et al.* (2011) suggested that forms described as *Huabiella compressa* in Namibian deposits could be related with *Leinzia curta* from Passa Dois Group. However, these authors interpreted the hinge of *H. compressa* as edentulous while, according to Beurlen (1954) descriptions and with our specimens, *L. curta* presents a triangular cardinal tooth in the right valve. Our material here analyzed is very similar to that illustrated and described by Beurlen (1954) as *L. curta*, presenting the same shell shape, the characteristic ornamentation of regularly spaced commarginal rugae and the hinge features.

4. DISCUSSION

4.1. BIOSTATIGRAPHY AND CORRELATION

As mentioned above, Rohn (1994) suggested that the basal portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation) could probably represent the stratigraphic range of a new bivalve biozone, lying between the *P. neotropica* and *L. similis* biozones (*sensu* Rohn, 1994). The results presented here add new and relevant data to support the hypothesis of this new bivalve assemblage.

According to our results, the fauna from the kilometer 44.6 (PR-239 road) of the basal portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation) is composed by the

species of *Terraia curvata*, *Terraia biplexura*, *Asterlopsis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* and *Couperesia emerita*. The genus *Terraia* is the dominant bivalve form in this assemblage, with the predominance of specimens attributed to *Terraia curvata*. It was not reported the presence of the typical elements of the *Leinzia similis* Biozone (*Leinzia similis* and *Terraia altissima*) in the studied assemblage.

The stratigraphic range of some identified species seems to be related only with the stratigraphic range of the basal portion of the Serrinha Member. It includes *Terraia curvata*, *Asterlopsis prosoclina*, *Leinzia curta* and *Beurlenella elongatella*. According to the actual knowledge of the Passa Dois Group biostratigraphy, those species are not reported in others bivalve assemblages of this sedimentary unit (Rohn, 1994). Although the results described in these present communication are only related with the assemblage of the kilometer 44.6 (PR-239 road), it is noteworthy to highlight that this occurrence represents the best record of the bivalve fauna of the Serrinha Member basal portion, and indeed presents correlated occurrences in others regions of the Paraná Basin (see Rohn, 1994).

The presence of bivalve species that are related only with the stratigraphic range of the basal portion of the Serrinha Member, plus the absence of typical elements of the *Leinzia similis* Biozone, indicates that the stratigraphic range of the basal portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation) represents a new bivalve assemblage, as proposed by Rohn (1994). Since *Terraia curvata* is the most common bivalve form of this new assemblage, we propose that the stratigraphic range of this informal Biozone could be related with the first and the last record of this species and be named as *Terraia curvata* Biozone.

The systematic affinities of this particular bivalve assemblage also contribute to the establishment of the biocorrelation between the Permian Gai-As Formation, Namibia with the basal portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation), since David *et al* (2011) recognized bivalves forms associated to *Terraia curvata* and *Couperesia emerita* in the

Namibian sediments. Radiometric dating of zircon grains from tuff beds within the superior portion of the Gai-As succession provide U/PB ages of 265 ± 2.5 Ma (Holsfoerster 2000, 2002; Wanke 2000), an interval equivalent to the Wordian-Capitanian boundary of the Guadalupian.. Thus, the biocorrelation between this two sedimentary deposits could suggest an age no younger than the mid-Permian to the basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation.

4.1. PALEOENVIRONMENT

According to our results, the bivalve fauna of the basal portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation) includes forms attributed to carditids (=veneroida in previous works) and pachydomids (=megadesmids in previous works), the same groups that are overcoming in the bivalve faunas of the Paraná Basin (Simões *et al.*, 1998). However, it is outstanding that the fauna of the basal portion of the Serrinha Member is dominated by elements related to the carditids. This particular feature is not observed in the underlying bivalve biozones of the Passa Dois Group. Instead, as discussed by Simões *et al.* (1998), the fauna composition of the *Anhembia froesi*, *Pinzonella illusa* and *Pinzonella neotropica* biozones presents a high proportion of pachydomid (=megadesmids in previous works). This remarkable difference could possibly be associated with a faunal turnover in the bivalve geological history of the Passa Dois Group.

This interpretation is in accordance with the fact that many typical elements of the *Pinzonella illusa* and *Pinzonella neotropica* biozones (*e.g.*, *Pinzonella*, *Naiadopsis*) are absent in the deposits of the Rio do Rasto Formation. Indeed, only few forms of these biozones are reported in the Rio do Rasto Formation deposits (*e.g.*, *Comperesia emerita*). According to Beurlen (1954), Rohn (1994) and Simões *et al.* (1998) this change in the faunal composition of the Rio do Rasto Formation could be possibly related with the high stress in shallow waters environments that experienced a decrease in their salinity during the final regression

and geographic isolation of the Paraná Basin. Thus, the environmental conditions probably became adverse to the species of the *P. illusa* and *P. neotropica* biozones and, on the other hand, favorable to the success of the bivalve faunas of the *T. curvata*, *L. similis* and *P. platinensis* biozones.

5. SUMMARY

The systematic investigation of the bivalve fauna from the kilometer 44.6 (PR-239) adds new and important evidence to support the hypothesis of a new bivalve Biozone in the basal portion of the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin. This bivalve assemblage includes the species of *Terraia curvata*, *Terraia bipleura*, *Asterlopsis prosoclina*, *Beurlenella elongatella*, *Leinzia curta* and *Couperesia emerita*. The species *Terraia curvata* is the most abundant bivalve form in this assemblage and since the stratigraphic range of this species seems to be restricted to this particular interval, it could possibly represent the best element to determinate this new bivalve assemblage.

Additionally, the bivalve fauna composition of the basal portion of the Rio do Rasto Formation could probably record a faunal turnover in the bivalve geological history of the Passa Dois Group. Also, the presence of forms related to *Terraia curvata* and *Couperesia emerita* in Permian sediments of the Gai-As Formation, Namibia provides important evidence of a probably biocorrelation between the African deposits and the basal portion of the Rio do Rasto Formation, suggesting an age no younger than the mid-Permian to this last sedimentary unit.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

Financial funds were provided by the Brazilian agency FAPESP (PROC. 2011/01975-0). Our thanks are also extended to the Department of Zoology, IBB/UNESP

and Sedimentary and Environmental Geology, IGc/USP, which provided laboratory and logistic facilities during the phases of this research.

7. REFERENCES

- ANELLI, L.E., 1999. *Invertebrados neocarboníferos das formações Piauí (Bacia do Parnaíba) e Itaituba (Bacia do Amazonas): taxonomia; análise cladística das subfamílias Oriocrassatellinae (Crassatellacea, Bivalvia) e Neospiriferinae (Spiriferoidea, Brachiopoda)*. 184p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ANELLI, L.E.; SIMÕES, M.G.; DAVID, J.M., 2010. A new Permian bivalve (Megadesmidae, Plesiocyprinellinae) from the Serrinha Member, Rio Do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. *Revista do IG*, 10(2), 13-21.
- BEURLEN, K.K., 1953. Considerações sobre alguns lamelibrânquios das camadas Terezina no Paraná. *Boletim da divisão de geologia e mineralogia*, 142, 7-40.
- BROMLEY, R.G. AND HEINBERG, C., 2006. Attachment strategies of organisms on hard substrates: A palaeontological view. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 232, 429– 453.
- CARTER, J.G. & 50 others, 2011. A Synoptical Classification of the Bivalvia (Mollusca). *Paleontological Contributions*, Number 4. Publication of the University of Kansas, Lawrence, Kansas, 1–47.
- COX, L.R., 1934. Triassic Lamellibranchia from Uruguay. *Annals and Magazine of Natural History*, 13, 264–273.
- DALL, W.H., 1889. On the hinge of pelecypods and its development, with an attempt toward a better subdivision of the group. *American Journal of Science*, 38, 445–462.
- DANA, J.D., 1847. Descriptions of fossil shells of the collections of the exploring expedition under the command of Charles Wilkes, U.S.N., obtained in Australia, from

- the lower layers of the coal formation in Illawarra, and from a deposit probably of nearly the same age at Harper's Hill, Valley of the Hunter. *American Journal of Science and Arts*, 4, 1151–1160.
- DAVID, J.M.; SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E.; ROHN, R.; HOLZFOERSTER, F., 2010. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: systematics, taphonomy and biostratigraphy. *Alcheringa*, 35, 497-516.
- DOMINICI, S. 2001. Taphonomy and palaeoecology of shallow marine macrofossils assemblages in a collisional setting (Late Pliocene-Early Pleistocene, western Emilia, Italy). *Palaios*, 16, 336-353.
- FERREIRA-OLIVEIRA, L.G. AND ROHN, R., 2010. Late Permian conchostracans from the uppermost Permian strata of the Paraná Basin, Brazil: Chronostratigraphic and paleobiogeographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 29, 371-380.
- FÉRUSAC, A.E., 1822. *Tableaux systématiques des animaux mollusques*. A. Bertrand, Paris and London, 111 pp.
- HERTWIG C.W.T.R., 1895. *Lehrbuch der Zoologie*. Gustav Fischer, Boulder, 599 pp.
- HOLDHAUS, K., 1918. Sobre alguns lamelibrânquios fósseis do sul do Brasil. *Serviço Geológico e Mineralógico*, 2, 1-24.
- HOLZ, M.; FRANÇA, A.B.; SOUZA, P.A.; IANNUZZI, R.; ROHN, R., 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America, *Journal of South American Earth Sciences*, 29(2), 381-399.
- HOLZFÖRSTER, F., 2000. *Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia*. Tese de Doutorado, University of Würzburg.
- HOLZFÖRSTER, F., 2002. Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia.

- HUENE, F., 1928. Ein Cynodontier aus des Trias Brasiliensis. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1928b, 251-270.
- KIDWELL, S.M., 1991. The stratigraphy of shell concentrations. *Topics in Geobiology*, 9, 211-290.
- MARANHÃO, M.S.A.S., 1986. *Contribuição ao conhecimento da malacofauna das camadas basais da Formação Corumbataí (Permiano), Estado de São Paulo*. 88p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MELLO, L. H. C., 1999. *Análise cláustica dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil: implicações taxonômicas, evolutivas e paleobiogeográficas*. 160p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- MENDES, J.C.M., 1944. Lamelibrânquios Triássicos de Rio Claro (Estado de São Paulo). *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 45 (Geologia 1), 41-76.
- MENDES, J.C.M., 1945. Considerações sobre a estratigrafia e idade da Formação Estrada Nova. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da universidade de São Paulo*, 50 (Geologia 2), 27-34.
- MENDES, J.C.M., 1949. Novos lamelibrânquios fósseis da Série Passa Dois, Sul do Brasil. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral*, 133, 1-40.
- MENDES, J.C.M., 1952. A Formação Corumbataí na região do Rio Corumbataí. (Estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). *Boletim da FCLF-USP*, 145, Geologia, 8, 119p.
- MENDES, J.C.M., 1954. Contribuição à estratigrafia da Série Passa Dois no Estado do Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 175 (Geologia 10), 1-119.
- MENDES, J.C.M., 1962. Lamelibrânquios permianos do oólito de Angatuba, Estado de São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 11, 37-56.

- MENDES, J.C.M., 1963. Lamelibrânquios permianos do Estado de Mato Grosso (Formação Estrada Nova). *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 12, 57-64.
- MEZZALIRA, S., 1957. Ocorrências fossilíferas novas da Série Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 1, 15-34.
- MORRIS N.J., DICKINS, J.M.; ASTAFIEVA-URBAITIS, K., 1991. Upper Paleozoic Anomalodesmatan Bivalvia. *Bulletin of the British Museum of Natural History, (Geology)*, 47, 51-100.
- REED, F.R.C., 1929. Faunas Triássicas do Brasil. *Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, 9, 1-83.
- REED, F.R.C., 1932. Some new Triassic fossils from Brazil. *The Annals and Magazine of Natural History*, 10, 479-487.
- REED, F.R.C., 1935. Some Triassic lamellibranchs from Brazil and Paraguay. *Geological Magazine*, 72, 33- 42.
- ROHN, R., 1988. *Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, Estado do Paraná)*. 331p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROHN, R., 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. 480p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ROHN, R. AND SIMÕES, M.G., 1997. Pelecypods of the basal Serrinha Member (Rio do Rasto Formation, Passa Dois Group, Upper Permian) at the Reserva-Cândido de Abreu region of the Paraná State. *In: XV Congresso Brasileiro de Paleontologia (São Pedro)*, Boletim de Resumos, 1:72.
- ROHN, R., 2007. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. *In: I Workshop - Problems in the Western Gondwana Geology, South*

- America - Africa correlations: du Toit revisited (Gramado), Extended Abstracts, 1, 151-157.
- RUGGIERO, E.T. AND ANNUNZIATA, G. 2002. Bioerosion on a *Terebratulina scillae* population from the Lower Pleistocene of Lecce area (Southern Italy). *Acta Geologica Hispanica*, 37, 43-51.
- RUNNEGAR, B., 1974. Evolutionary history of the bivalve Subclass Anomalodesmata. *Journal of Paleontology*, 48, 904-939.
- RUNNEGAR, B. AND NEWELL, N.D., 1971. Caspian- like relict moluscan fauna in the South America Permian. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 146, 1-66.
- STANLEY, S.M., 1970. Relation of shell form to life habits of the Bivalvia (Mollusca). *Memoir of the Geological Society of America*, 125, 1-296.
- SIMÕES, M.G. AND KOWALEWSKI, M., 1998. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Facies*, 38, 175-196.
- SIMÕES, M.G.; MARQUES, A.C.; MELLO, L.H.C.; ANELLI, L.E., 1997. Phylogenetic analysis of the genera of the extinct family Megadesmidae (Pelecypoda, Anomalodesmata), with remarks on its paleoecology and taxonomy. *Journal of Comparative Biology*, 2, 75-90.
- SIMÕES, M.G.; ROCHA-CAMPOS, A.C.; ANELLI, L.E., 1998. Paleoecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: JOHNSTON, P.A.; HAGGART, J.W. (Ed.) *Bivalves - An Eon of evolution: paleobiological studies honoring Norman D. Newell*. Calgary: University of Calgary Press, 443-452.
- WANKE, A., 2000. Karoo- *Etendeka Uncoformites in NW Namibia and their Tectonic Implications*. Ph.D Thesis, Würzburg University, Alemanha.
- WESSELING, F.P., 2007. Long-lived lake molluscs as island faunas: a bivalve perspective, p. 275-314. In: *Biogeography, time and place: distributions, barriers and islands*, Springer.

FIGURES CAPTIONS

Figure 1. Schematic chart of the Passa Dois Group, Permian, showing the bivalve Assemblage Biozones of the eastern margin of the Paraná Basin (based on Rohn, 1994, 2007).

Figure 2. Location of the Passa Dois Group outcrop area in the eastern Paraná Basin, southern Brazil, and the occurrence of the bivalve assemblage between the towns of Cândido de Abreu and Reserva, Paraná State (modified from Rohn, 1994 and Ferreira-Oliveira and Rohn, 2010).

Figure 3. Section of the outcrop at kilometer 44.6 (PR-239 road) between the towns of Cândido de Abreu and Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation Paraná Basin (based on Rohn 1988, 1994).

Figure 4. *Terraia curvata* (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. **A**, Internal mold of left valve, URCMB-300(2); **B**, Latex cast of internal mold, left valve, same specimen; **C**, Drawing representation of the hinge features, based in the same specimen. Arrow indicates the triangular socket of the left valve; **D**, Internal mold of right valve, URCMB-300(69); **E**, Latex cast of internal mold, right valve, same specimen; **F**, Drawing representation of the hinge features, based in the same specimen. Arrow indicates the large and well defined triangular tooth; **G**, Internal mold of left valve, URCMB-300(4); **H**, internal mold of left valve, URCMB-300(44); **I**, Internal mold of left valve, URCMB-300(82). All the scale bars=0.5cm.

Figure 5. A-C, *Asterlopsis prosoclina* (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. **A**, Internal mold of right valve, URCMB-300(33); **B**, Drawing representation of the muscle scars, based in the same specimen; **C**, Latex cast of internal mold, right valve, same specimen; **D**, *Terraia bipleura* (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of external mold, left valve, URC-MB-300 (11). **E**, *Comperesia emerita* (Reed, 1929), Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of external mold, right valve, URCMB-300(31); **F**, *Leinzia curta* Beurlen, 1954, Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of internal mold, left valve, URCMB-300(14); **G**, *Beurlenella elongatella* Anelli *et al.*, 2010, Road PR-239, km 44,6, Cândido de Abreu-Reserva, Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. Latex cast of internal mold, articulated valves, URC-MB-300 (58). Arrows indicate the blunt tooth in the right valve. **H-I**, *Beurlenella elongatella*, Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil, figured by Anelli *et al.*, 2010. **H**, Plasticine cast of internal mold, articulated shells, GP/1E 4825; **I**, Plasticine cast of internal mold, articulated shells, GP/1E 4815. Arrows indicate the blunt tooth in the right valve. All scale bars= 0.5 cm.

TABLE CAPTIONS

Table 1. Measurements of *Terraia curvata*.

Table 2. Measurements of *Terraia bipleuria*.

Table 3. Measurements of *Asterlopsis prosoclina*.

Table 4. Measurements of *Beurlenella elongatella*.

Table 5. Measurements of *Comperesia emerita*.

Table 6. Measurements of *Leinzia curta*.

CHRONOSTRATIGRAPHY				LITHOSTRATIGRAPHY		BIVALVE ASSEMBLAGES	DEPOSITIONAL ENVIROMENT		
				GROUP	FORMATION			MEMBER	
PERMIANO	CISURALIANO	LOPINGIANO	RIO DO RASTO	MORRO PELADO		<i>Palaeomutela? platinensis</i>	EOLIC SYSTEM		
		WUCHIAPINGIANO							
	KUNGURIANO	WORDIANO		SERRINHA				<i>Leinzia similis</i>	SHALLOW LAKE
		CAPITANIANO							
	KUNGURIANO	KAZANIANO	TERESINA			<i>Pinzonella neotropica</i>	INTERIOR SHALLOW SEA		
		TATARIANO							
	KUNGURIANO	KAZANIANO	SERRA ALTA			<i>Pinzonella illusa</i>			
									<i>Anhembia froesi</i>
	PASSA DOIS								

FIGURE 1

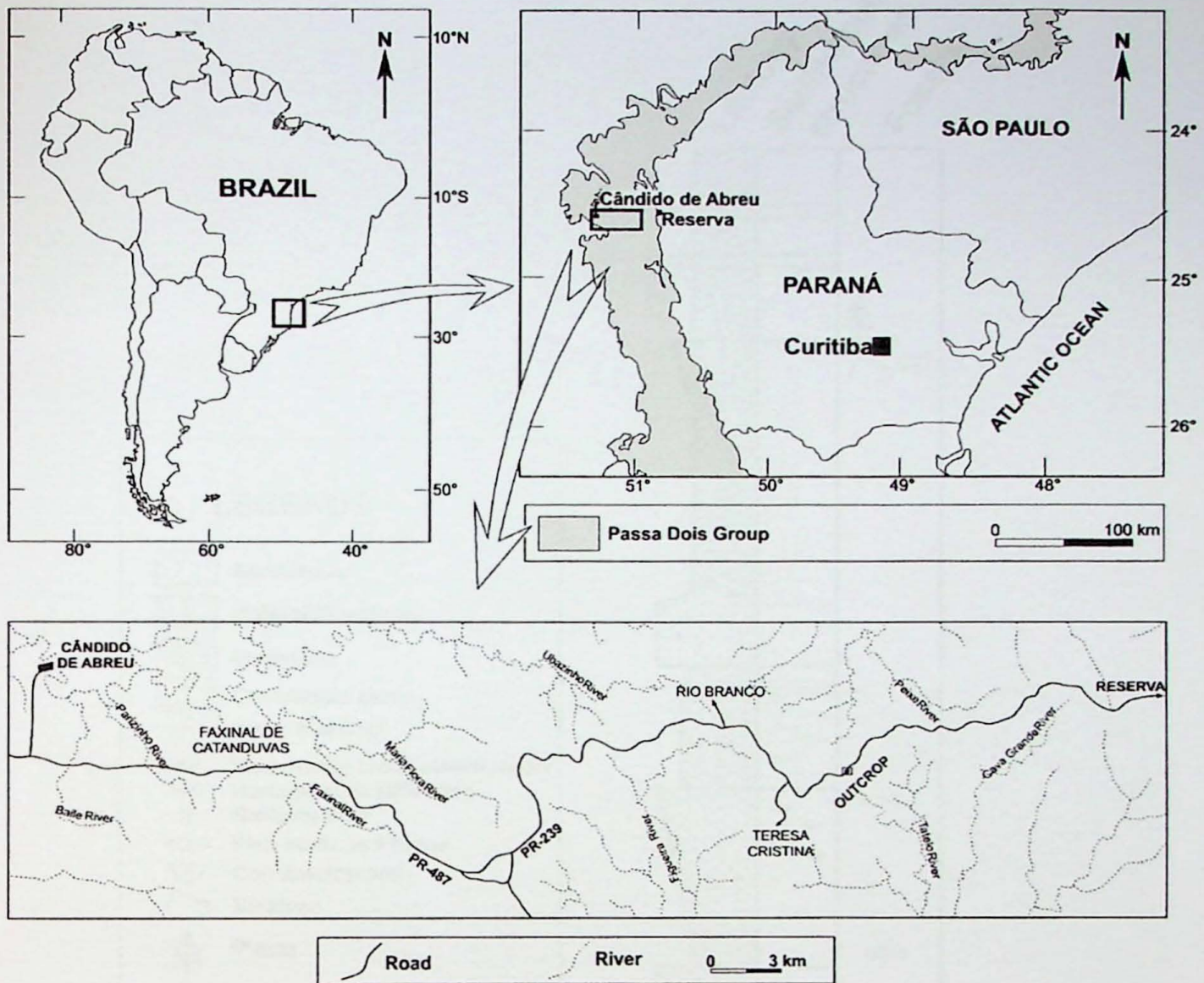


FIGURE 2

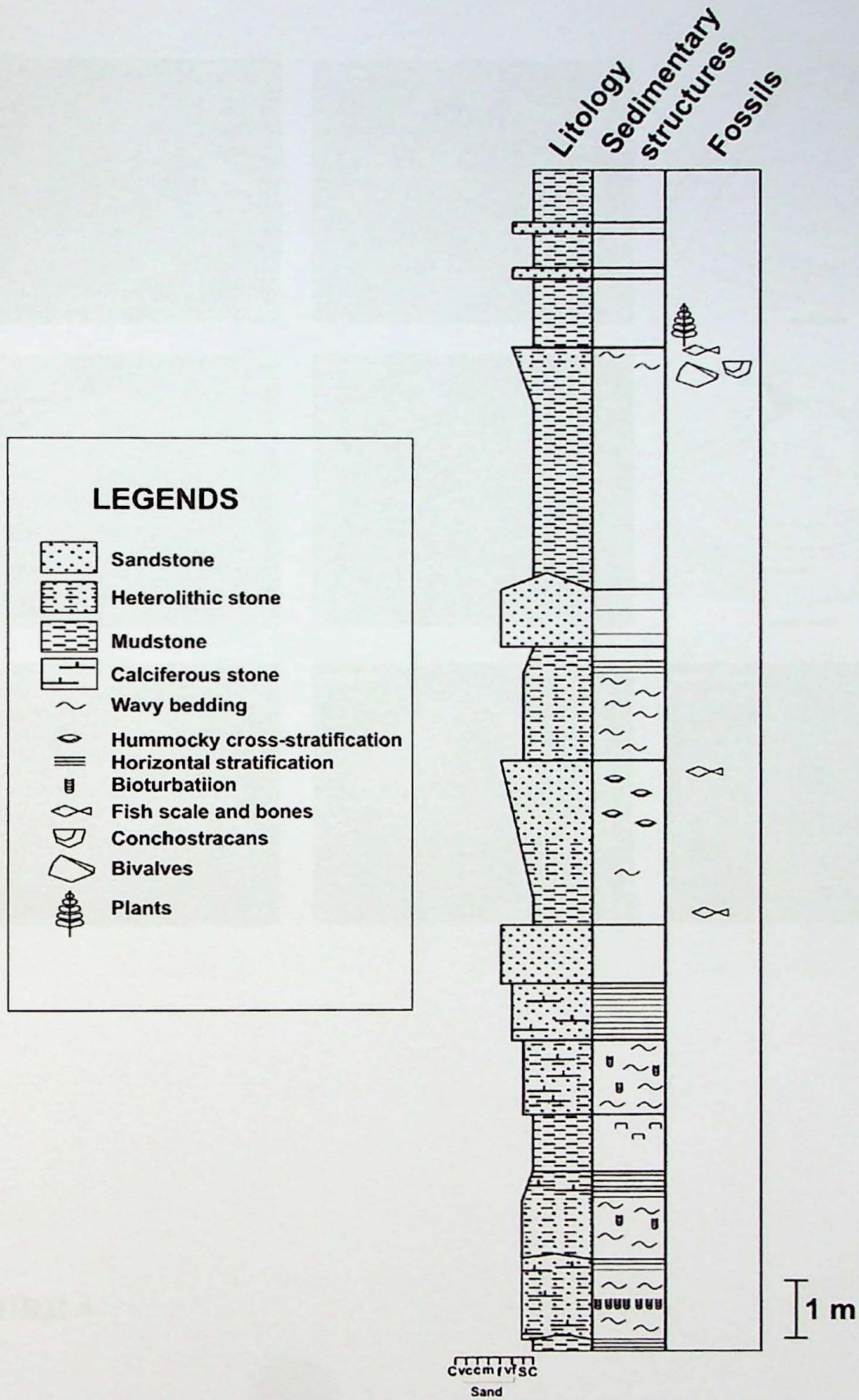


FIGURE 3

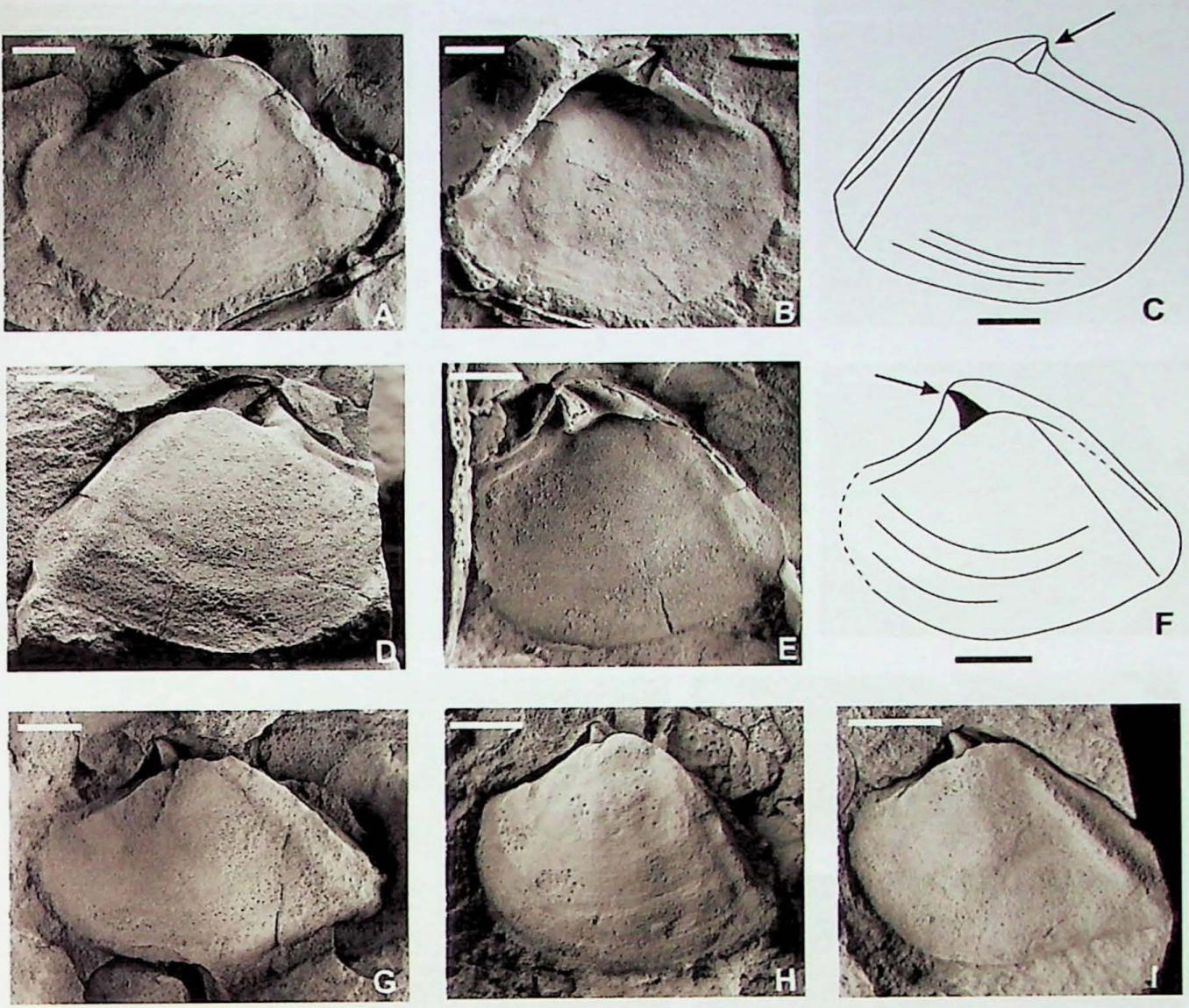


FIGURE 4

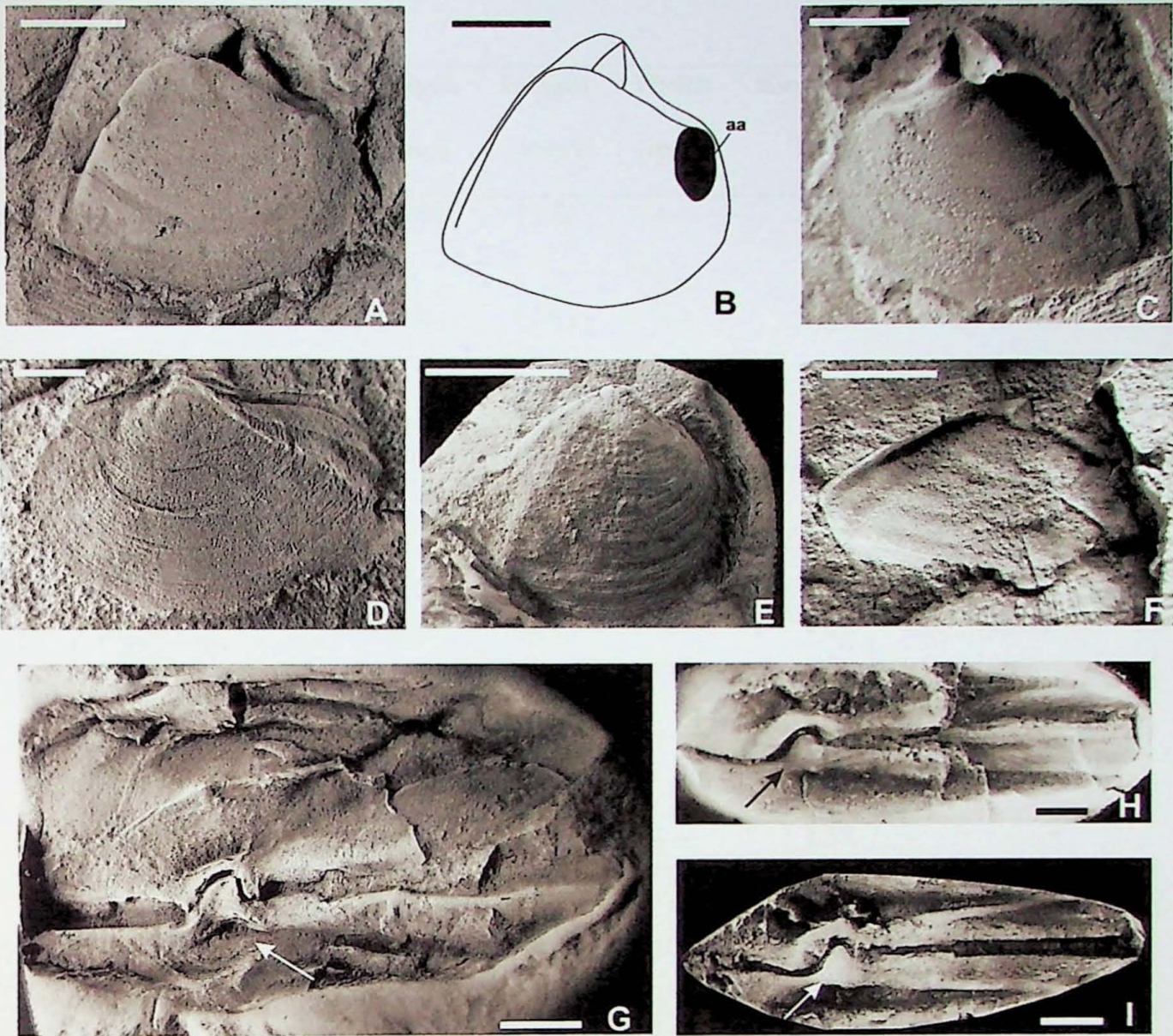


FIGURE 5

Table 1.

Specimen code	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
		(mm)	(mm)	(mm)	L/H	H/W
URCMB-300(2a)	L	20.63	15.64	----	1.32	----
URCMB-300(2b)	L	12.86	10.55	----	1.22	----
URCMB-300(3c)	R	13.87	12.29	----	1.13	----
URCMB-300(4)	L	31.05	22.67	----	1.37	----
URCMB-300(12)	L	15.92	14.83	----	1.07	----
URCMB-300(27)	R	----	13.78	----	----	----
URCMB-300(30a)	L	28.56	18.74	----	1.52	----
URCMB-300(30b)	R	----	----	----	----	----
URCMB-300(32)	R/L	----	----	----	----	----
URCMB-300(34a)	L	32.84	28.91	----	1.14	----
URCMB-300(34b)	R/L	----	----	----	----	----
URCMB-300(40a)	L	27.84	19.16	----	1.45	----
URCMB-300(40b)	L	21.36	14.78	----	1.45	----
URCMB-300(41a)	R	17.56	----	----	----	----
URCMB-300(41b)	L	22.82	16.55	----	1.38	----

URCMB-300(43)	R	----	----	----	----	----
URCMB-300(44)	L	20.30	20.04	----	1.01	----
URCMB-300(53a)	L	15.78	11.24	----	1.40	----
URCMB-300(53e)	L	26.77	20.45	----	1.31	----
URCMB-300(69a)	R	18.45	----	----	----	----
URCMB-300(69b)	R	----	21.37	----	----	----
URCMB-300(69d)	R	23.89	18.43	----	1.30	----
URCMB-300(71a)	L	18.36	12.99	----	1.41	----
URCMB-300(71c)	R	19.45	13.27	----	1.47	----
URCMB-300(82)	L	25.38	19.37	----	1.31	----
URCMB-300(86)	L	18.00	14.36	----	1.25	----
URCMB-300(96)	R	11.64	8.04	----	1.45	----
URCMB-300(97)	L	17.56	14.78	----	1.19	----
URCMB-300(101)	L	19.75	----	----	----	----
URCMB-300(103)	L	----	----	----	----	----
URCMB-300(116)	L	13.26	----	----	----	----
URCMB-300(118)	R	21.43	19.67	----	1.09	----

URCMB-300(121)	R	18.35	15.69	----	1.17	----
URCMB-300(125a)	R	13.83	12.48	----	1.11	----
URCMB-300(125b)	R/L	----	----	----	----	----
URCMB-300(125d)	L	12.72	10.45	----	1.22	----
URCMB-300(126)	R	28.76	21.32	----	1.35	----
URCMB-300(144a)	L	26.43	21.23	----	1.24	----
URCMB-300(146a)	R	27.64	21.48	----	1.29	----
URCMB-300(146b)	R	23.44	18.56	----	1.26	----
URCMB-300(154)	R	17.34	11.29	----	1.54	----
URCMB-300(156)	R	20.87	16.99	----	1.23	----
URCMB-300(158)	L	----	15.26	----	----	----
URCMB-300(159)	R	33,35	21,96	----	1.52	----

Table 2.

Specimen code	Valve	Length (mm)	Height (mm)	Width (mm)	Elongation L/H	Obesity H/W
URCMB-300(11)	L	19.44	14.00	----	1.38	----
URCMB-300(93)	L	16.17	12.00	----	1.34	----

Table 3.

Specimen code	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
		(mm)	(mm)	(mm)	L/H	H/W
URCMB-300(8)	R	8.20	8.50	----	0.96	----
URCMB-300(19)	R	11.90	10.15	----	1.17	----
URCMB-300(33)	R	14.00	15.80	----	0.89	----
URCMB-300(44)	R	20.30	20.00	----	1.02	----
URCMB-300(45)	L	12.08	----	----	----	----
URCMB-300(48b)	L	11.68	10.56	----	1.11	----
URCMB-300(63a)	R	----	9.57	----	----	----
URCMB-300(63b)	L	13.82	12.45	----	1.11	----
URCMB-300(87)	R	11.87	9.98	----	1.19	----
URCMB-300(113)	R	10.25	9.67	----	1.06	----
URCMB-300(117)	L	13.22	----	----	----	----
URCMB-300(138)	L	10.76	9.56	----	1.13	----
URCMB-300(141)	R	11.22	10.39	----	1.08	----

Table 4.

Specimen code	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
		(mm)	(mm)	(mm)	L/H	H/W
URCMB-300(58)	R/L	----	----	15.62	----	----

Table 5.

Specimen code	Valve	Length	Height	Width	Elongation	Obesity
		(mm)	(mm)	(mm)	L/H	H/W
URCMB-300(16a)	L	10.44	8.85	----	1.18	----
URCMB-300(16b)	L	----	10.21	----	----	----
URCMB-300(21)	L	11.06	9.87	----	1.12	----
URCMB-300(28)	L	11.21	8.42	----	1.33	----
URCMB-300(71a)	L	11.52	9.51	----	1.21	----
URCMB-300(77)	R	18.30	15.82	----	1.16	----
URCMB-300(93b)	R	15.03	12.82	----	1.17	----

Table 6.

Specimen code	Valve	Length (mm)	Height (mm)	Width (mm)	Elongation L/H	Obesity H/W
URCMB-300(14a)	R	17.78	10.00	----	1.77	----
URMB-300(14b)	L	18.21	11.24	----	1.62	----
URCMB-300(68)	R	21.68	10.45	----	2.07	----

ANEXO 3

ARTIGO 3

THE PERMIAN TIARAJU BIVALVE FAUNA REVISITED: BIOSTRATIGRAPHIC
AND PALEOBIOGEOGRAPHIC SIGNIFICANCE

JULIANA MACHADO DAVID

*Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geotectônica, Universidade de São Paulo, SP,
Brasil. <julianamdavid@gmail.com.br>*

LUIZ EDUARDO ANELLI

*Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil.
<anelli@usp.br>*

CARLA KLEIN

*Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM, Superintendência Regional de Porto Alegre,
Porto Alegre, RS. <cklein@terra.com.br>*

MARCELLO GUIMARÃES SIMÕES

*Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Distrito de Rubião Junior, Botucatu, SP, Brasil.
<profmgmsimoes@gmail.com>*

ABSTRACT

The Permian bivalve mollusk fauna of the Paraná Basin evolved in a shallow and large inland sea, under conditions of geographical isolation and variable salinity regimes. Although this bivalve fauna has received renewed attention in the last decade, the true evolutionary history of these unique invertebrates is still obscure because of the incomplete and biased information on its systematics. Indeed, most of the studies dealing with the systematics of the Permian Passa Dois Group bivalves have focused on the faunas preserved in rocks of the Teresina and Corumbataí formations. The majority of these studies are based on materials that were collected in outcrops of the eastern border of the Paraná Basin, especially in the Brazilian states of São Paulo and Paraná. In this context, the systematic revision of the Tiaraju bivalve assemblage, the only known occurrence of Permian bivalves in the Passa Dois Group of Rio Grande do Sul State, Brazil, adds new information about the systematics, biostratigraphy, and paleobiogeography of this Permian bivalve fauna. The systematic revision of this assemblage revealed the presence of *Terraia falconeri*, *Terraia altissima*, *Holdhausiella elongata* and *Comperesia emerita*. The record of *C. emerita* and *T. altissima* indicates a biocorrelation with deposits of the Permian Gai-As Formation, in the Huab area, Namibia, providing an age no younger than the mid-Permian (Wordian-Captianian) to these Brazilian deposits. The placing of the Tiaraju assemblage in the biostratigraphic scheme of the Passa Dois Group bivalve biozones is still in dispute, since our results groups together bivalves species that are not commonly found in the same assemblage. Also, the occurrence of Tiaraju fauna adds evidence that during certain times in the geological history of the Paraná Basin, the bivalve species were not geographically restricted to certain areas within it.

1. INTRODUCTION

The Permian bivalve mollusk fauna of the Paraná Basin evolved in a shallow and large inland sea, under conditions of geographical isolation and variable salinity regimes (Runnegar and Newell, 1971; Simões *et al.*, 1998). Despite these conditions, the Passa Dois Group bivalve fauna flourished and dominated the benthic fauna within this inland sea. This fauna was first described by Holdhaus (1918), and part of them was carefully revised by Runnegar and Newell (1971). Since these authors, new researches aiming to elucidate its systematics (Simões *et al.*, 1997; Simões *et al.*, 1998; Mello, 1999; Simões *et al.*, 2010; Anelli *et al.*, 2010), taphonomy (Torello and Simões, 1994; Simões *et al.*, 1996; Simões and Kowalewski, 1998; Simões *et al.*, 2000; Simões and Torello, 2003; Neves *et al.*, 2010; Neves *et al.*, 2011), paleoecology (Ghilardi, 1999; Kowalewski *et al.*, 2000; Ghilardi and Simões, 2002) and paleobiogeography (Simões *et al.*, 2010; David *et al.*, 2011) were carried on during the last decade (Wesselingh, 2007; Simões *et al.*, 2010).

Although this bivalve fauna has received renewed attention in the last decade, the true evolutionary history of these unique invertebrates is still obscure because of the incomplete and biased information on its systematics (Simões *et al.*, 2010). Indeed, most of the studies dealing with the systematics of the Permian Passa Dois Group bivalves have focused on the faunas preserved in rocks of the Teresina and Corumbataí formations, while the bivalves from the Serra Alta and Rio do Rasto formations are still poorly studied and described (for additional discussion see Simões *et al.*, 2010). Additionally, the majority of these studies are based on materials that were collected in outcrops of the eastern border of the Paraná Basin, especially in the Brazilian states of São Paulo and Paraná. In this context, the systematic revision of the Tiaraju bivalve assemblage (Cunha, 1972; Klein, 1997), the only known occurrence of Permian bivalves in the Passa Dois Group of Rio Grande do Sul State, Brazil, can improve knowledge of the systematics, biostratigraphy, and paleobiogeography of this unique Permian bivalve fauna.

1.1. BACKGROUND

The Tiaraju bivalve fauna represents the only known occurrence of Permian bivalves in the Passa Dois Group of Rio Grande do Sul State, Brazil. This bivalve assemblage is found in carbonate concretions in the upper portion of laminated mudstones that are tentatively placed in the Teresina Formation (Klein, 1997). This fauna was first described by Cunha (1972), who assigned the specimens to the genus *Cowperesia?* sp. Later, Klein (1997) presented a taxonomic list including the following species: *Pinzonella tiarajuensis* (*nomen nudum*), *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918), *Jacquesia elongata* (Holdhaus, 1918), *Jacquesia* sp., *Pyramus? emerita* (Reed, 1929) and *Naidopsis?* sp. Unfortunately, the Tiaraju bivalve fauna was not officially described, according to the rules of the International Code of Zoological Nomenclature.

During a re-examination of the Permian bivalve faunas of the Passa Dois Group, a close resemblance between some of the Tiaraju specimens illustrated by Klein (1997) and Permian specimens from Namibia described by David *et al.* (2010) was surprisingly noted. These authors tentatively correlated fossil bivalves from the Gai-As Formation, Namibia with mid-Permian taxa of the Rio do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. The Namibian fauna includes *Huabiella compressa*, *Terraia* sp. cf. *T. altissima*, *Terraia* sp. cf. *T. curvata* and *Cowperesia emerita*.

Radiometric dating of zircon grains from tuff beds found in the upper part of the Gai-As succession provide U/Pb ages of 265 ± 2.5 Ma (Holzfoester, 2002; Wanke, 2000), an interval equivalent to the Wordian-Capitanian boundary of the Guadalupian. In this way, the possible biocorrelation between the Tiaraju deposits with those of the Permian Gai-As Formation is worthy of investigation, once it can be used as an important geochronology tool. Most significantly, following Klein's study, the placing of the Tiaraju assemblage in the biostratigraphic scheme of the bivalve biozones of the Passa Dois Group (see Rohn, 1994) is still in dispute, since this author documents specimens that are not commonly

related in the same assemblages. Hence, the main purpose of this contribution is to present a systematic review of the Tiaraju fauna, in order to elucidate these issues.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. GEOLOGICAL SETTING

The outcropping area yielding the bivalve fauna is located in Tiarajú region, São Gabriel Municipality, Rio Grande do Sul State, Brazil (Fig. 1). Access to the area is through the road leading from Tiaraju to Coxilho-Pau Fincado, where Klein (1997) performed a lithostratigraphic study and identified the Paraná Basin geological units of the Serra Alta, Teresina and Rio do Rasto formations (Fig. 2).

According to Klein (1997), the Permian succession in Tiaraju, São Gabriel Municipality, comprises dark-gray mudstones (interpreted as distal offshore deposits) and mudstones with wavy linsen bedding associated with hummocky cross-stratification (interpreted as proximal offshore deposits), overlain by laminated mudstone (interpreted as distal offshore deposits). Sandstones with cross-stratification associated with red mudstones are found above the laminated mudstone in abrupt contact (Klein, 1997). Stratigraphically, the dark-gray mudstone represents the Serra Alta Formation, and the mudstones with wavy linsen bedding, hummocky cross-stratification and laminated mudstones correspond to the Teresina Formation. Finally, the sandstones with cross-stratification associated with red mudstones may represent facies of the Rio do Rasto Formation (Klein, 1997) (Fig. 3).

The Tiaraju bivalve assemblage is found in carbonate concretions in the upper portion of the laminated mudstones, in a 15 cm fossiliferous horizon (Klein, 1997; Klein *et al.*, 1999). Based on the taphonomic attributes of the fossil assemblage, Klein and Simões (1998) suggested that the deposition of the skeletal elements would possible be a result of

episodic sedimentation, probable associated to storms, assuming the fossil concentration as a distal tempestite.

2.2. FOSSIL COLLECTION AND SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

Here we revisited the Tiaraju bivalve collection that are housed in the Paleontology Museum of the Vale do Rio dos Sinos University (UNISINOS), Rio Grande do Sul State, Brazil, under the code MPU. The material comprises more than 100 specimens, including preserved shells and internal and external molds. A carefully examination of the material was carried on and those specimens that could contribute to the systematic paleontology were separated for this study. Additionally, we investigated 27 latex molds from the Tiaraju bivalve fauna that are deposited in the scientific collection of the Zoology Department, São Paulo State University, Botucatu Campus, under the code DZP. The preparation of the material included plasticine casts (FIMO brand) and impregnation with magnesium to highlight the internal anatomical characters, including possible muscle scars and hinge features (Anelli, 1999). The suprageneric systematics was based on Morris *et al.* (1991) and Carter *et al.* (2010). The morphological terminology and systematic classification of pachydomids (=megadesmids in previous works) was based on Mendes (1952), Runnegar and Newell (1971), Runnegar (1974) and Simões *et al.* (1997). The index of elongation and obesity was interpreted following Stanley (1970).

3. RESULTS

3.1. SYSTEMATIC PALEONTOLOGY

Infraclass HETEROCONCHIA Hertwig, 1895

Cohort CARDIOMORPHI Férussac, 1822

Subcohort CARDITIONI Dall, 1889

Order CARDITIDA Dall, 1889

Superfamily CRASSATELLOIDEA Férussac, 1822

Family uncertain

Terraia Cox, 1934

Type species. *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918).

Terraia falconeri (Cox, 1934) (Fig. 4)

Type species. *Pseudocorbula falconeri* Cox, 1934.

Examined Material. Eleven shells (MPU- 4317, 4337, 4382, 4403, 4405, 4433, 4436, 4467, 4507, 4512, 4518, 4522) and four internal molds (MPU- 4317, 4403, 4436, 4518).

Locality and unit. Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin.

Age. Permian, Guadalupian.

Description. Shell small, subtriangular, equivalved, equilateral, equant to moderately elongated (Table 1). One posterior umbonal carinae is present, extending from the umbonal region to the postero-ventral angle. Parallel to the umbonal carinae a second

carina faintly marked can be observed. Umbones rounded, beaks prosogyrous; well-defined and long escutcheon and lunule, with escutcheon extending entirely through posterior dorsal margin of the shell. Posterior dorsal margin straight to slightly concave; posterior extremity truncated, defining a short and straight respiratory margin; ventral margin rounded; anterior dorsal margin slightly convex. External surface of the shell covered by commarginal growth lines and largely spaced narrow rugae. Hinge plate of the left valve with thick posterior and anterior lateral margins, both ending bellow umbones as a slightly elevated bump separated by a well-defined and deep triangular socket located immediately bellow beak. Muscles scars and hinge features of right valve were not observed.

Discussion. The material here described as *Terraia falconeri* was first interpreted by Klein (1997) as *Pinzonella tiarajuensis* (*nomen nudum*). Actually, our shells resembles in external appearance *P. illusa* illustrated by Runnegar and Newell (1971, fig 19b, h, j), since both shells share in common a triangular shape, a slightly marked umbonal carinae, and the external surface of shell ornamented only by irregular spaced growth lines. However, the hinge plate in the left valve of the Tiaraju specimens is not sturdy developed (thick) and the cardinal and lateral teeth are virtually absent. Additionally, a posterior socket present in the hinge of *P. illusa* shells is also absent. Considering these differences and the presence of a well-defined lunule in the Tiaraju specimens (both *Pinzonella* species shows a poorly defined lunule), we do not believe that our specimens could be related to the genus *Pinzonella*. It is noteworthy that the left hinge plate of our specimens is very similar to that described by Beurlen (1953) to designate the species *Terraia falconeri*. Both are characterized by a thickening of the posterior and anterior lateral margins, that ends bellow umbones as a slightly elevated bump separated by a well-defined and deep triangular socket located immediately bellow beak. Also, the external features present in the Tiaraju specimens are very similar to that described to *T. falconeri* by Beurlen (1953), including the general shell

shape, the prosogyral beaks and the second faintly marked carinae. Considering this, we designate the Tiaraju specimens under the species *Terraia falconeri*.

Terraia altissima (Holdhaus, 1918) (Fig. 5a,b)

Type species. *Solenomorpha altissima* Holdhaus, 1918.

Examined Material. Two internal molds (DZP- 4327, 4330).

Locality and unit. Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin.

Age. Permian, Guadalupian.

Description. Shell small, equivalved, inequilateral, moderately elongated to elongated (Table 2). Two well-defined posterior umbonal carinae extend from umbonal region to the postero-dorsal and postero-ventral angles; the ventral carinae bears around seven visible protuberances (knobs). The knobs are faintly visible in the internal mold. The ventral carinae is more pronounced than the dorsal, which borders the escutcheon ventrally. Umbones low. Anterior dorsal margin slightly convex; anterior margin rounded; posterior margin straight, angular where intercepted by the two posterior carinae. Hinge of right valve partially preserved, showing a well-defined triangular cardinal tooth; anterior and posterior dorsal margins of right valve bordered ventrally by an elongated lateral tooth; immediately above an elongated socket is present possibly for receiving the anterior and posterior dorsal edges of left valve. External ornament of faint co-marginal spaced growth lines which may become distinctly lamellose behind umbonal carinae. Ligament and muscle scars were not observed.

Discussion. The genus *Terraia* has been described from several Permian localities in Brazil and Uruguay, and more recently in Africa. *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918) was firstly described from the basal portion of the Rio do Rasto Formation (Holdhaus, 1918), and posteriorly from northern Uruguay (Cox, 1934, Mendes, 1954, Runnegar and Newell, 1971). More recently, David *et al.* (2011) assigned as *Terraia* cf. *T. altissima* some bivalves founded in the Gai-As Formation, Huab area, Namibia. Runnegar and Newell (1971, p. 50) summarized a list of generic characters for the genus *Terraia*. The specimens from Tiaraju assemblage bear the majority of these characters (i.e. absence of lunule, triangular cardinal tooth in right valve, an obscure lateral teeth and socket). *Terraia altissima* here described also shows most of the diagnostic features listed by Runnegar and Newell (1971), as present in the type species of the genus, including double umbonal carinae, the presence of escutcheon and the absence of lunule. Yet, *Terraia* cf. *T. altissima* from the Gai-As Formation, Namibia, is very similar to the material here described in its external morphology, comprising the two well defined posterior umbonal carinae, the lamellose commarginal ornament and low umbones.

Infraclass HETEROCONCHIA Hertwig, 1895

Megaorder SOLENATA Dall, 1889

Order HIATELLIDA Carter, 2011

Superfamily EDMONDIOIDEA King, 1850

Family PACHYDOMIDAE Fischer, 1887

Subfamily PACHYDOMINAE Fischer, 1887

Tribe PLESIOCYPRINELLINI Simões *et al.*, 1997

Holdhausiella Mendes, 1952

Type species. *Holdhausiella elongata* (Holdhaus, 1918).

Discussion. Runnegar and Newell (1971) considered as synonyms under the genus *Jacquesia* species previously described as belonging to *Holdhausiella* Mendes, 1952 and *Favalia* Mendes, 1962. After this, four species were recognized as belonging to the genus *Jacquesia*: *Jacquesia brasiliensis* Reed, 1929, *Jacquesia arcuata* (= *Favalia arcuata* Mendes, 1962), *Jacquesia elongata* [= *Holdhausiella elongata* (Holdhaus, 1918)] and *Jacquesia almeidai* (= *Holdhausiella almeidai* Mendes, 1952). Mello (1999) carried on a cladistic analysis for some bivalve species (Megadesmidae, Veneroidea) of the Permian Passa Dois Group, including the individual taxa species recognized by Runnegar and Newell (1971) under the genus *Jacquesia*. As a result of this analysis, the synonyms proposed by Runnegar and Newell (1971) was not supported, with the species remaining in different genus, as previously proposed: *Jacquesia*, represented by *J. brasiliensis*, *Holdhausiella* including the species *H. elongata* and *H. almeidai*, and *Favalia*, with the species *F. arcuata*. Mello (1999) also considered the possibility of *H. elongata* and *H. almeidai* be synonyms. Based on the fact that they are indeed very distinct of the type material of *Jacquesia*, we follow the interpretation made by Mello (1999).

Holdhausiella elongata (Holdhaus, 1918) (Fig. 5d,e)

Type species. *Sanguinolites elongates* Holdhaus, 1918.

Examined Material. Seven internal molds (DZP-4307c, 4324, 4345, 4366, 4335a, b, 4347).

Locality and unit. Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin.

Age. Permian, Guadalupian.

Description: Shell small to medium-sized, equivalved, inequilateral, elongated to very elongated (Table 3) and posteriorly expanded, with shallow lateral sulcus and slightly arched carinate umbonal ridge. Umbones low, beaks prosogyrates; posterior umbonal slope slightly concave as seen in internal molds; anterior dorsal margin short and slightly concave; anterior extremity rounded; ventral margin nearly straight; posterior dorsal margin straight. External surface with faint commarginal irregularly spaced rugae. Hinge features and musculature not observed.

Discussion. *Holdhausiella elongata* (Holdhaus, 1918) was first proposed by Mendes, 1952, who considered the species *Sanguinolites elongates* described by Holdhaus, 1918 as a junior subjective synonym. This species is commonly recorded in sedimentary deposits of the Serra Alta and Teresina/Corumbataí formations, Paraná Basin. The Tiaraju material here described is very similar in shape and external features to *Jacquesia elongata* described and illustrated in Runnegar and Newell (1971, Fig. 16 A-J), including the posteriorly expanded shell, the carinate umbonal ridge, the anterior portion of the shell extremity rounded and the external surface with faint commarginal irregularly spaced rugae.

Couperesia emerita (Reed, 1929) (Fig. 6g,h)

Type species. *Pseudocorbula emerita* Reed, 1929.

Examined Material. Four shells (MPU- 4309, 4356, 4405, 4503) and three internal molds (MPU-4376, 4468; DZP-4323).

Locality and unit. Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin.

Age. Permian, Guadalupian.

Description. Shell small, subtriangular, equivalved, equilateral, equant to moderately elongated (Table 4). Two well defined and slightly curved posterior umbonal carinae are present, one extending from the umbonal region to the postero-ventral angle and the other close to the postero-dorsal margin. Very weak projections are evident where co-marginal growth lines cross the umbonal carinae. Anterior dorsal margin straight; anterior margin rounded; posterior margin straight. External ornament of fine, commarginal growth lines, superimposed by widely spaced, broad co-marginal rugae, also apparent on internal molds. Hinge features and musculature unknown.

Dicussion. The genus *Cowperesia* was first proposed by Mendes, 1952 and includes three species: *Cowperesia anceps* (Reed, 1935), *Cowperesia emerita* (Reed, 1929) and *Cowperesia camposi* Mendes, 1952. Runnegar and Newell (1971) suggested that this genus would be a junior subjective synonym of *Pyramus* Dana, 1847. However, as discussed in David *et al.* (2011, pgs. 506-7), this synonymy does not seem to be valid (see also Mello, 1999). The material from Tiaraju region is very similar to the specimens described as *Cowperesia emerita* by David *et al.* (2011) in the Gai-As Formation, Huab area, Namibia, especially in the external features of the shell, including the ornamentation, the double umbonal carinae and the shell shape. It also closely resembles the specimens of *C. emerita* founded in the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation, illustrated by Rohn (1994, p. 358, fig. 166-1a, b; p. 360, fig.168-7-9).

4. DISCUSSION

4.1. PALEOECOLOGY AND BIOSTRATIGRAPHY

According to our results, the Tiaraju bivalve fauna is dominated by carditids (=veneroida in previous works) and pachydomids (=megadesmids in previous works), the same groups that are overcoming in the faunas of Paraná Basin. The diversity of Tiaraju assemblage can be considered low, especially if compared with coeval faunas of the Late Permian deposits of Paraná Basin (see Runnegar and Newell 1971, Simões *et al.*, 1998). However, it is significantly more diversified than that described by Cunha (1972), and very similar to Klein's study (1997). Yet, it is noteworthy that the possible presence of *Naiadopsis*, as described by Klein (1997), was not identified, as well as the possibility of a new species of *Pinzonella*.

The placing of the Tiaraju assemblage in the biostratigraphic scheme of the Passa Dois Group bivalve biozones (see Rohn, 1994) (Fig. 6) is still in dispute, since our results groups together bivalves species that are not commonly found in the same assemblage. *Terraia falconeri* was recorded by Cox (1934) and Beurlen (1953) in Teresina deposits of Uruuguay and Brazil, related to the *Pinzonella neotropica* Biozone. *Holdhausiella elongata* is usually documented to deposits of the *Pinzonella illusa* Biozone, which stratigraphic range covers the superior portion of the Serra Alta Formation and the basal and middle portion of the Teresina/Corumbataí Formation. However, some few specimens were recorded to the biostratigraphic range of the *Pinzonella neotropica* Biozone (Rohn, 1994; Simões *et al.*, 1997). On the other hand, *Comperesia emerita* and *Terraia altissima* are commonly reported to assemblages presents in the Serrinha Member, Rio do Rasto Formation. In this way, the occurrence of this four species in a same deposit of the Passa Dois Group is unusual.

According to Klein (1997) and Klein *et al.* (1999) there is no evidence of the Serrinha Member deposits in Tiaraju region. These authors identified only facies correlated

with the Morro Pelado Member of the Rio do Rasto Formation, and described an abrupt contact between the Teresina Formation and Rio do Rasto Formation, characterized by an erosion (Fig. 3). In this way, according to our results, the portion next to the top of the Teresina Formation in Tiaraju region could be chronocorrelated to the lower portion of the Serrinha Member (Rio do Rasto Formation) from others areas of the Paraná Basin, such as Santa Catarina and Paraná states. This interpretation could possibly constitute an explanation to the fact that the Tiaraju bivalve fauna comprises an unusual assemblage of species related to different biostratigraphic units.

This interpretation is in accordance with the presence of *C. emerita* and *T. altissima*, which also occur in the Permian sedimentary rocks of the Gai-As Formation, Namibia that are correlated to the lower portion of Serrinha Member (David *et al.*, 2011). Radiometric dating of zircon grains from tuff beds found in the upper part of the Gai-As succession provide U/Pb ages of 265 ± 2.5 Ma (Holzfoester, 2002; Wanke, 2000), an interval equivalent to the Wordian-Capitanian boundary of the Guadalupian. In others words, the Tiaraju bivalve assemblage deposits could represent an age no younger than the Mid-Permian.

Also, it is noteworthy to highlight that the fact that our results groups together bivalves species that are not commonly found in the same assemblage does not invalidates the current knowledge about the Passa Dois Group biozones. Rohn (1994) discussed about this relevant question and expounded important arguments that can contribute to elucidate this topic. This author argued that the extinction and the rise of the species cannot be faced in a mathematical way, since the nature certainly not permitted the perfect isochronism in the population distribution in all the regions of the Basin. Also, is import to consider the incompleteness of the fossil record, due to paleontological or taphonomic factors and as well as those related to the paleontological prospecting. For this reasons, in some cases, the biostratigraphic boundaries do not coincide exactly with the extinction and the rise of its most characteristic species.

4.2. PALEOBIOGEOGRAPHY

The current knowledge about the paleobiogeographic distribution of the Passa Dois Group bivalve species involves occurrences in Brazil (*e.g.*, Reed, 1929; Mendes, 1954; Mezzarila, 1957; Maranhão, 1986; Rohn, 1994), Uruguay (Cox, 1934; Morton and Herbst, 1990), Paraguay (Reed, 1935), Namibia (David *et al.*, 2011) and South Africa (Cooper and Kensley, 1984). In Brazil, the related occurrences are distributed in the states of São Paulo, Paraná, Santa Catarina and Mato Grosso. The Tiaraju bivalve fauna represents the only known Permian bivalves of the Passa Dois Group documented in the Rio Grande Sul State, adding evidence that during certain times in the geological history of the Basin, the bivalves species were not geographically restricted to certain areas within it (see also Simões *et al.*, 2010).

The factors that are involved with the distribution of the Passa Dois Group bivalve species in the Paraná Basin during some intervals (*P. illusa*, *P. neotropica* and *Leinzia similis* biozone) was discussed by Simões *et al.*, 2010. These authors argued that a possible association could exist between the radiation and the maximum distribution of the fauna within the basin with intervals of rise in the water level (“transgressions”), and fauna isolation during the intervals of low water level (“regressions”). In fact, in literature, the fluctuations in the sea level in shallow-water habitats have been commonly associated with variations of diversity and spatial distribution through the Phanerozoic (*e.g.*, Newell 1967; Simberloff 1974; Flessa and Sepkoski 1978; Bayer and McGhee 1985; Dockery 1986; Jablonski 1986; Hallam 1987, 1992; Brett and Baird 1995; Brett 1998).

In the stratigraphic succession of the Passa Dois Group in Tiaraju region the fossiliferous concentrations of bivalves are found only in the superior portion of the Teresina Formation. Notably, Klein *et al.* (1997) performed a study of sequence stratigraphy and identified the superior portion of the Teresina Formation as the last transgression of this geological unit in Tiaraju region. In this way, the Tiaraju bivalve

assemblage is associated with a transgressive interval, in which probably occurred the dispersion of faunas that were evolving in other regions of the basin. In others words, this fauna can be considered an example of regional fauna within the great Paraná Basin lake-sea during the geological time of the Passa Dois Group.

5. SUMMARY

The Tiaraju bivalve fauna represents the only know Permian bivalves of the Passa Dois Group documented in the Rio Grande Sul State, adding new and important evidence to the reconstruction of the paleobiogeography of this particular fauna. The species *Terraia falconeri.*, *Terraia altissima*, *Holdhausiella elongata* and *Conperesia emerita* were identified in the deposits of this assemblage. The placing of the Tiaraju assemblage in the biostratigraphic scheme of the Passa Dois Group bivalve biozones is still in dispute, since this particular fauna groups together species that are not commonly found in the same assemblage. These bivalve occurrences also are significant for correlation and age determination. The presence of *C. emerita* and *T. altissima* suggests a biocorrelation with the Permian sedimentary rocks of the Gai-As Formation, Namibia, indicating that the Tiaraju bivalve assemblage deposits could represent an age no younger than 265 ± 2.5 Ma (Wordian-Captianian).

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are indebted with Prof. Dra. Tania Dutra from UNISINOS (Vale do Rio dos Sinos University) for allowing us to study the Tiaraju material that are housed in the Paleontology Museum of the Vale do Rio dos Sinos University (UNISINOS), Rio Grande do Sul State, Brazil. Funds were provided by the Brazilian agency FAPESP (PROC. 2011/01975-0).

7. REFERENCES

- ANELLI, L.E. 1999. *Invertebrados neocarboníferos das formações Piauí (Bacia do Parnaíba) e Itaituba (Bacia do Amazonas): taxonomia; análise cladística das subfamílias Oriocrassatellinae (Crassatellacea, Bivalvia) e Neospiriferinae (Spiriferoidea, Brachiopoda)*. 184p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ANELLI, L.E.; SIMÕES, M.G.; DAVID, J.M., 2010. A new Permian bivalve (Megadesmidae, Plesiocyprinellinae) from the Serrinha Member, Rio Do Rasto Formation, Paraná Basin, Brazil. *Revista do IG*, 10(2), 13-21.
- BAYER, U. AND MCGHEE, G.R. 1985. Evolution in marginal epicontinental basins: The role of phylogenetic and ecologic factors (Ammonite replacements in the German Lower and Middle Jurassic). Pp. 164–220 *In*: U. Bayer and A. Seilacher, eds. *Sedimentary and evolutionary cycles*. Springer, New York
- BEURLEN, K.K., 1953. Considerações sobre alguns lamelibrânquios das camadas Terezina no Paraná. *Boletim da divisão de geologia e mineralogia*, 142, 7-40.
- BRETT, C. E. 1998. Sequence stratigraphy, paleoecology, and evolution: biotic clues and responses to sea level fluctuations. *Palaios*, 13, 241–262.
- BRETT, C. E. AND BAIRD, G.C. 1995. Coordinated stasis and evolutionary ecology of Silurian to Middle Devonian faunas in the Appalachian Basin. Pp. 285–315 *In*: D. H. Erwin and R. L. Anstey, eds. *New approaches to speciation in the fossil record*. Columbia University Press, New York.
- CARTER, J.G. & 50 others, 2011. A Synoptical Classification of the Bivalvia (Mollusca). *Paleontological Contributions*, Number 4. Publication of the University of Kansas, Lawrence, Kansas, 1–47.
- COOPER, M.R. AND KENSLEY, B., 1984. Endemic South America Permian bivalve mollusks from the Ecca of South Africa. *Journal of Paleontology*, 58, 1360-1363.

- COX, L.R., 1934. Triassic Lamellibranchia from Uruguay. *Annals and Magazine of Natural History*, 13, 264–273.
- CUNHA, M.C.L., 1972. *Contribuição à Paleontologia Estratigráfica do Grupo Passa Dois no Rio Grande do Sul*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 103p.
- DALL, W.H., 1889. On the hinge of pelecypods and its development, with an attempt toward a better subdivision of the group. *American Journal of Science*, 38, 445–462.
- DANA, J.D., 1847. Descriptions of fossil shells of the collections of the exploring expedition under the command of Charles Wilkes, U.S.N., obtained in Australia, from the lower layers of the coal formation in Illawarra, and from a deposit probably of nearly the same age at Harper's Hill, Valley of the Hunter. *American Journal of Science and Arts*, 4, 1151–1160.
- DAVID, J.M.; SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E.; ROHN, R.; HOLZFOERSTER, F., 2010. Permian bivalve molluscs from the Gai-As Formation, northern Namibia: systematics, taphonomy and biostatigraphy. *Alcheringa*, 35, 497-516.
- DOCKERY, D.T., 1986. Punctuated succession of Paleogene mollusks in the northern Gulf Coastal Plain. *Palaios*, 1, 582–589.
- FÉRUSAC, A.E., 1822. *Tableaux systématiques des animaux mollusques*. A. Bertrand, Paris and London, 111 pp.
- FLESSA, K. W. AND SEPKOSKI, J. J. 1978. On the relationship between Phanerozoic diversity and changes in habitable area. *Paleobiology*, 4, 359–366.
- GHILARDI, R.P., 1999. *Paleoautoecologia dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), no Estado de São Paulo: bivalves fósseis como indicadores da dinâmica sedimentar*. 160p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

- GHILARDI, R.P. AND SIMÕES, M.G., 2002. Foram os bivalves do Grupo Passa Dois (exclusive Formação Rio do Rasto), Neopermiano, invertebrados tipicamente dulcícolas? *Pesquisas em Geociências*, 29, 3-13.
- HALLAM, A. 1987. Radiations and extinctions in relation to environmental change in the marine Lower Jurassic of northwest Europe. *Paleobiology*, 13, 152-168.
- HALLAM, A. 1992. Phanerozoic sea level changes. Columbia University Press, New York.
- HERTWIG C.W.T.R., 1895. *Lehrbuch der Zoologie*. Gustav Fischer, Boulder, 599 pp.
- HOLDHAUS, K., 1918. Sobre alguns lamelibrânquios fósseis do sul do Brasil. *Serviço Geológico e Mineralógico*, 2, 1-24.
- HOLZFÖRSTER, F., 2000. *Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia*. Tese de Doutorado, University of Würzburg.
- HOLZFÖRSTER, F., 2002. Sedimentology, stratigraphy and synsedimentary tectonics of the Karoo Supergroup in the Huab and Waterberg-Erongo areas, N-Namibia. *Beringeria*, 30, 1-144.
- JABLONSKI, D. AND FLESSA, K.W. 1986. The taxonomic structure of shallow-water marine faunas: implications for Phanerozoic extinctions. *Malacologia*, 27, 43-66.
- KLEIN, C., 1997. *Contribuição ao estudo das concentrações fossilíferas do Grupo Passa Dois na região de Tiarajú, RS e suas implicações paleoambientais*. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Dissertação de Mestrado, 132 p.
- KLEIN, C. AND SIMÕES, M.G., 1998. Tafonomia de pelecípodes da Formação Teresina (Permiano), Tiaraju, RS, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70: 617-625.
- KLEIN, C.; LEIPNITZ, I.I.; NOWATZKI, C.H., 1999. Fácies sedimentares e observações bioestratinômicas das concentrações fossilíferas da Formação Teresina na região de Tiaraju, RS, Brazil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 23(49), 75-92.

- KOWALEWSKI, M.; SIMOES, M.G.; TORELLO, F.F.; MELLO, L.H.C; GHILARDI, R.P., 2000. Drill holes in shells of Permian benthic invertebrates. *Journal of Paleontology*, 74, 532-543.
- MARANHÃO, M.S.A.S., 1986. *Contribuição ao conhecimento da malacofauna das camadas basais da Formação Corumbataí (Permiano), Estado de São Paulo*. 88p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MELLO, L. H. C., 1999. *Análise cláustica dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil: implicações taxonômicas, evolutivas e paleobiogeográficas*. 160p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- MENDES, J.C.M., 1952. A Formação Corumbataí na região do Rio Corumbataí. (Estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios). *Boletim da FCLF-USP*, 145, Geologia, 8, 119p.
- MENDES, J.C.M., 1954. Contribuição à estratigrafia da Série Passa Dois no Estado do Paraná. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo*, 175 (Geologia 10), 1-119.
- MENDES, J.C.M., 1962. Lamelibrânquios permianos do oólito de Angatuba, Estado de São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 11, 37-56.
- MEZZALIRA, S., 1957. Ocorrências fossilíferas novas da Série Passa Dois no Estado de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, 1, 15-34.
- MORTON, L.S. AND HERBST, R. 1990. *Leinzia similis* (HOLDHAUS), (PELECYPODA) del Permico Superior (Formacion Yaguai) del Uruguay. *Revista de la asociacion de Ciencias Naturales del Litoral*, 21 (1), 95-97.
- NEVES, J. P.; ROHN, R.; SIMÕES, M. G. 2010. Tafonomia de Biválvios em Cálcarios Oolíticos da Formação Teresina (Bacia do Paraná, Permiano Médio, Pudentópolis, PR). *Geologia USP. Série Científica*, 10, 19-36.

- NEVES, J. P.; ROHN, R.; SIMÕES, M. G. 2011. Tafonomia de Tempestitos Conchíferos Amalgamados da Formação Teresina em Rio Preto (Estado do Paraná, Permiano Médio, Bacia do Paraná) e suas Implicações Paleoambientais. *Geologia USP. Série Científica*, 11, 131-147.
- NEWELL, N.D. 1967. Revolutions in the history of life. In: C. C. Albritton Jr., ed. Uniformity and simplicity: a symposium on the principle of the uniformity of nature. Geological Society of America Special Paper 89:63–91.
- REED, F.R.C., 1929. Faunas Triassicas do Brasil. *Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil*, 9, 1–83.
- REED, F.R.C., 1935. Some Triassic lamellibranchs from Brazil and Paraguay. *Geological Magazine* 72, 33-42.
- ROHN, R., 1994. *Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná*. 480p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- RUNNEGAR, B. AND NEWELL, N.D., 1971. Caspian- like relict moluscan fauna in the South America Permian. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 146, 1-66.
- STANLEY, S.M., 1970. Relation of shell form to life habits of the Bivalvia (Mollusca). *Memoir of the Geological Society of America*, 125, 1-296.
- SIMBERLOFF, D. 1974. Permo-Triassic extinctions: effects of an area on biotic distributions. *Journal of Geology*, 82, 267–274.
- SIMÕES, M.G. AND KOWALEWSKI, M., 1998. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Facies*, 38, 175-196.
- SIMÕES, M.G. AND TORELLO, F.F., 2003. Modelo de tafofácies para os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois (Formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí), Permiano Superior, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 33, 1-10.

- SIMÕES, M.G.; TORELLO, F.F.; ROCHA-CAMPOS, A.C., 1996. Gênese e Classificação da Coquina de Camaquã, Formação de Corumbataí (Neopermiano), na Região de Rio Claro, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68, 545-557.
- SIMÕES, M.G.; MARQUES, A.C.; MELLO, L.H.C.; ANELLI, L.E., 1997. Phylogenetic analysis of the genera of the extinct family Megadesmidae (Pelecypoda, Anomalodesmata), with remarks on its paleoecology and taxonomy. *Journal of Comparative Biology*, 2, 75-90.
- SIMÕES, M.G.; ROCHA-CAMPOS, A.C.; ANELLI, L.E., 1998. Paleoecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: JOHNSTON, P.A.; HAGGART, J.W. (Ed.) *Bivalves - An Eon of evolution: paleobiological studies honoring Norman D. Newell*. Calgary: University of Calgary Press, 443-452.
- SIMÕES, M.G.; TORELLO, F.F.; MELLO, L.H.C.; GHILARDI, R.P., 2000. O conteúdo fóssilífero de novos afloramentos do Grupo Passa Dois (Neopermiano), nas porções centro sul e nordeste do Estado de São Paulo: implicações bioestratigráficas e paleoecológicas. *Acta Geologica Leopoldensia*, 23(50), 61-90.
- SIMÕES, M.G.; ANELLI, L.E.; DAVID, J.M., 2010. *Othonella araguaiana* (Bivalvia, Megadesmidae) from the Corumbataí Formation (Middle Permian), eastern margin of the Paraná Basin: systematical, evolutionary and biostratigraphical significances. *Revista do IG*, 10(2), 45-55.
- TORELLO, F. F. AND SIMÕES, M. G., 1994. Características tafonômicas da assembléia de *Pinzonella illusa* Reed, Formação Corumbataí (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, 39, 159-173.
- WANKE, A., 2000. Karoo- *Etendeka Uncoformites in NW Namibia and their Tectonic Implications*. Ph.D Thesis, Würzburg University, Alemanha.

WESSELING, F.P., 2007. Long-lived lake molluscs as island faunas: a bivalve perspective, p. 275-314. *In*: Biogeography, time and place: distributions, barriers and islands, Springer.

FIGURES CAPTIONS

Figure 1- Location maps showing the Passa Dois Group sediments in the Rio Grande do Sul State, and the Tiaraju region, São Gabriel Municipality (modified from Klein, 1997).

Figure 2- Geological map of Tiaraju area, highlighting the location of fossiliferous site (modified from Klein, 1997).

Figure 3- Composite stratigraphic section of the Passa Dois Group, measured in the Tiaraju area, showing the stratigraphic position of the bivalve assemblage studied (modified from Klein, 1997).

Figure 4- A-O, *Terraia falconeri* (Cox, 1934), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **A**, External view of left valve, MPU 4405; **B**, External view of left valve, MPU 4512; **C**, External view of right valve, MPU 4433; **D**, External view of left valve, MPU 4467; **E**, External view of left valve, MPU 4507; **F**, Internal mold of right valve, MPU 4317; **G**, Internal mold of right valve, MPU 4436; **H**, External view of right valve, MPU 4382; **I**, Internal mold of left valve, MPU 4518; **J**, External view of left valve, MPU 4522; **K**, Internal mold of left valve, MPU 4403; **L**, Plaster cast of articulated valves, the arrow indicates the lunule, DZP-4337; **M**, Plaster cast showing the hinge features of left valve, DZP-4362b; **N**, Plaster cast showing the hinge features of left valve, DZP-4362d; **O**, Internal view of left valve showing the hinge features, MPU 4319. All scale bars=1mm.

Figure 5- A-B, *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **A**, Plaster cast of right valve, the arrow

indicates the triangular cardinal tooth, DZP-4330; **B**, Plaster cast of left valve, DZP-4327. **C**, *Terraia* sp. cf. *Terraia altissima* (Holdhaus, 1918), Gai-As Formation, Huab area, Permian, Namibia. External view of silicified left valve, DZP-18711. **D-E**, *Holdhausiella elongata* (Holdhaus, 1918), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **D**, Latex cast of right valve, DZP-4335a; **E**, Plaster cast of right valve, DZP-4335b. **F**, *Holdhausiella elongata*, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil, figured by Runnegar & Newell (1971). External view of silicified left valve, DGP 7-966. **G-H**, *Conperesia emerita* (Reed, 1929), Tiaraju, Rio Grande do Sul, Passa Dois Group, Teresina Formation, Paraná Basin, Brazil. **G**, External view of right valve, MPU 4405; **H**, Plaster cast of right valve, DZP-4323. **I**, *Conperesia emerita* (Reed, 1929), Gai-As Formation, Huab area, Permian, Namibia. Incomplete internal mold of left valve with silicified shell remains, DZP-18700. All scale bars=1mm.

Figure 6- Schematic chart of the Passa Dois Group, Permian, showing the bivalve biozones on the eastern margin of the Paraná Basin (based on Rohn, 1994, 2007).

TABLE CAPTIONS

Table 1. Measurements of *Terraia falconeri*.

Table 2. Measurements of *Terraia altissima*.

Table 3. Measurements of *Holdhausiella elongata*.

Table 4. Measurements of *Conperesia emerita*.

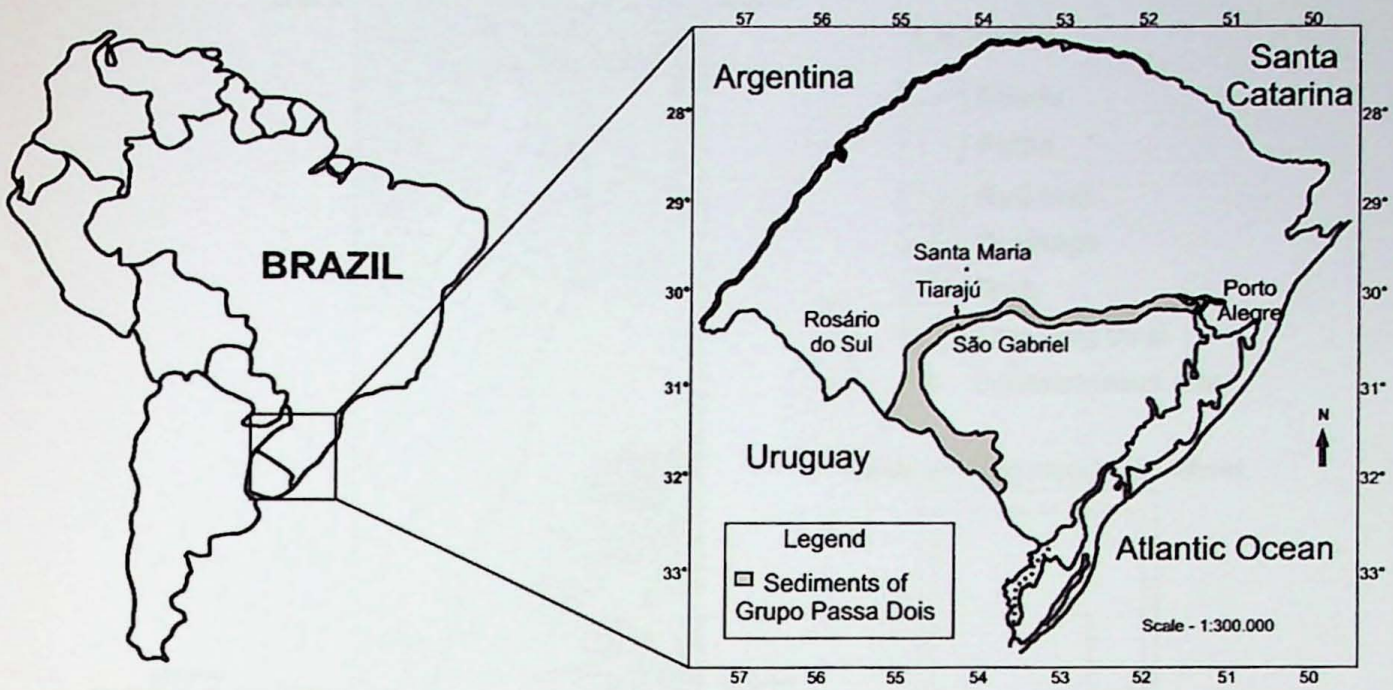


FIGURE 1

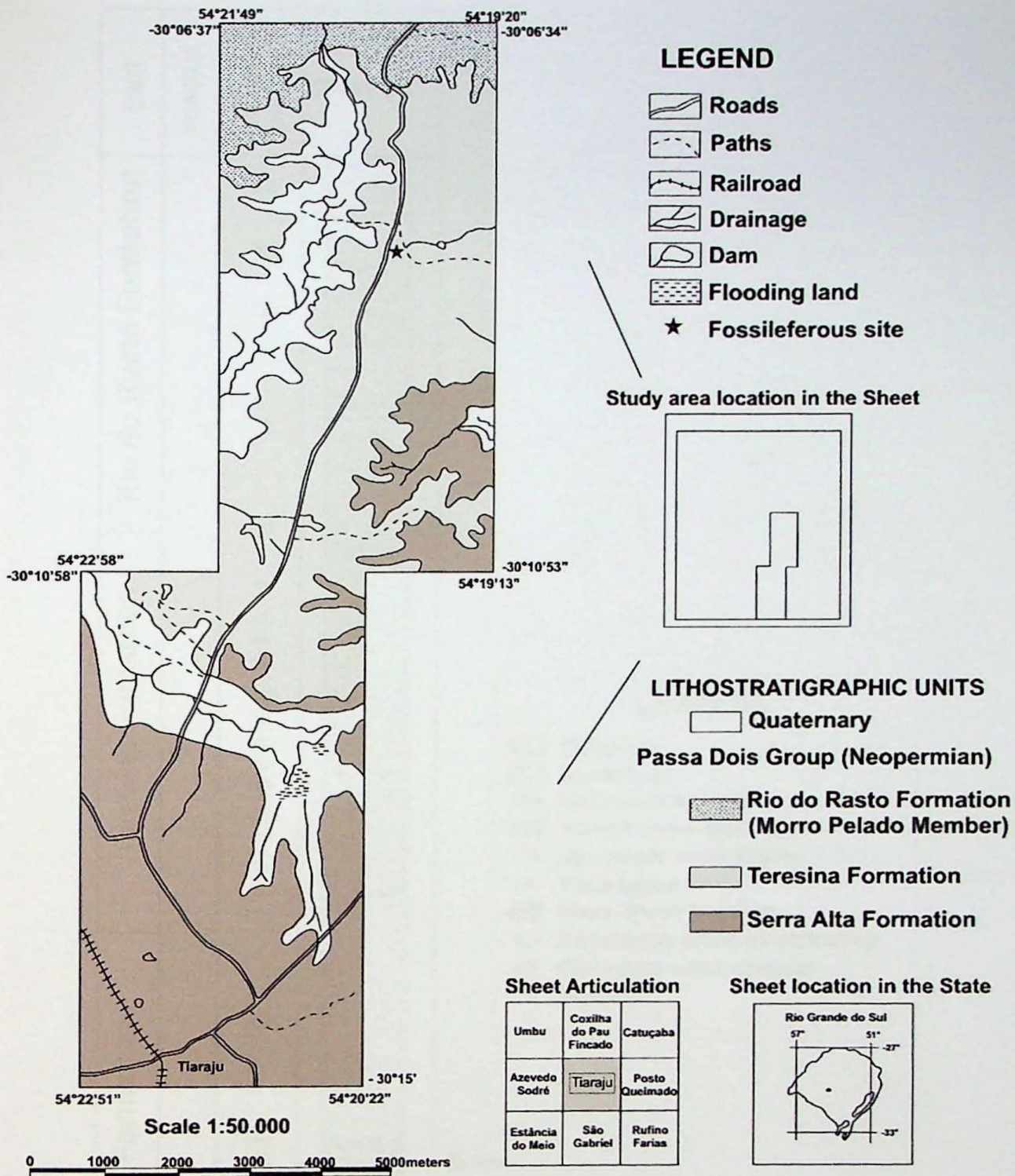


FIGURE 2

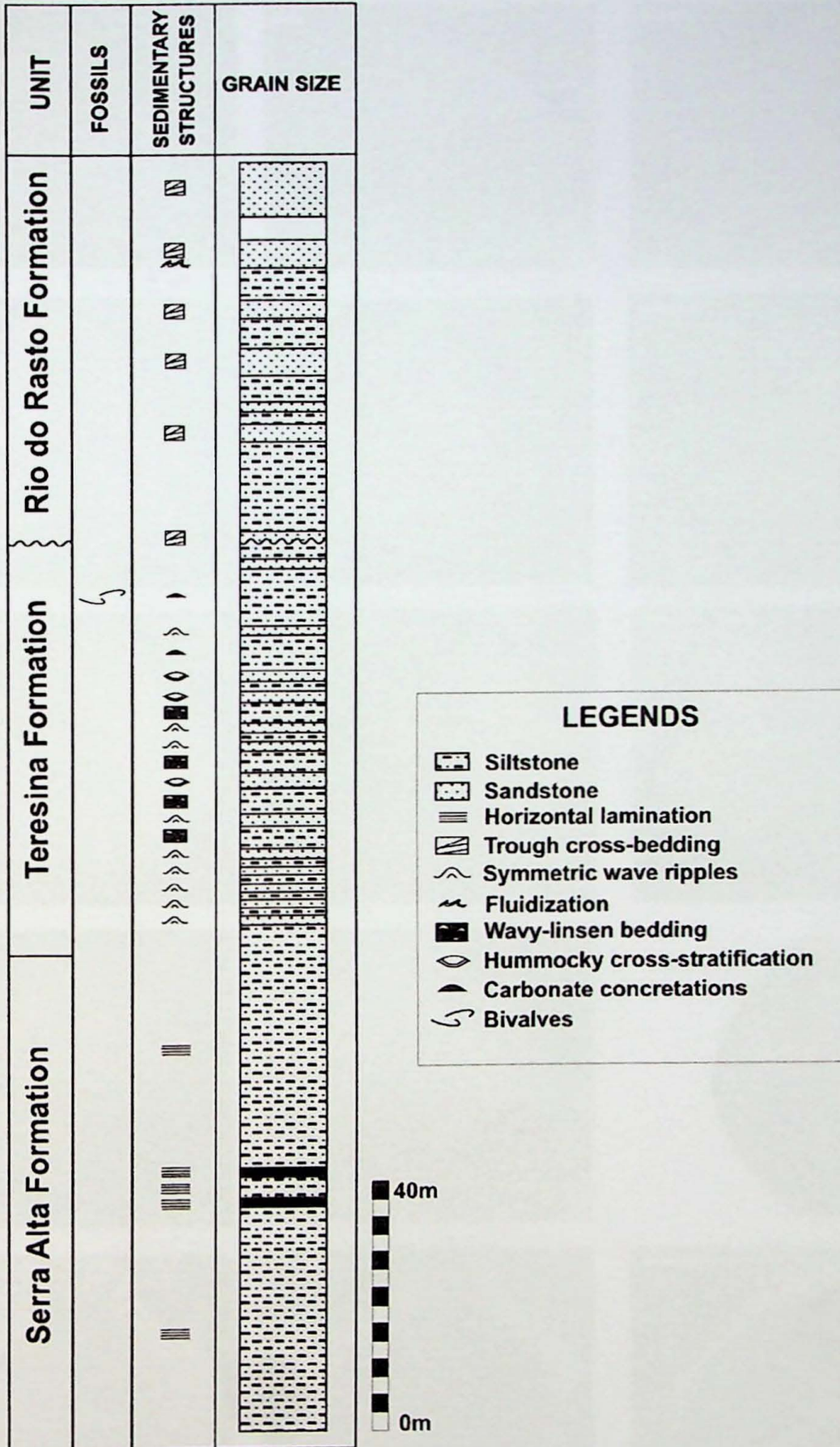


FIGURE 3

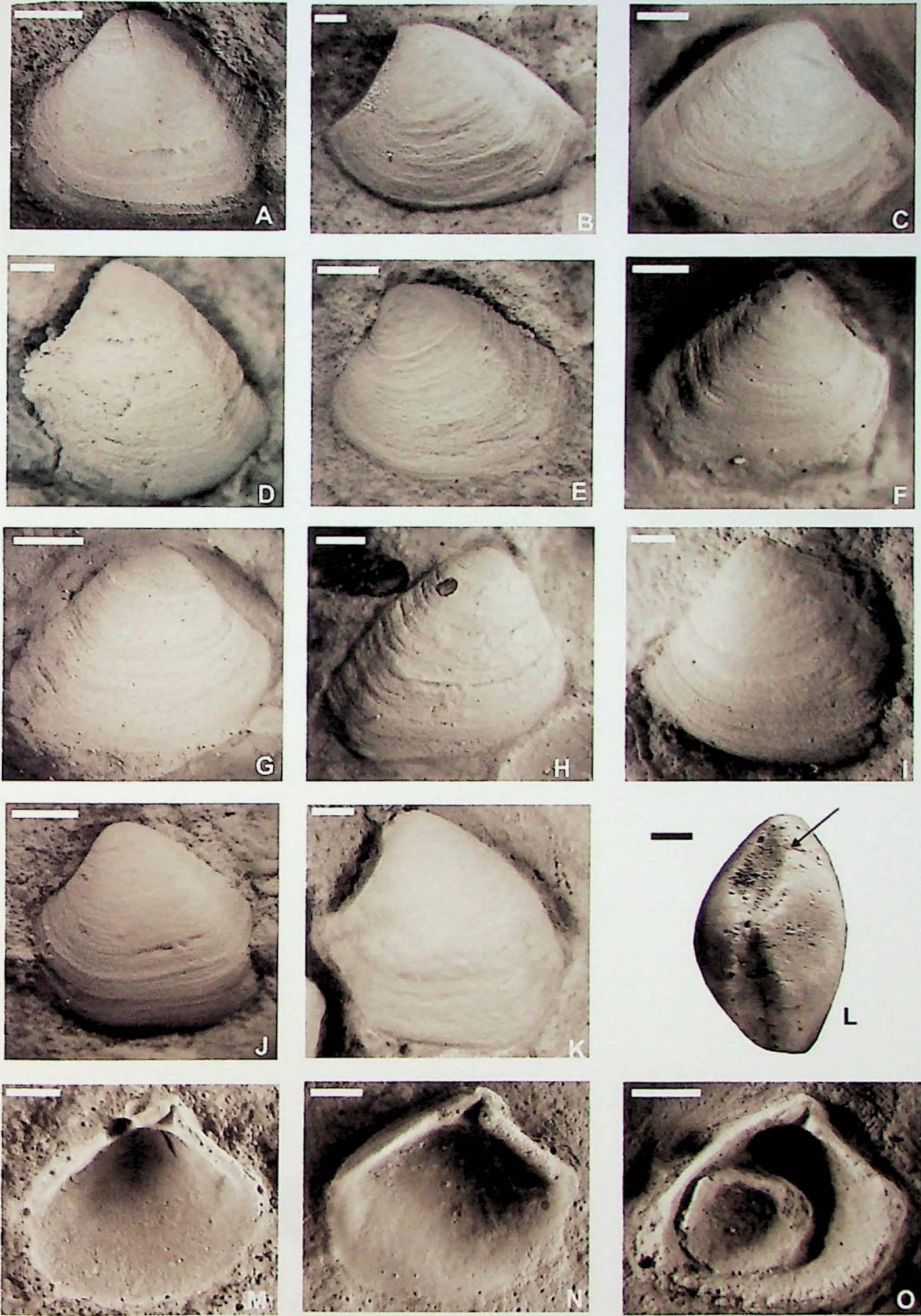


FIGURE 4

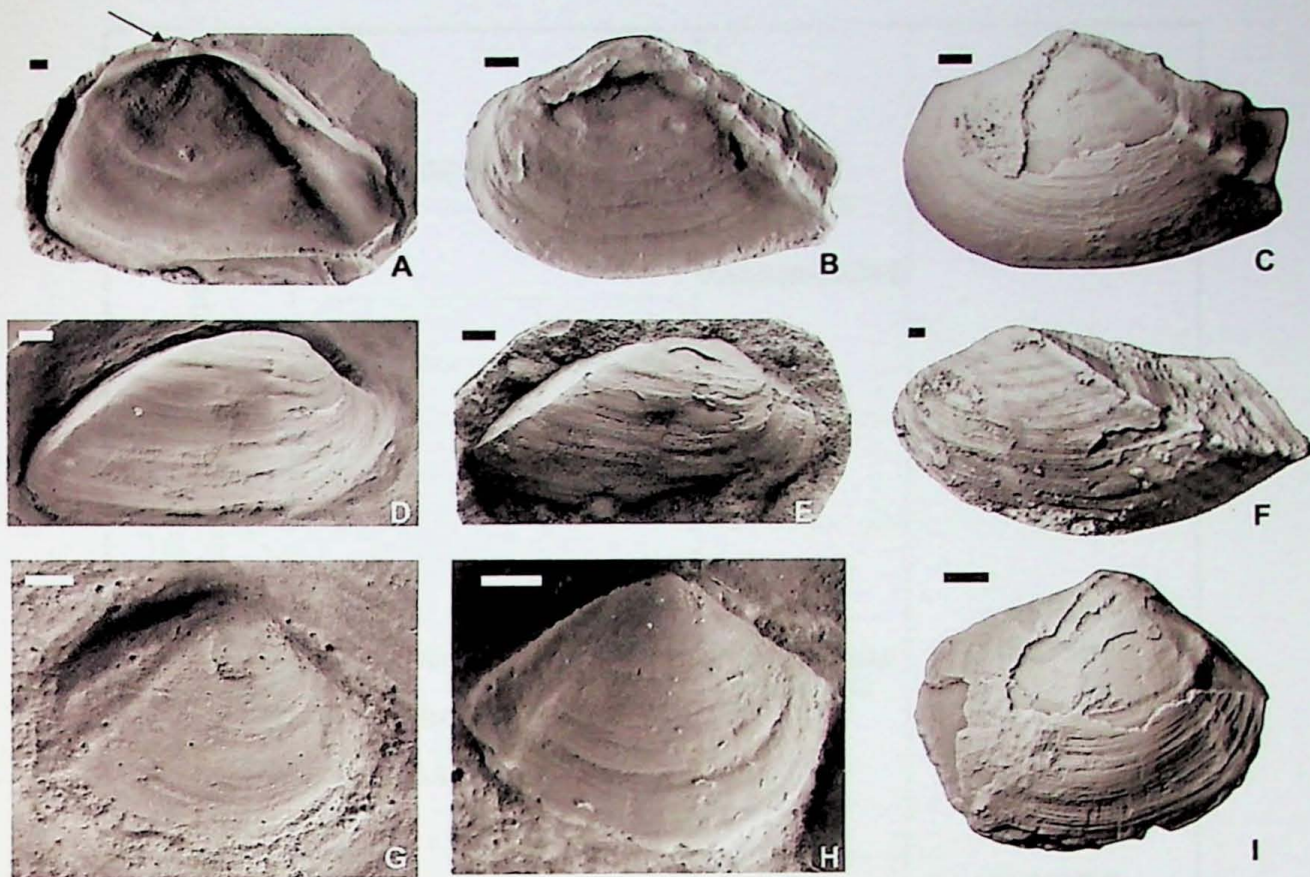


FIGURE 5

CHRONOSTRATIGRAPHY		LITHOSTRATIGRAPHY		BIVALVE ASSEMBLAGES	DEPOSITIONAL ENVIROMENT				
		GROUP	FORMATION			MEMBER			
PERMIANO	CISURALIANO	GUADALUPIANO	LOPINGIANO	WUCHIAPINGIANO	TATARIANO	RIO DO RASTO	MORRO PELADO	<i>Palaeomutela? platinensis</i>	EOLIC SYSTEM
	Unnamed								
	KUNGURIANO	KAZANIANO	PASSA DOIS	TERESINA	SERRINHA	<i>Pinzonella neotropica</i>	INTERIOR SHALLOW SEA		
						<i>Pinzonella illusa</i>			
	SERRA ALTA				<i>Anhembia froesi</i>				

FIGURE 6

TABLES

Table 1

Specimen	Valve	Length (mm)	Height (mm)	Elongation Index
DZP-4307a	Right	----	6.1	----
DZP-4315	Left	4.5	3.8	1.18
DZP-4337	----	----	----	----
DZP-4339	Left	4.7	4.1	1.14
DZP-4345a	Right	----	----	----
DZP-4350	Left	9.7	9.6	1.01
DZP-4357b	Left	6.5	6.2	1.04
DZP-4362a	Left	6.6	5.1	1.29
DZP-4362b	Left	5.6	5.3	1.05
DZP-4362c	Left	6.5	5.4	1.20
DZP-4362d	Left	5.8	5.2	1.11
DZP-4369	Left	6.3	5.5	1.14

Table 2

Specimen	Valve	Length (mm)	Height (mm)	Elongation Index
DZP-4327	Left	19.0	12.3	1.54
DZP-4330	Right	25.4	18.5	1.37

Table 3

Specimen	Valve	Length (mm)	Height (mm)	Elongation Index
DZP-4307c	Left	19.8	11.2	1.76
DZP-4324	Left	10.0	7.20	1.38
DZP-4335a	Right	19.7	9.7	2.03
DZP-4335b	Right	19.4	9.5	2.04
DZP-4345	Left	18.7	10.0	1.87
DZP-4347	Right	-----	6.1	----

Table 4

Specimen	Valve	Length (mm)	Height (mm)	Elongation Index
DZP-4307b	Right	5.7	-----	-----
DZP-4321	Right	4.8	3.8	1.26
DZP-4322a	Right	7.2	6.5	1.10
DZP-4323	Right	5.4	4.4	1.22
DZP-4336	Right	7.0	-----	-----
DZP-4357a	Right	6.6	5.1	1.29

DOAÇÃO

IGC-USP

02 12 14

