



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ISABEL CORTEZ CHRISTIANO DE SOUZA**

**ANÁLISE DAS FLORAS NEOPALEOZOICAS DA BACIA DO PARANÁ EM  
MÚLTIPLAS ESCALAS**

**CAMPINAS**

**2016**

**ISABEL CORTEZ CHRISTIANO DE SOUZA**

**ANÁLISE DAS FLORAS NEOPALEOZOICAS DA BACIA DO PARANÁ EM  
MÚLTIPLAS ESCALAS**

**TESE APRESENTADA AO INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
DOUTORA EM CIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOLOGIA E  
RECURSOS NATURAIS**

**ORIENTADORA: PROFA. DRA. FRESIA SOLEDAD RICARDI TORRES BRANCO**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL  
DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA ISABEL  
CORTEZ CHRISTIANO DE SOUZA E ORIENTADA  
PELA PROFA. DRA. FRESIA SOLEDAD RICARDI  
TORRES BRANCO**

**CAMPINAS**

**2016**

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** CNPq, 1410992012-7; FAPESP, 13/11563-6

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Geociências  
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

C462a Christiano-de-Souza, Isabel Cortez, 1983-  
Análise das floras Neopaleozóicas da Bacia do Paraná em múltiplas escalas / Isabel Cortez Christiano de Souza. – Campinas, SP : [s.n.], 2016.

Orientador: Fresia Soledad Ricardi Torres Branco.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Paleobotânica. 2. Sedimentos e depósitos. 3. Paleontologia do Paleozóico. 4. Paleoecologia. I. Ricardi-Branco, Fresia, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Multiple-scale analysis of Late Paleozoic floras in the Paraná Basin

**Palavras-chave em inglês:**

Paleobotany

Sediments and deposits

Paleozoic Paleontology

Paleoecology

**Área de concentração:** Geologia e Recursos Naturais

**Titulação:** Doutora em Geociências

**Banca examinadora:**

Fresia Soledad Ricardi Torres Branco [Orientador]

Rafael Souza de Faria

Giorgio Basilici

Alexandre Campana Vidal

Rosemarie Rohn Davies

**Data de defesa:** 27-04-2016

**Programa de Pós-Graduação:** Geociências



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA  
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

**AUTORA:** Isabel Cortez Christiano de Souza

**“Análise das floras neopaleozoicas da Bacia do Paraná  
em múltiplas escalas”**

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. Frésia Soledad Ricardi Torres Branco

Aprovada em: 27 de abril de 2016

**EXAMINADORES:**

Profa. Dra. Frésia Soledad Ricardi Torres Branco – Orientadora

Prof. Dr. Giorgio Basilici

Prof. Dr. Alexandre Campana Vidal

Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies

Prof. Dr. Rafael Souza de Faria

***A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora,  
consta no processo de vida acadêmica do aluno.***

Campinas, 27 de abril de 2016

## SÚMULA/BIOGRAFIA

Geóloga formada pelo Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (2009). Bolsista CNPq de Iniciação Científica (2006-2008), bolsista FAPESP de Iniciação Científica (2008). Aluna do Programa de Pós-Graduação em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (2009-2016). Mestre em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (2011). Bolsista de Mestrado FAPESP (2009-2011) e Doutorado CNPq (2012-2016).

Principais áreas de estudo: Paleobotânica do Neopaleozóico, Paleofitogeografia, Sistema de Informação Geográfica.

## **DEDICATÓRIA**

Ao Rodrigo

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, que me apoiaram em minha jornada acadêmica.

Ao Rodrigo, a melhor pessoa que conheci nos últimos 30 anos.

À Professora Doutora Fresia Ricardi-Branco, pelos dez anos de paciência e orientação. Grande responsável pela minha imersão na história da vida.

Às Professoras Sueli Yoshinaga e Adalene Silva.

Aos ex-colegas da pós-graduação (e amigos queridos) Dr. Rafael de Souza Faria, Dra. Melina Mara de Souza e Dr. Jean Fanton, que me acompanharam desde os primeiros passos no mundo científico.

Aos atuais colegas de pós-graduação Flavia Callefo, Juliana Sampaio da Costa, Francisco Santiago e Mariana Velcic.

À professora Mary Elisabeth Bernardes-de-Oliveira e aos colegas pós-graduandos da Universidade de São Paulo: Amanda Hoelzel Mendes, Carla Abranches e Valeria Terence. À Isa.

Aos amigos sempre presentes: Ricardo, Lui, Karen, Livia e Tiago. À minha prima Claudia.

Aos funcionários do Instituto de Geociências.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado (nº 141099/2012-7) e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio científico e financeiro ao projeto (Processo 13/11563-6).

## **EPÍGRAFE**

O começar é o momento mais delicado na correção do equilíbrio.

*Frank Herbert, Duna*



## RESUMO

### ANÁLISE DAS FLORAS NEOPALEOZOICAS DA BACIA DO PARANÁ EM MÚLTIPLAS ESCALAS

O Neopaleozóico (Carbonífero e Permiano) constituiu um período de intensa mudança climática, no qual o planeta, sob glaciação tornou-se quente e seco. Nesse momento a América do Sul e a Bacia do Paraná estavam conectadas a outros terrenos que compunham o supercontinente Gondwana. Em tais localidades, desenvolveu-se a “Província Florística do Gondwana”, uma flora diversa, bem estabelecida e com elementos característicos. As mudanças climáticas então ocorridas refletiram-se diretamente na vegetação, provocando evidentes alterações. O presente trabalho analisa as floras do ponto de vista temporal e espacial, e em múltiplas escalas. Mostra que a evolução da Província Florística da Bacia do Paraná foi distinta da de outras partes do Gondwana Ocidental, em comparação à flora argentina e a flora africana para o mesmo intervalo de tempo. Em verdade, após a glaciação, a flora se estabeleceu em quase toda a extensão da Bacia do Paraná e se manteve com a mesma disposição até seu desaparecimento, no Neopermiano. Assim, em grandes escalas, as mudanças observadas dizem respeito principalmente à sucessão dos grupos de plantas; já em escalas menores, é possível analisar os paleoambientes deposicionais. Observa-se principalmente, na flora neopaleozóica da Bacia do Paraná, o domínio de Pteridospermosida (*Gangamopteris* e *Glossopteris*), além da presença marcante de Lycopsida (*Lycopodiopsis*), Equisetopsida (*Phyllothea*, *Schinozeura*, *Sphenophyllum* e *Paracalamites*), Marattiopsida / Polypopsida (*Dizeugotheca*, *Pecopteris* e *Botrychiopsis*) e de alguns gêneros de sementes (como *Samaropsis* e *Cordaicarpus*). Apesar de o aumento de temperatura ter significado, a princípio, um aumento da diversidade, esta declinou com a aproximação de um clima mais quente e seco.

**Palavras-chave:** Paleobotânica, Bacia do Paraná, Paleontologia do Paleozóico, Paleoflora

## **ABSTRACT**

### **MULTIPLE-SCALE ANALYSIS OF LATE PALEOZOIC FLORAS IN THE PARANÁ BASIN**

The Late Paleozoic was a period of intense climate changes, in which the planet (under glaciation during the Late Carboniferous) became warm and dry. During this interval, South America and the Paraná Basin were connected to other lands that composed the supercontinent Gondwana. The "Gondwana Floristic Province" developed in such places as a diverse, well-established flora with characteristic elements. The climate changes that occurred then reflected directly on the vegetation, and caused interesting alterations. This thesis offers a multiple-scale analysis of the floras from temporal and spatial points of views. Firstly, it notes that the evolution of the Floristic Province of the Paraná Basin was distinct from that of other parts of Gondwana (within different time intervals). After the glaciation, the flora was established in almost the entire length of the Basin and remained with that disposition until its extinction in the Late Permian. On large scales, changes relate mainly to the succession of plant groups; on smaller scales, on the other hand, it is possible to analyze depositional palaeoenvironments. Although the increase in temperature meant an increase in plant diversity, this diversity declined with the advent of a warmer and drier climate.

**Keywords:** Paleobotany, Paraná Basin, Paleozoic Paleontology, Paleoflora

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.1</b> Localização da Bacia do Paraná durante o Permiano (modificado de Christiano-de-Souza <i>et al.</i> , 2012).....	15
<b>Figura 3.1</b> Gondwana no final do Período Carbonífero / Início do Período Permiano, durante a glaciação. Na figura é possível observar os limites das glaciações (Veevers, 2004) .....	19
<b>Figura 3.2</b> Variações estimadas de CO <sub>2</sub> atmosférico durante os últimos 400 milhões de anos (redesenhado de Berner, 1991).....	20
<b>Figura 3.3</b> Registros dos intervalos glaciais do Gondwana em diversas bacias (Brasil, Argentina, Bolívia, África do Sul, Oman e Arábia Saudita, Índia, Leste e Oeste da Austrália e Antártida). (modificado de Fielding <i>et al.</i> , 2008).....	21
<b>Figura 3.4</b> Bacias sedimentares do Gondwana Ocidental, onde existem registros da Província Florística do Gondwana durante o Neopaleozóico (Modificado de Milani & De Wit, 2008; Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco, 2015).....	24
<b>Figura 3.5</b> Mapa com a localização das áreas aflorantes das supersequências da Bacia do Paraná (Milani, 2004).....	25
<b>Figura 3.6</b> Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná durante o Megaciclo Gondwana I, com as respectivas idades, ambientes deposicionais e litoestratigrafia (modificado de Milani <i>et al.</i> , 2007).....	26
<b>Figura 3.7</b> Sessão transversal da Bacia do Paraná mostrando as espessuras relativas aos Grupos e Formações presentes no Megaciclo Gondwana I (Modificado de Milani & De Wit, 2008; Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco, 2015) .....	27
<b>Figura 3.8</b> Expansão das plantas durante o Carbonífero-Permiano (Modificado de Willis & McElwain, 2002) .....	32
<b>Figura 3.9</b> Abundância relativa dos grupos de plantas em cada uma das Formações / Grupos da Bacia do Paraná .....	34
<b>Figura 4.1</b> Localização dos Grupos e dos afloramentos fitofossilíferos da Bacia do Paraná (Christiano-de-Souza, 2011).....	37
<b>Figure 5.1</b> Location of Gondwana during the Permian and location of its sedimentary basins. The cross-section represented by A and B is detailed in Fig. 5.2.....	45
<b>Figure 5.2</b> Stratigraphic column of the Paraná Basin during Gondwana 1, adapted from Milani (2007) and cross section A–B described in Fig. 1 (adapted from Milani & De Wit, 2008).....	46
<b>Figure 5.3</b> Map with plant fossil distribution in Phase A .....	55
<b>Figure 5.4</b> Map with plant fossil distribution in Phase B. ....	56
<b>Figure 5.5</b> Map with plant fossil distribution in Phase C. ....	57

<b>Figure 5.6</b> Relative abundance of the plants in the Paraná Basin on the Late Paleozoic .....	58
<b>Figure 5.7</b> Spatial distribution of the great fossil plant groups in continental habitats in the Carboniferous and Permian periods (Modified by DiMichele <i>et al.</i> , 2005).....	91
<b>Figure 5.8</b> Stratigraphic column of Gondwana 1. Adapted by Milani (2007) and modified by Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco (2015). .....	93
<b>Figure 5.9</b> Outcrops considered in the present study. Area “A” shows the outcrops of the northern region. Area “B” shows the outcrops of the southern region of the Paraná Basin (modified from Faria, 2013). .....	97
<b>Figure 5.10</b> Dendogram resulting from the group analysis, with the probable relationships between the outcrops proposed. Axis x shows the outcrops [ARR - Faxinal, CAM - Campinas, CQ1- Cerquilha Toca do Índio / Sítio da Mina, ITV - Itapeva, MMR - Monte Mor, MPM - Mariana Pimentel Morro do Papaléo, SA1- Salto Eucatex, SA2 - Salto Trevo, SCA - Salto Capivari, SG1 - São Gabriel Acampamento Velho, SG2 - São Gabriel Cambaí Grande, SJE - São Jerônimo Fazenda Goulart, SO1 - Sorocaba 1, SO2 - Sorocaba 2, TI1 – Tietê]; axis y shows the Sørensen index (in that values closer to 1 are those that bear greater similarity, and those closer to 0, those with less similarity). .....	99
<b>Figure 5.11</b> Biostratigraphic placement of the 15 outcrops considered within the palynozones proposed by Souza (2006) for the Paraná Basin and respective associations obtained through group analysis.....	100

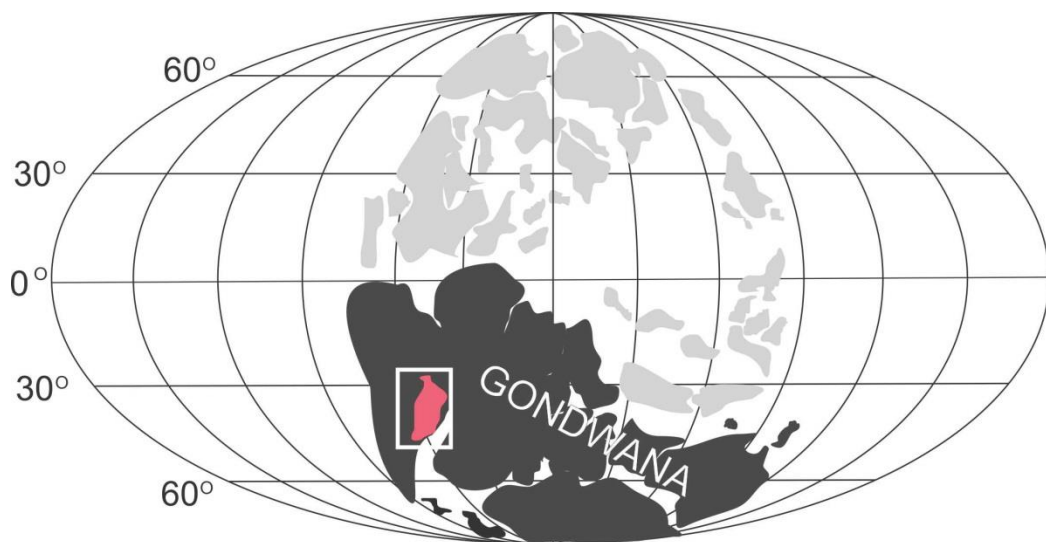
## SUMÁRIO

1. Introdução.....	15
2. Objetivos.....	17
3. Contexto Climático, Geológico e Paleobotânico.....	18
3.1. Contexto Climático do Neopaleozóico do Gondwana Oeste.....	18
3.2. Contexto Geológico da Bacia do Paraná durante o Neopaleozóico .....	22
3.3. Contexto Paleobotânico no Neopaleozóico: uma breve história evolutiva das plantas 30	
4. Materiais e Métodos .....	35
4.1. Criação da Base de Dados .....	35
4.2. Processo de Georreferenciamento .....	35
4.3. Sistemática Paleobotânica.....	36
4.4. Análise espacial dos resultados.....	38
4.5. Ferramentas auxiliares para a interpretação: análise de agrupamento.....	38
5. Resultados.....	39
5.1. Artigo I - Study Of The West Gondwana Floras During The Late Paleozoic: A Paleogeographic Approach In The Paraná Basin – Brazil .....	40
5.1.1. Abstract.....	41
5.1.2. Introduction .....	41
5.1.3. Geology .....	43
5.1.4. Methodology.....	49
5.1.5. Results .....	51
5.1.6. Discussion.....	58
5.1.7. Conclusions .....	63
5.1.8. Appendix A .....	65
5.1.9. References .....	66
5.2. Artigo II - Swampflora Changes Through The Pennsylvanian – Early Permian Interval In The Gondwana Floristic Province Of The Brazilian Portion Of The Paraná Basin 75	
5.2.1. Introduction .....	76
5.2.2. Materials and Methods .....	78
5.2.3. Results and Discussion .....	79
5.2.4. Apêndice.....	82
5.2.5. References .....	85

5.3.	Artigo III: Flora Group Analysis for the Late Paleozoic Ice Age in Brazil.....	88
5.3.1.	Abstract.....	88
5.3.2.	Introduction .....	88
5.3.3.	Objectives .....	89
5.3.4.	Floras of The Late Paleozoic .....	90
5.3.5.	Geological Aspects of the Area of Study .....	91
5.3.6.	Materials and Methods .....	94
5.3.7.	Results .....	98
5.3.8.	Discussion.....	106
5.3.9.	Conclusions .....	108
5.3.10.	Acknowledgements.....	109
5.3.11.	References.....	109
6.	Discussão .....	114
7.	Conclusões.....	117
8.	Referências .....	119
9.	Anexos.....	127

## 1. Introdução

O supercontinente Gondwana representou a maior unidade de litosfera contínua do planeta durante 200 milhões de anos. Incluía os atuais continentes da América do Sul, África, Antártida e Austrália, além de Madagascar e do Subcontinente Indiano. Tais porções abrangem atualmente 64% das terras emersas do nosso planeta. Outros fragmentos também podem ter sido parte formadora desse supercontinente durante sua longa existência, tais como a Flórida, a América Central, o sul da Europa, o centro-sul e o sudeste da Ásia (Torsvik & Cocks, 2013) (figura 1.1).



**Figura 1.1** Localização da Bacia do Paraná durante o Permiano (modificado de Christiano-de-Souza *et al.*, 2012).

Para compreender os paleoambientes desse supercontinente, as floras constituem ótimo instrumento, uma vez que são afetadas diretamente pelas mudanças climáticas. Ademais, durante o Paleozóico as floras ainda não tinham adquirido suficiente complexidade. Faziam transparecer os paleoambientes com maior clareza, uma vez que muitas delas eram pioneiras em seus habitats (Willis & McElwain, 2002).

A área de estudo do presente trabalho é o Gondwana Ocidental, em especial as floras da Bacia do Paraná, no intervalo Neocarbonífero – Permiano. Esse intervalo de tempo é interessante à pesquisa uma vez que as primeiras florestas ocupavam os continentes, fenômeno que permitiu a evolução de grupos de animais, como insetos e

vertebrados. Acrescente-se a isso a ocorrência de mudanças climáticas extremas, que se refletiram diretamente na vegetação.

A presente tese pretende expor as relações entre clima e vegetação do Neopaleozóico na Bacia do Paraná sob diferentes recortes e dimensões, com o objetivo de elucidar suas relações em escalas distintas. Como ferramentas auxiliares são utilizados mapas de ocorrências, gráficos e técnicas estatísticas.



## 2. Objetivos

As Floras Neopaleozóicas da América do Sul já foram analisadas e discutidas sob diversas ópticas. Realizaram-se estudos taxonômicos e morfológicos, a fim de compreender seu papel na história evolutiva dos vegetais. Realizaram-se trabalhos bioestratigráficos, buscando determinar fitozonas que representassem intervalos bem definidos da história deposicional da Bacia.

O objetivo do presente trabalho é analisar a relação entre clima e flora do Neopaleozóico através das seguintes propostas:

- Análise das floras sob o contexto paleofitogeográfico, observando sua distribuição na Bacia do Paraná ao longo intervalo Carbonífero / Permiano, em diferentes escalas.
- Análise dos resultados obtidos através de ferramentas auxiliares, como gráficos, tabelas, mapas e dados estatísticos.

As próximas páginas se propõem, primeiramente, a concluir a etapa iniciada no trabalho de Christiano-de-Souza (2011), onde se desenvolveu uma base de metadados com toda a informação fitofossilífera da Bacia do Paraná. A principal ferramenta, naquela etapa, foi o Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o auxílio do software ArcGIS®. Posteriormente, com o objetivo de integrar tais dados, foi proposto o uso de ferramentas como a bioestatística e a análise de agrupamentos, que validaram a hipótese de acordo com a qual a evolução climática e paleogeográfica produz padrões de composição florística.

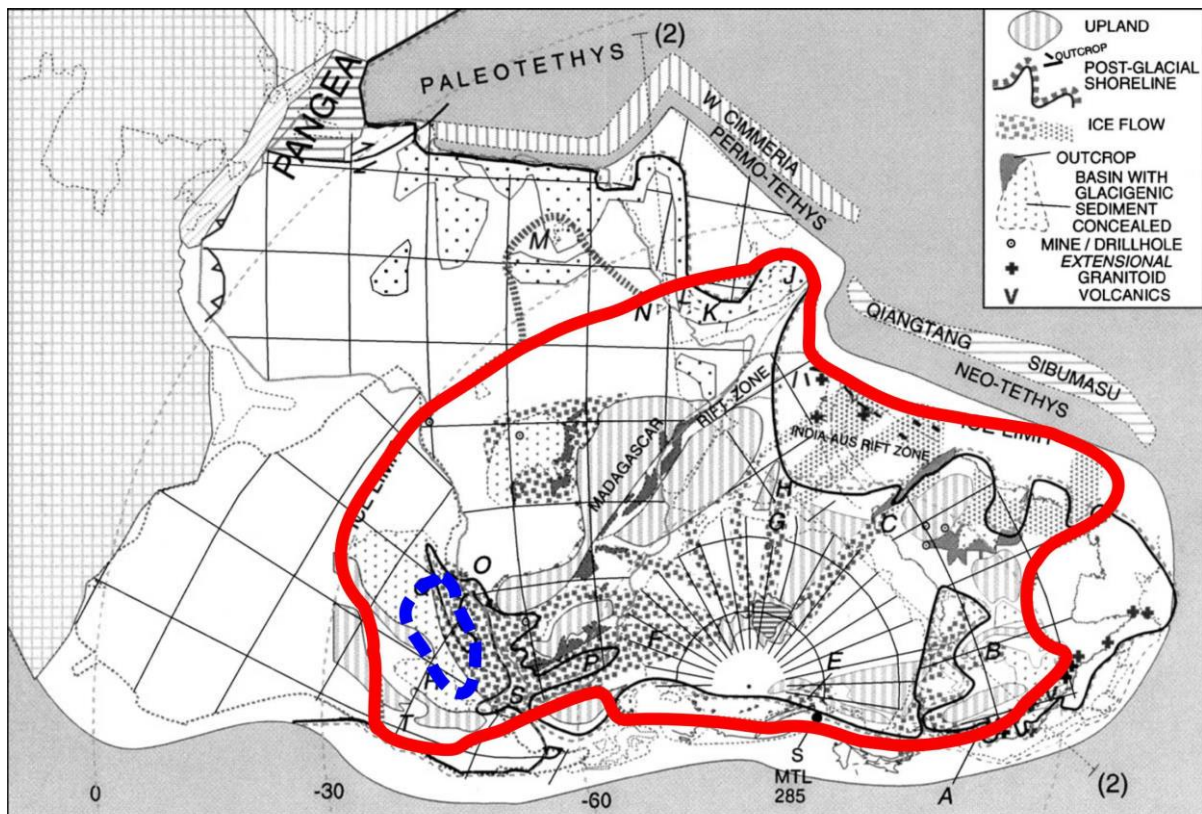
### **3. Contexto Climático, Geológico e Paleobotânico**


#### **3.1. Contexto Climático do Neopaleozóico do Gondwana Oeste**

O evento conhecido como “Idade do Gelo Neopaleozóica” (IGNP), foi o último evento glacial pré-Cenozóico, e corresponde a um período no qual ocorreram diversas fases glaciais. Os registros desses eventos, encontrados até latitudes superiores a 30°S (Parrish *et al.*, 1986, Fielding *et al.*, 2008), perduraram por milhares de anos, balizados por intervalos de clima temperado. As primeiras de tais glaciações teriam acontecido na América do Sul, no final do Devoniano e do Viseano (figura 3.1). Apesar de terem ocorrido em áreas do Gondwana, existem evidências, na Sibéria, de que a glaciação, durante esse período, teria sido bipolar (Fielding *et al.*, 2008, Willis & McElwain, 2002).

Há vários registros do fenômeno de glaciação. Os ciclotemas (Heckel, 2008) constituem um deles. São sequências sedimentares onde há alternância de paleossolos com unidades marinhas, resultado de eventos de regressões e transgressões periódicas e repetitivas.

Uma série de mudanças na disposição dos continentes provocou mudanças climáticas durante o Carbonífero. O Gondwana moveu-se na direção do polo durante o Carbonífero. Essa posição permitiu a formação de uma capa de gelo polar no continente (Rowley *et al.*, 1985).



 Limite das camadas de Gelo

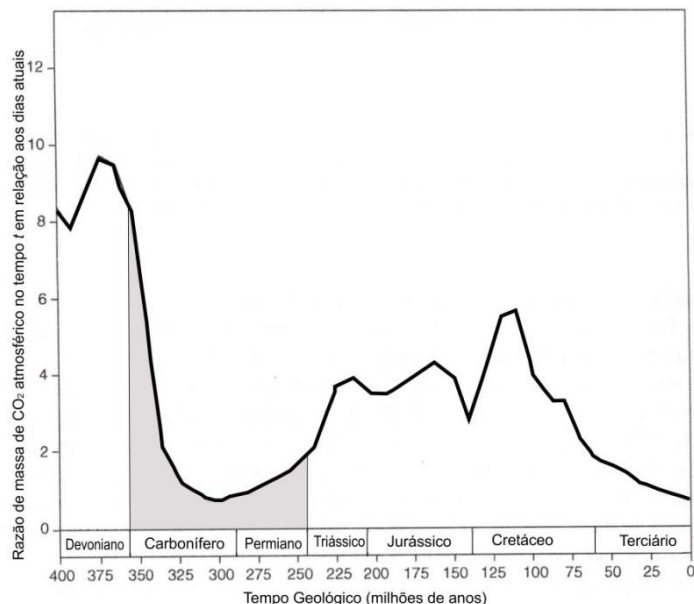


Localização aproximada da Bacia do Paraná

**Figura 3.1** Gondwana no final do Período Carbonífero / Início do Período Permiano, durante a glaciação. Na figura é possível observar os limites das glaciações (Veevers, 2004)

Sabe-se, no entanto, que o principal fator para o resfriamento do clima está ligado ao balanço da concentração de  $O_2$  /  $CO_2$  atmosférico, uma vez que o gás carbônico age como isolante térmico. Quando em baixas concentrações na atmosfera, existe uma tendência ao resfriamento e prováveis glaciações. É observado que ao longo da história geológica do planeta ocorreram oscilações dessa proporção, o que explicaria intervalos glaciais e interglaciais. Uma das hipóteses que explicam a flutuação em ambiente natural seria a dos Ciclos de Milankovitch (Heckel, 2008). Porém, as causas do sequestro de carbono e suas flutuações ainda permanecem incertas (Montañes *et al.*, 2007) (figura 3.2). Durante o intervalo de tempo que compreende a IGPN no Laurasia são encontradas abundantes e espessas jazidas de carvão de idade neocarbonífera (Rowley *et al.*, 1985, DiMichele & Hook 1992, Anderson *et al.*, 1999). Tais jazidas são mais uma evidência do grande acúmulo de biomassa vegetal (e de sequestro de carbono) o que faz supor que

extensas florestas foram, em parte, responsáveis pelo evento. É importante lembrar que o paleocontinente Laurasia ocupava regiões equatoriais e tropicais no Carbonífero.

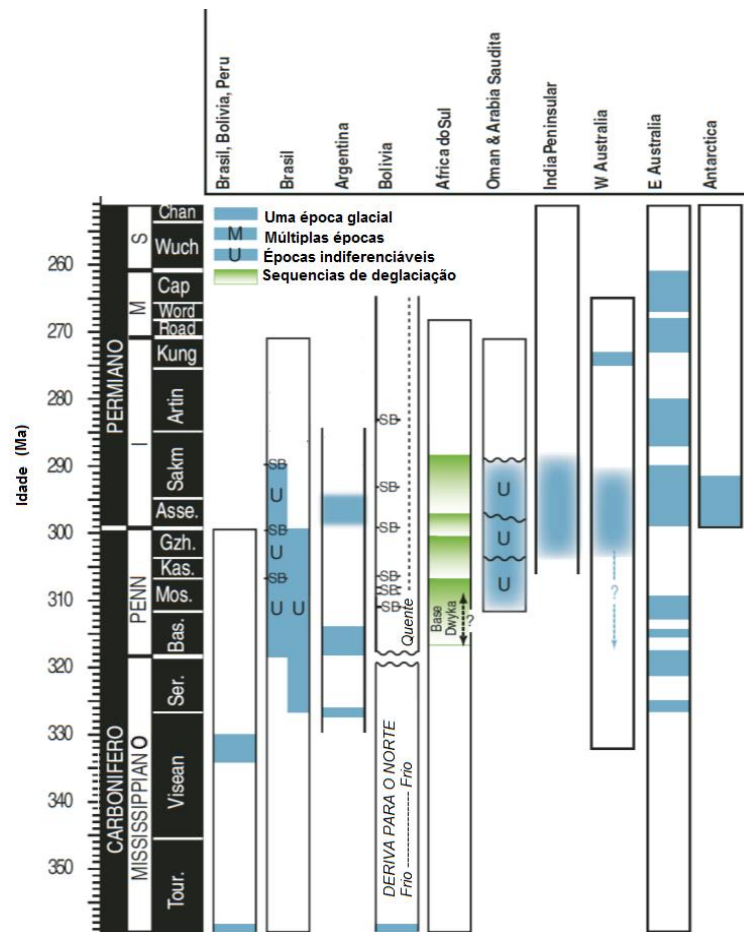


**Figura 3.2** Variações estimadas de CO<sub>2</sub> atmosférico durante os últimos 400 milhões de anos (redesenhado de Berner, 1991)

Além do acúmulo de biomassa vegetal, uma hipótese sugerida (Berner, 1998) para o sequestro de carbono foi o intemperismo químico. Parte do CO<sub>2</sub> disponível provocou o aceleração do intemperismo de rochas siliciclásticas e a produção de ácidos orgânicos, que resultaram no aprisionamento do gás carbônico e a acumulação de rochas carbonáticas. Um último fator que pode ter auxiliado na queda das taxas de CO<sub>2</sub> seria o aprisionamento de matéria orgânica que não foi não decomposta (Willis & McElwain, 2002).

Segundo Powel e Veevers (1986), o auge das glaciações neopaleozóicas teria ocorrido durante a orogenia do Gondwana Oeste (Pennsylvaniano), que promoveu nucleação de grandes centros de gelo. A teoria do auge glacial durante esse período é favorecida pela raridade de registros estratigráficos para o período em quase todo o continente (Fielding *et al.*, 2008). No entanto, na Bacia do Paraná, existem claras evidências da presença dessa glaciação nas rochas do Grupo Itararé.

A grande disputa, atualmente, concentra-se nos intervalos que teriam assistido tais pulsos glaciais (Fielding *et al.*, 2008), e existem propostas distintas para cada local do Gondwana (figura 3.3). No Brasil, Holz *et al.* (2008), consideram que, durante o Neocarboneífero - Eopermiano, teriam existido três intervalos glaciais. Os registros estariam nas rochas do Grupo Itararé, e os três intervalos glaciais corresponderiam às três formações reconhecidas para o Grupo.



**Figura 3.3** Registros dos intervalos glaciais do Gondwana em diversas bacias (Brasil, Argentina, Bolívia, África do Sul, Oman e Arábia Saudita, Índia, Leste e Oeste da Austrália e Antártica). (modificado de Fielding *et al.*, 2008)

A alternância dos ciclos glaciais/interglaciais permaneceu até o Artinskiano / Kunguriano, e o processo de deglaciação final ocorreu em tempo relativamente rápido. Em todo o Pangea, com o fim da glaciação, estabeleceram-se condições paleoclimáticas mais secas e quentes, registradas principalmente nas regiões equatoriais (Poulsen *et al.*, 2007). Este fenômeno climático trouxe como consequência maior influência da latitude na

distribuição dos biomas tropicais, com expansão das regiões áridas e redução de florestas no final do Permiano. O planeta passou por constante aquecimento, até culminar na desertificação de grandes extensões do Gondwana durante o Triássico (Milani *et al.*, 2007).

De maneira mais ampla, Crowell (1978) e Frakes (1979) identificaram três fases do processo acima citado, em uma grande época glacial:

- Um período no Neocarbonífero (Pennsylvaniano), com glaciares localizados, envolvendo principalmente geleiras de terrenos montanhosos;
- Uma fase Eopermiana, caracterizada por calotas de gelo cobrindo grandes extensões continentais;
- Uma fase final com gradual decaimento e eventual desaparecimento de das calotas continentais, que estendeu pelo Permiano.

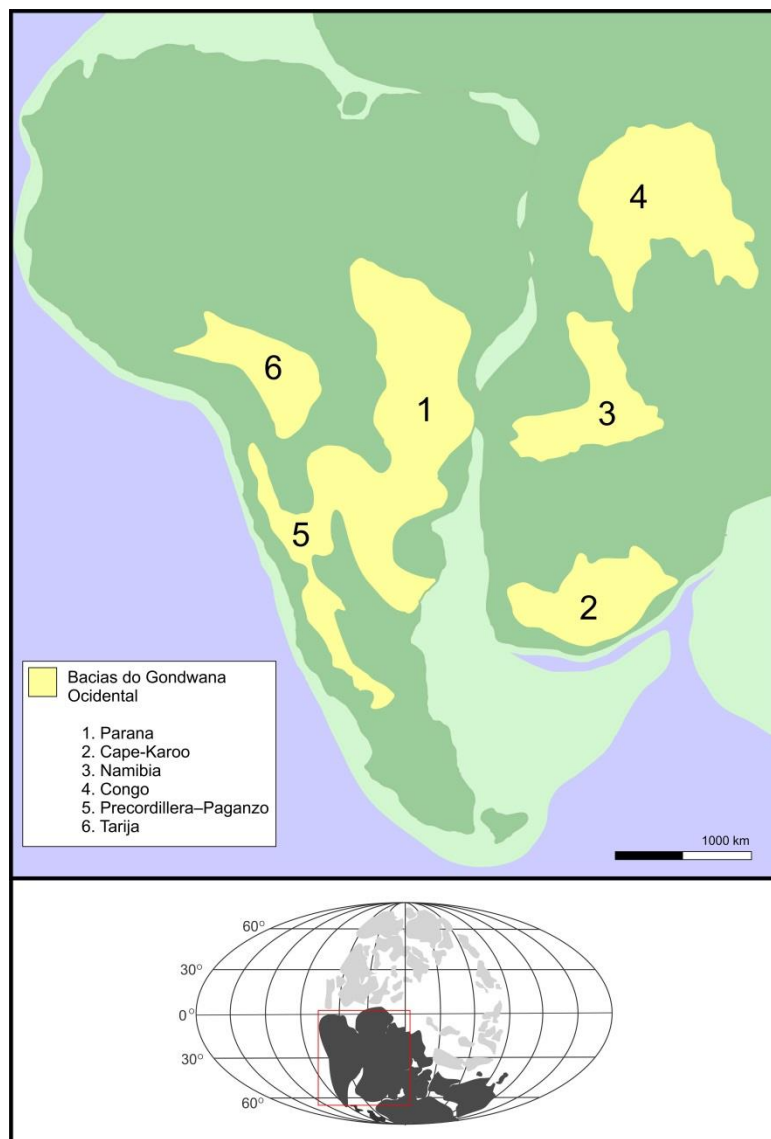
Já Limarino *et al.* (2014) resumem a glaciação na América do Sul em quatro estágios paleoclimáticos: 1. Glacial; 2. Glacial Terminal; 3. Posglacial e 4. Árido – semi-árido. A glaciação, iniciada no Viseano (Carbonífero), teria terminado no Guadalupiano, quando já é possível detectar indícios de aridez.

### **3.2. Contexto Geológico da Bacia do Paraná durante o Neopaleozóico**

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica localizada no Continente Sul-Americano, que se estende para além da porção brasileira, abarcando mais três países (Paraguai, Argentina e Uruguai), totalizando uma área de aproximadamente 1,5 milhão de quilômetro quadrado (Almeida, 1969; Milani *et al.*, 2007). A Bacia possui formato elíptico no sentido NNE-SSW, com seu contorno definido atualmente por limites erosivos relacionados às tectônicas de idades mesocenozóicas. Sua deposição ocorreu no intervalo Neoordoviciano (450 Ma) - Neocretáceo (66 Ma) (Milani *et al.*, 2007). Seu pacote atinge a espessura total máxima de sete mil metros no local que coincide geograficamente com a calha do rio Paraná.

Apesar de ser considerada uma bacia intracratônica, não se sabe se sob a Bacia (cráton do Paranapanema) existe somente um bloco ou diversos blocos que se amalgamaram ao longo de sua evolução (Milani, 1997). Evidências geofísicas mostram a presença de uma área de *rift* central, coincidente com a calha da Bacia do Paraná, no depocentro onde a Bacia atinge sua maior espessura (Milani, 2004; Bianchi, 2008).

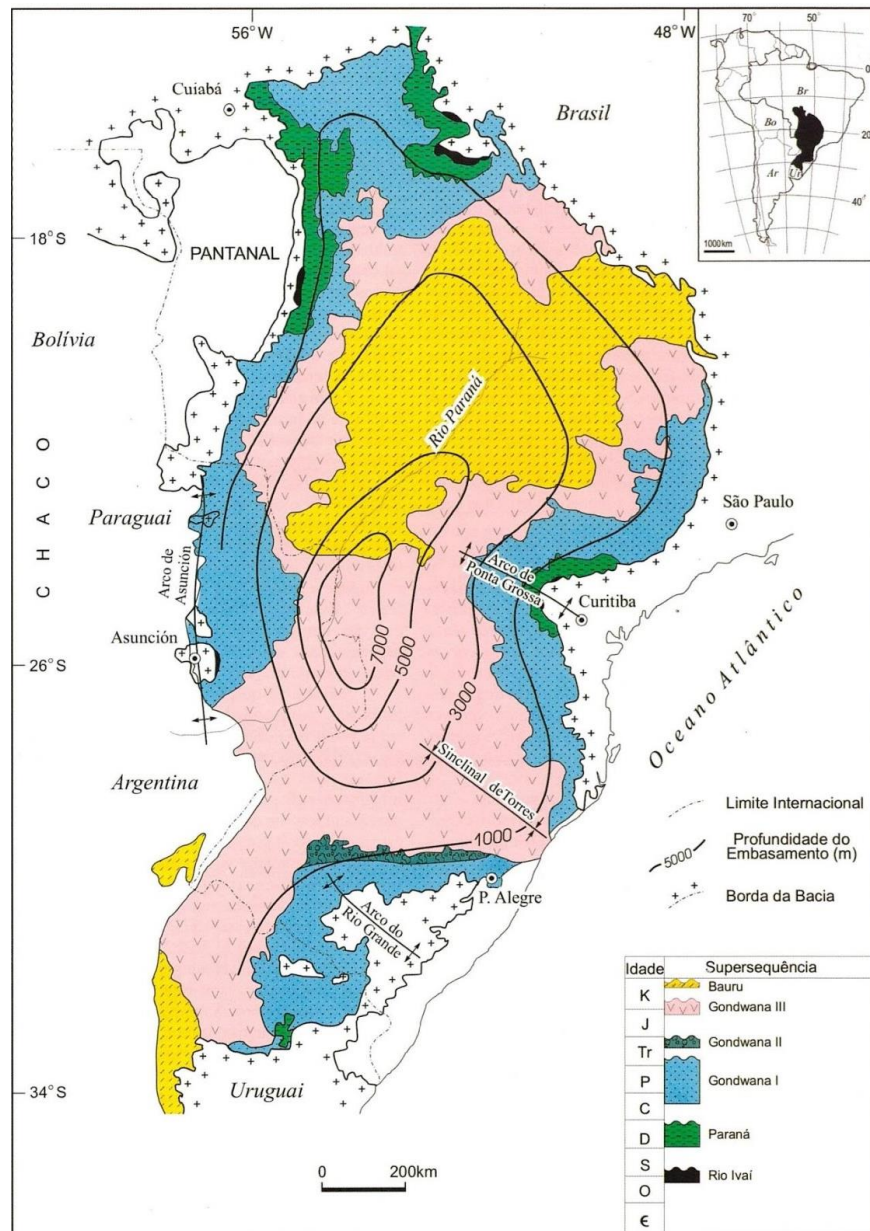
O cráton do Paranapanema esteve conectado com a massa continental que atualmente corresponde ao sul da África, o que permitiu a conexão entre as Bacias do Paraná, Congo e Cabo-Karoo (na África); além de outras bacias da América do Sul (Paganzo e Tarija, na Argentina) durante o Paleozóico (Milani & De Wit, 2008), permitindo correlações entre os registros da América do Sul e os africanos (figura 3.4).



**Figura 3.4** Bacias sedimentares do Gondwana Ocidental, onde existem registros da Província Florística do Gondwana durante o Neopaleozóico (Modificado de Milani & De Wit, 2008; Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco, 2015)

O desenvolvimento da Bacia do Paraná foi dividido em cinco megaciclos de deposição (Milani, 1997), separados por discordâncias de ampla escala. São eles: Rio Ivaí (Ordoviciano Superior - Siluriano Inferior), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero Médio - Triássico Inferior), Gondwana II (Triássico Superior), Gondwana III (Jurássico Superior - Cretáceo Inferior) e Bauru (Cretáceo Superior) (figura 3.5).

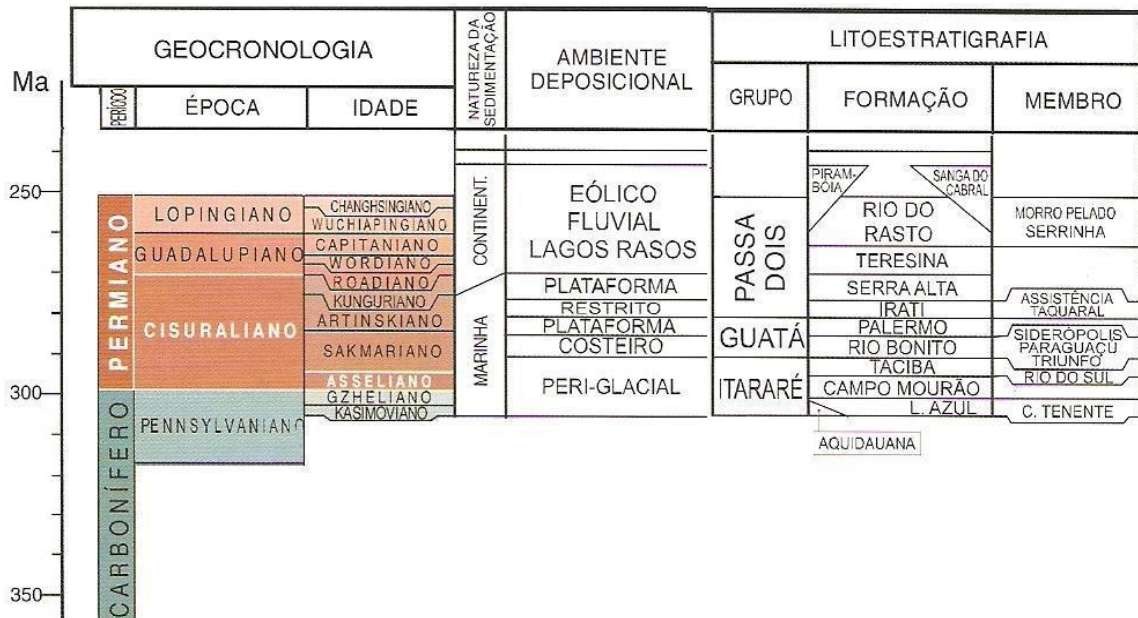




**Figura 3.5** Mapa com a localização das áreas aflorantes das supersequências da Bacia do Paraná (Milani, 2004)

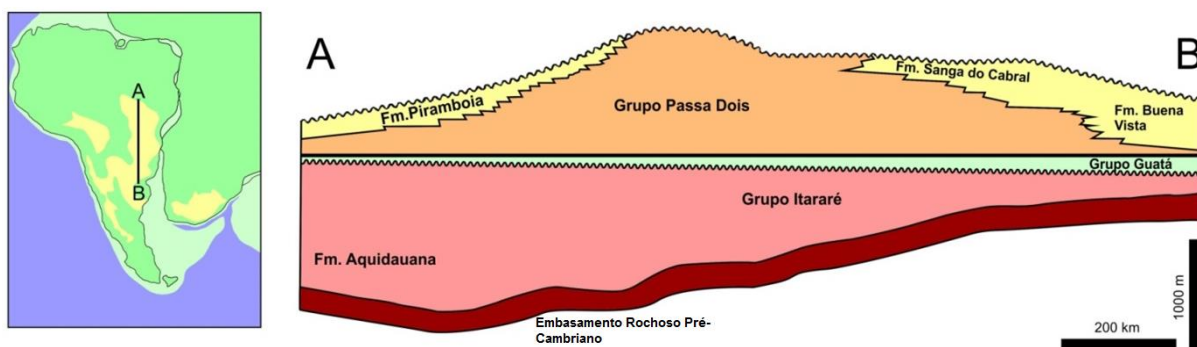
O estudo aqui apresentado envolve rochas do megaciclo Gondwana I, que tem o início de sua deposição em uma fase glacial, durante o Kasimoviano (303.9–306.5 M.a.), quando a porção do Gondwana onde estava localizada a Bacia se encontrava em altas latitudes (entre 60° e 90° de latitude S). A deposição do megaciclo se encerra durante o Eotriássico, período no qual o paleocontinente já se havia deslocado para porções mais a norte (entre 60° e 30° de latitude S) (Santos *et al.*, 1996; Castro, 2004; Milani *et al.*, 2007). São reconhecidas formalmente, dentro do megaciclo Gondwana I, as seguintes unidades litoestratigráficas, separadas por discordâncias de ampla escala: Grupo Itararé,

Grupo Guatá e Grupo Passa Dois (figura 3.6). A sequência representa o maior volume sedimentar da Bacia do Paraná, com 2.500 m de espessura (Milani *et al.*, 2007) (figura 3.7).



**Figura 3.6** Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná durante o Megaciclo Gondwana I, com as respectivas idades, ambientes deposicionais e litoestratigrafia (modificado de Milani *et al.*, 2007).

Foram realizadas, para o Grupo Itararé, diversas propostas de divisões, o que demonstra a complexidade e a grande dificuldade de se trabalhar com a unidade, associada à deposição do ciclo glacial/interglacial (Barbosa e Almeida, 1949; Schneider *et al.*, 1974; França e Potter; 1988). A presente pesquisa utiliza a proposta estratigráfica desenvolvida por França e Potter (1988), que foi posteriormente utilizada por Milani *et al.* (2007) para desenvolver a carta estratigráfica da Bacia do Paraná, atualmente aceita pela maior parte dos pesquisadores.



**Figura 3.7** Sessão transversal da Bacia do Paraná mostrando as espessuras relativas aos Grupos e Formações presentes no Megaciclo Gondwana I (Modificado de Milani & De Wit, 2008; Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco, 2015)

O Grupo Itararé é composto por depósitos de origem glaciogênica, como diamictitos maciços e estratificados, com litologias que indicam diversas áreas-fonte e a ação das geleiras. As fácies arenosas são encontradas maciças e com ondulações unidirecionais relacionadas a turbiditos (Eyles *et al.*, 1993). Pelitos também são identificados, e geralmente relacionados à decantação; além de fácies onde há claras evidências de ressedimentação. Subordinadamente, ainda são encontrados ritimitos (Rocha-Campos, 1967), sendo esses varvitos e tilitos verdadeiros. Por fim, há a presença de pavimentos estriados com direção N-S ou NW-SE (Rocha Campos, 1967; Gesicki *et al.*, 1996), indicando a direção das frentes glaciais. Diversos trabalhos (Barbosa & Almeida, 1949; Barbosa & Gomes, 1958; Schineider *et al.*, 1974, entre outros) foram realizados em torno da estratigrafia do Grupo Itararé. A última subdivisão foi proposta por França e Potter (1988), tendo como base testemunhos de sondagem realizados em toda a Bacia. Os autores dividiram o Grupo Itararé em três Formações: Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (da base para o topo). Nessa proposta estratigráfica, os fitofósseis do Grupo Itararé estariam relacionados à Formação Campo Mourão, principalmente aos siltitos e às raras jazidas de carvão (como Monte Mor, Itapeva e Cerquilha), que são convencionalmente relacionadas a períodos interglaciais e de contração das calotas glaciais. A Formação Aquidauana ocupa a porção extremo-norte da borda leste e a borda oeste da Bacia do Paraná. Tal formação é composta principalmente por arenitos avermelhados, e apresenta pouquíssimos registros fossilíferos; corresponde estratigraficamente ao Grupo Itararé.

O Grupo Guatá é constituído por siltitos cinza-esverdeados e por arenitos, com intercalações de camadas de carvão e folhelhos carbonosos (Schneider *et al.*, 1974). O Grupo Guatá, de maneira geral, é descrito como desenvolvido sob clima temperado. A porção basal foi interpretada como sendo constituída por depósitos de frente deltaica (Formação Rio Bonito), e a porção do topo como depósitos marinhos (Formação Palermo) (Gordon Jr., 1947; Schneider *et al.*, 1974).

A Formação Rio Bonito foi definida primeiramente por White (1908), como “Camadas Rio Bonito” (Rio Bonito *layers*). Somente em 1974, com o trabalho de Schneider *et al.*, as camadas foram elevadas à categoria de Formação. Sua litologia foi dividida por Medeiros *et al.* (1972) e Thomaz & Medeiros (1972) em três membros, que foram posteriormente denominados por Schneider *et al.* (1974) como Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis de base a topo. Na base do Membro Triunfo há localmente a presença de níveis de carvão, por vezes relacionados a franjas litorâneas. Na sequência no Membro Paraguaçu, se observa granodecrescência descendente, uma vez que, em sua base, são observados arenitos finos associados à calcioruditos e, no topo, predominam arenitos de médios a grosseiros, com intercalações de níveis carbonosos (Schneider *et al.*, 1974). É comum a presença de retrabalhamento dos sedimentos por conta de marés e tempestitos (Castro, 1991). A Formação Rio Bonito é interpretada por depósitos de front deltaico, com alta ciclicidade sedimentar. Os depósitos carbonosos podem também estar relacionados a eventos catastróficos de ampla escala, que causaram a deposição de matéria vegetal em fronts deltaicos (Milani, 1997).

Em relação ao registro fossilífero, encontra-se, associada às camadas de carvão dos membros Triunfo e Siderópolis, ampla gama de fitofósseis, sendo estes os mais emblemáticos da Flora de *Glossopteris* no Brasil devido a sua grande quantidade, diversidade e tempo relativamente curto de deposição. O Membro Paraguaçu também apresenta registro de fósseis vegetais, embora menos estudados (Schneider *et al.*, 1974).

Já a Formação Tatuí foi incluída posteriormente no Grupo Guatá. A formação foi definida por Soares (1972), e é separada do Grupo Itararé, em sua base, e do Grupo Passa Dois, em seu topo, por descontinuidades regionais. Soares & Landim (1973) relacionaram-na às Formações Rio Bonito e Palermo (indivisas no flanco norte da Bacia), o que acabou por introduzir essa unidade litoestratigráfica dentro do Grupo Guatá. A

respeito de sua litologia, é tida como relativamente monótona, sendo composta por siltitos intercalados por finas camadas de calcário, sílex e arenito, onde são encontrados troncos silicificados. Esta é uma formação difícil de ser mapeada, sendo reconhecidos três ciclos transgressivos e regressivos (Castro *et al.*, 1993).

Acima das formações Tatuí e Rio Bonito, há a Formação Palermo, composta por siltitos, siltitos arenosos e folhelhos relacionados à *Maximum Flooding Surface* da supersequência (Milani, 1997). Por possuir um caráter estritamente marinho, identificam-se apenas bioturbações, moluscos e ausência de fitofósseis.

O Grupo Passa Dois é composto pelas formações Irati, Serra Alta, Corumbataí, Teresina e Rio do Rasto. Tais formações foram depositadas após a invasão marinha (identificada como a Fm. Palermo). As formações Irati e Corumbataí são bem representadas no estado de São Paulo, enquanto as formações Teresina e Rio do Rasto compreendem formações identificadas na porção média e sul da Bacia (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (Lavina, 1991; Rohn, 1994, Milani *et al.*, 2007).

A Formação Irati representa o momento de interrupção da circulação de águas da Bacia e de sua conexão com o oceano Panthalassa. Tal condição desenvolveu um mar localmente hipersalino onde se acumularam carbonatos, evaporitos e folhelhos betuminosos (Milani *et al.*, 2007). Na Formação Irati existe grande abundância de troncos permineralizados por sílica (Mussa, 1982). Também são encontradas algumas impressões de glossopterídeas e de ramos de coníferas (Ricardi-Branco *et al.*, 1999)

Sobre a Formação Irati encontra-se um pacote de folhelhos relacionados à decantação da argila, que poderia significar um momento de incursão marinha ou presença de um clima mais úmido. Tal pacote é conhecido com Formação Serra Alta. Por fim, o topo dessa unidade é caracterizado por uma sequência de sedimentação de ambiente regressivo em ampla escala, com o domínio de sistemas continentais sobre os marinhos (Milani *et al.*, 2007).

Na porção que compreende os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e na porção sudoeste do estado de São Paulo podemos encontrar a Formação Teresina, composta por depósitos pelíticos que sofreram a ação de tempestades (Milani *et al.*, 2007). Nesta Formação há ampla ocorrência de fósseis vegetais, como compressões,

impressões e silicificações (Fanton *et al.*, 2006; Faria *et al.*, 2009; Christiano-de-Souza *et al.*, 2012). Encerrando o Grupo Passa Dois, na porção norte da Bacia, aflora a Formação Corumbataí, que é caracterizada por um amplo sistema de planícies, e equivale estratigraficamente à Formação Teresina (Milani *et al.*, 2007). Já a Formação Rio do Rasto (Lavina, 1991; Rohn, 1988, 1994) representa o ciclo final na porção média e sul da Bacia, e é composta em sua base por rochas características de ambiente sub-aquoso (com a presença de rochas com estruturas sedimentares de ondas), sem influência marinha. O ambiente aquoso se torna, progressivamente, transicional para o topo, com a presença de depósitos fluviais e lacustres. No topo dos depósitos do Grupo Passa Dois são encontrados arenitos característicos de dunas eólicas e a continentalização do sistema, encerrando o ciclo deposicional do Gondwana I. No grupo há grande recorrência de fitofósseis, gastrópodes e conchostráceos (Rohn, 1988).

### **3.3. Contexto Paleobotânico no Neopaleozóico: uma breve história evolutiva das plantas**

Para que os vegetais pudessem colonizar o meio terrestre, foi necessária a presença de condições climáticas e atmosféricas que permitissem seu desenvolvimento. Durante o Cambriano / Ordoviciano, uma combinação de mudanças climáticas e a configuração continental do planeta resultaram na inundação das placas continentais, e logo em seguida ocorreu uma glaciação, que deixou grandes áreas expostas (Willis & McElwain, 2002).

Os primeiros solos teriam se desenvolvido a partir da inclusão de elementos atmosféricos e de intemperismo, por chuvas ácidas produzidas por restos orgânicos provenientes de esteiras microbiais. Evidências geológicas mostram que, durante o fim do Ordoviciano, já havia solos bem desenvolvidos (Willis & McElwain, 2002).

As primeiras evidências de embriófitas terrestres são do Mesordoviciano; no Neodevoniano, já há evidências de tecidos de plantas vasculares (traqueófitas): no intervalo de aproximadamente 150 milhões de anos, plantas de pequeno porte e avasculares evoluíram em vegetais com estruturas mais complexas que atingiram mais de 30 metros, de porte arbóreo. (Willis & McElwain, 2002).

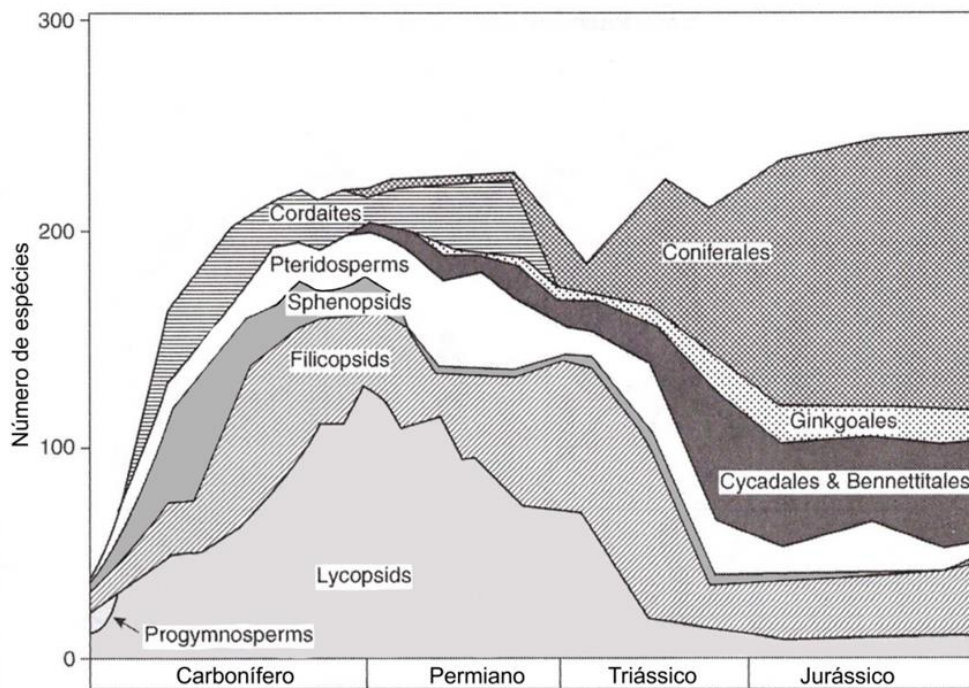
Para a maior adaptação ao meio terrestre, as primeiras plantas avasculares sofreram diversas modificações (Willis & McElwain, 2002). Dentre elas, podemos citar:

- Evolução dos sistemas vasculares: sistemas vasculares mais complexos e especialização de tecidos revestidos por lignina permitem aumento de diâmetro e altura das plantas.
- Mecanismos de suporte adicionais: tronco bem desenvolvido a partir do câmbio (floema e xilema secundários), permitindo o crescimento de grandes árvores (como *Archaeopteris*).
- Desenvolvimento dos megáfilos: órgãos especializados na captura de gases e fotossíntese.
- Mudança de homosporia para heterosporia: a heterosporia é considerada mecanismo precursor das plantas com sementes, uma vez que os megásporos seriam precursores dos óvulos e os micrósporos seriam precursores dos grãos de pólen.
- Evolução do óvulo após a heterosporia: a partir do mecanismo de heterosporia, três esporos dos megásporos acabaram sendo absorvidos no esporângio, sobrando um megásporo funcional, que se tornaria o óvulo.
- Desenvolvimento de camada protetora das sementes: proteção do megasporângio contra o dessecamento e a ação de predadores.
- Evolução dos grãos de pólen: diferentemente dos esporos, os pólenes possuem a capacidade de transferir seu material genético diretamente ao óvulo. Assim o pólen não depende de gametas nadantes para a fertilização.
- Desenvolvimento dos receptores de pólen: maior proteção ao megasporângio contra predadores e dessecação.

Em relação às famílias de plantas, as primeiras traqueófitas teriam evoluído no Devoniano, a partir de grupos de plantas avasculares. As três primeiras linhagens teriam sido as Riniófitas, as Zoosterífilas e as Trimeropsidas. As Riniófitas se extinguiram no Mesodevoniano; as Zoosterofilas originaram as Lycopsidas, as Trimeropsidas deram origem a três grupos: Equisetopsida, Cladoxylopsida (que posteriormente se tornaram Pteridopsida ou Maratiopsida), e Progymnospermopsida (que originou outras linhagens de plantas vasculares, as Gymnospermopsidas). (Willis & McElwain, 2002).



O Carbonífero é considerado período de emergência de espécimes arborescentes, como *Lepidodendron* (Lycopsida), *Calamites* (Equisetopsida), *Psaronius* (Filicopsida), *Archeopteris* (Progymnospermas), *Medullosa* (Pteridosperma), *Cordaitales* (Cordaites). Os espécimes arborescentes teriam ocupado prioritariamente áreas tropicais, ao passo que as regiões de altas latitudes seriam compostas sobretudo por espécimes de Lycopsida arborescentes, Equisetopsida e primeiras pteridospermas (Willis & McElwain, 2002). Assim, o Carbonífero representa principalmente a “Idade das Lycopsidas”, em virtude de terem elas, no intervalo, quadruplicado o número de espécies (figura 3.8).



**Figura 3.8** Expansão das plantas durante o Carbonífero-Permiano (Modificado de Willis & McElwain, 2002)

No final do Carbonífero são encontrados os primeiros registros de coníferas, grupo de plantas que, juntamente com as angiospermas, ainda é expressivo nas floras atuais. O Permiano foi um intervalo de intensas mudanças climáticas, episódios que afetaram muito a vegetação. Com o aumento da aridez, as plantas se adaptaram a uma dependência menor de água para reprodução, aumentando assim o número de espécies com sementes. O período representa o momento de evolução das ordens de Cycas, Bennettitales, Ginkgos e Glossopterídeas (Willis & McElwain, 2002).



As floras do intervalo Carbonífero / Permiano podem ser divididas em quatro províncias, a partir dos seus elementos característicos. São elas: Equatorial (Euroamericana e Cathaysica); Altas Latitudes Norte (Angarica), Altas Latitudes Sul (Gondwânica) (DiMichele *et al.*, 2005).

As floras desenvolvidas na Bacia do Paraná fazem parte daquelas conhecidas como floras “frias e temperadas” do hemisfério sul. São formadas principalmente por pteridospermas, acompanhados de elementos como Cordaitales e Equisetopsida. (Willis & McElwain, 2002). Atualmente também são relatadas ocorrências de briófitas (Amaral *et al.*, 2004; Ricardi-Branco *et al.*, 2013)

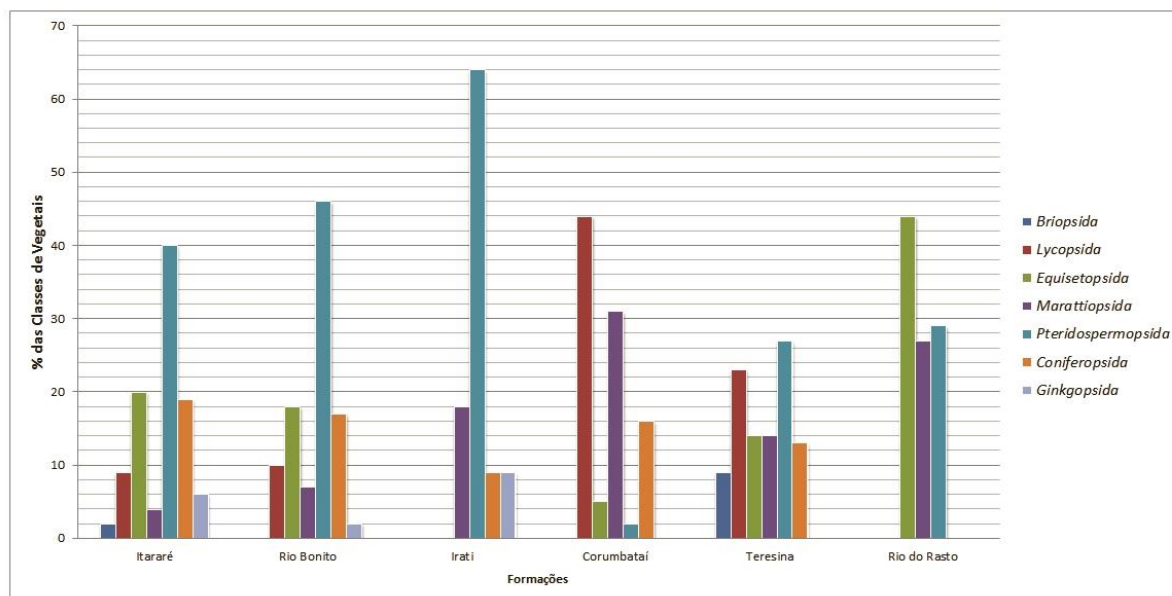
Na Bacia do Paraná, os fósseis do intervalo Carbonífero-Permiano se distribuem da seguinte maneira (Christiano-de-Souza, 2011)

- Grupo Itararé : 20% do total das ocorrências
- Rio Bonito: 31% do total das ocorrências
- Formação Irati: 2% do total das ocorrências
- Formação Corumbataí: 7% do total das ocorrências
- Formação Teresina: 2% do total das ocorrências
- Formação Rio do Rasto: 38% do total das ocorrências.

A Formação Rio Bonito é a que possui maior diversidade de gêneros. A razão para tal diversidade são processos de fossilização favoráveis (como grande aporte sedimentar que permitiu rápido soterramento, baixa ação de organismos decompositores), unidos a condições climáticas que permitiram o desenvolvimento de diversos grupos de plantas. (Ricardi-Branco, 1997).

As pteridospermas constituem o grupo dominante na Província Florística do Gondwana do intervalo Neocarbonífero - Mesopermiano da Bacia do Paraná, no que concerne ao número de espécies e à frequência dos registros. No entanto, essa linhagem de plantas perde destaque na flora quando comparada com outras, nas porções estratigráficas do topo do megaciclo Gondwana I. Assim, as Pteridospermas são dominantes em todo o intervalo, a não ser em sua fase final (Formações Corumbataí, Teresina e Rio do Rasto), na qual há maior ocorrência de Lycopsida (Formações

Corumbataí, Teresina) e Equisetopsida (Formação Rio do Rasto). (Christiano-de-Souza, 2011) (figura 3.9).



**Figura 3.9** Abundância relativa dos grupos de plantas em cada uma das Formações / Grupos da Bacia do Paraná

Os gêneros mais representativos que a Bacia apresenta são:

- Lycopsida: *Lycopodiopsis*;
- Equisetopsida: *Phyllothea*, *Schinozeura*, *Sphenophyllum* e *Paracalamites*;
- Marattiopsida / Polypopsida: *Dizeugotheca*, *Pecopteris* e *Botrychiopsis*;
- Pteridospermopsida: *Gangamopteris*, *Glossopteris*;
- *Insertae sedis*: *Cordaicarpus* e *Samaropsis*.

Em relação a sua distribuição, os fitofósseis distribuem-se em toda a borda leste da Bacia, ao longo das porções carboníferas e permianas da mesma. Os registros basais do Grupo Itararé concentram-se na porção norte e na porção sul. Já as outras formações apresentam distribuição relativamente homogênea.

## 4. Materiais e Métodos

### 4.1. Criação da Base de Dados

Para a construção da base de metadados, dos mapas e dos gráficos acerca do conteúdo fitofossilífero da Província Florística do Gondwana na Bacia do Paraná, procurou-se utilizar todos os artigos, livros e teses disponíveis que apresentassem e descrevessem tais ocorrências (Christiano-de-Souza *et al.*, 2014). Ou seja, no total foram consultadas, revisadas e analisadas 180 referências (em anexo).

Os atributos considerados para a elaboração da base de metadados foram sua localização, coordenadas, geologia (nos níveis hierárquicos de Grupo, Formação e Membro), geocronoestratigrafia (Período, Época e Idade), flora, sistemática paleobotânica (Divisão, Subdivisão, Classe, Ordem, Família, Gênero e Espécie) e tafonomia (estrutura preservada, tipo de preservação e grau de aloctonia) (Christiano-de-Souza, 2011).

### 4.2. Processo de Georreferenciamento

Para o georreferenciamento foram utilizadas informações originais dos trabalhos, sempre tentando aproximações máximas das localizações prováveis dos afloramentos. Mapas rodoviários e a Wikimapia foram utilizados como ferramentas auxiliares.

Dessa maneira gerou-se uma base de metadados, convertida posteriormente em mapa, utilizando o ArcGIS pela geração de um *shapefile* das ocorrências fitofossilíferas.

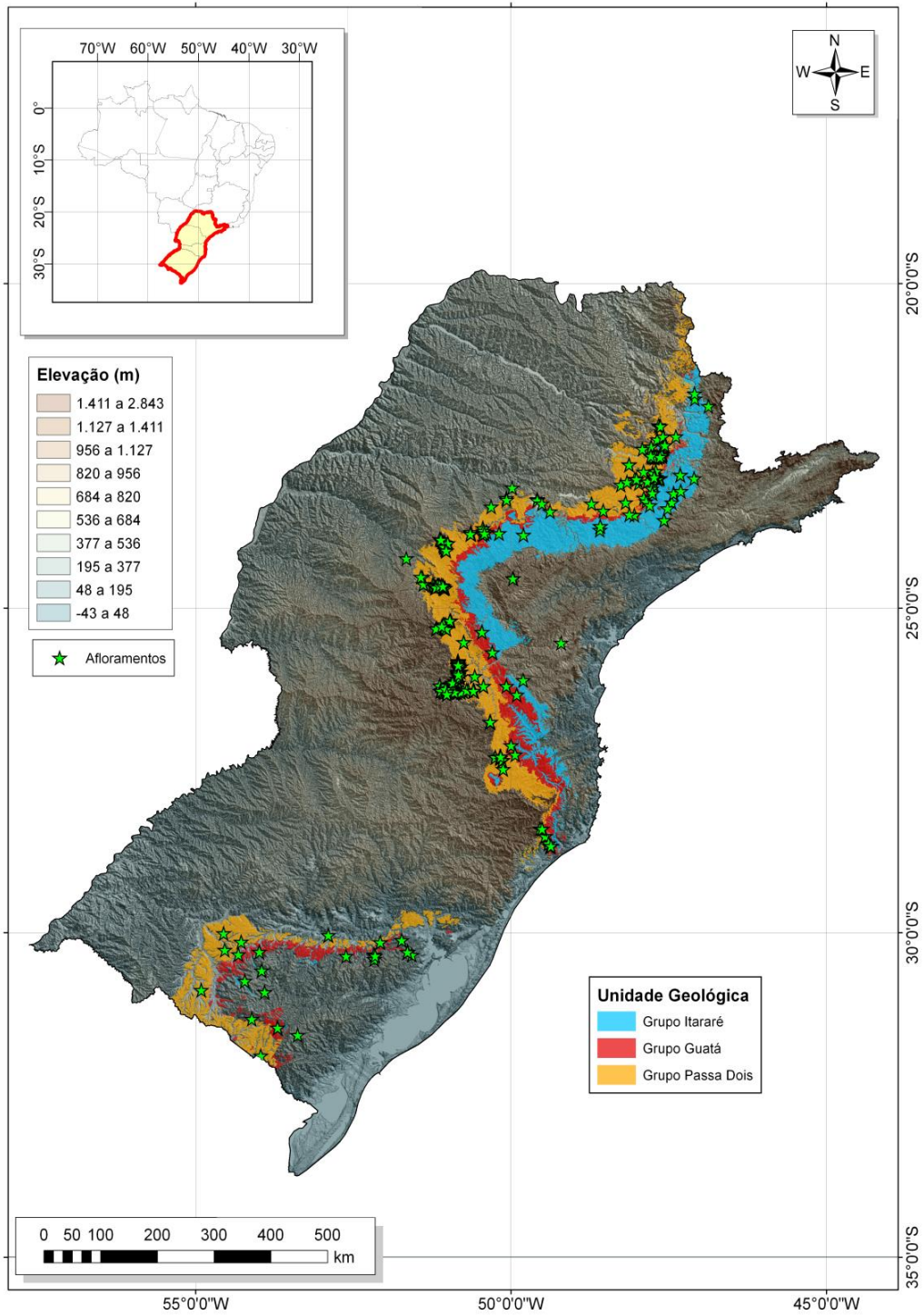
O mapa utilizado como base corresponde ao Mapa Geológico do Brasil em escala 1:1000000, cujas folhas, no formato de arquivos vetoriais (*shapefiles*), encontram-se disponíveis para download na base de dados da CPRM, o Geobank (<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>).

As folhas da Carta Geológica da CPRM correspondentes às rochas aflorantes do Gondwana I são aquelas que reproduzem parte do sudeste e a porção sul do Brasil

(abaixo das latitudes 20° sul), e que foram unidas em um só arquivo vetorial através do uso do programa ArcGIS, para a obtenção do resultado desejado (figura 4.1).

### 4.3. Sistemática Paleobotânica

A análise foi realizada através da comparação das áreas ocupadas, bem como atendendo à predominância de ordens e gêneros de fitofósseis para cada período, de maneira semelhante à realizada no trabalho de Christiano-de-Souza *et al.* (2014). A opção pelo estudo em nível de gênero foi adotada em virtude dos diversos gêneros sem espécie definida. A classificação utilizada na Base segue Frey (2009) para as categorias mais amplas, como Divisão, Classe e Ordem. Frey (2009) apresenta quatro divisões para as plantas terrestres: *Marchantiophyta*, *Bryophyta*, *Antocerophyta* (aqui unidas como embriotas) e *Tracheophyta*. A Divisão *Tracheophyta*, por sua vez, possui as subdivisões *Rhyniophytina*, *Lycophytina*, *Euphyllophytina*, *Spermatophytina*. Para as categorias taxonômicas menores, adaptou-se a classificação de Taylor *et al.* (2009), uma vez que estes autores propõem um sistema de classificação ampla para fitofósseis. As linhagens categorizadas por Taylor *et al.* (2009) como Divisão foram transferidas para o nível de Classe e, de forma semelhante, outras linhagens.



**Figura 4.1** Localização dos Grupos e dos afloramentos fitofossilíferos da Bacia do Paraná (Christiano-de-Souza, 2011)

#### **4.4. Análise espacial dos resultados**

Ao todo foram contabilizados aproximadamente um mil duzentos e cinco dados a respeito da Província Florística do Gondwana durante o Neopaleozóico, em um total de 280 afloramentos. A partir dessas informações foram construídas tabelas e gráficos. No primeiro manuscrito, a análise foi realizada considerando o total de gêneros nos três grupos: Grupos Itararé, Guatá e Passa Dois. No segundo manuscrito, as comparações foram realizadas entre os gêneros do Grupo Itararé e Formação Tatuí e Rio Bonito. No terceiro manuscrito, as comparações entre os gêneros foram realizadas dentro do Grupo Itararé, só que de maneira qualitativa, analisando a presença ou ausência dos gêneros.

#### **4.5. Ferramentas auxiliares para a interpretação: análise de agrupamento**

Para conhecer a composição florística dos afloramentos, realizou-se a Análise de Agrupamento. Para tanto, utilizou-se o programa FITOPAC 2.1, no qual, através do índice de Sorensen e do método de agrupamento UPGMA (método da ligação média não ponderada), mostrou-se o grau de semelhança (e a diferenciação) dos afloramentos estudados. O índice de Sorensen é útil quando existem contrastes qualitativos entre afloramentos. Já o método de agrupamento hierárquico UPGMA determina a afinidade entre os afloramentos pela sua média, introduzindo poucas distorções nas afinidades originais.

## 5. Resultados

No presente item os resultados da pesquisa são apresentados na forma de artigos. Apesar dos três artigos se tratarem de análises do conteúdo paleobotânico da Bacia do Paraná, os estudos foram realizados em diversas escalas espaciais e temporais. Assim são fornecidos diferentes resultados acerca da evolução da Província Florística do Gondwana na Bacia do Paraná.

O primeiro artigo apresentado possui o título “*Study of the West Gondwana Floras During the Late Paleozoic: A Paleogeographic Approach in the Paraná Basin – Brazil*”. O artigo foi publicado na revista PALAEO 3 - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, vol. 426, páginas 159-169 (Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco, 2015). O objetivo do artigo era compreender o papel das mudanças climáticas sobre a Província Florística do Gondwana na Bacia do Paraná durante o Neopaleozóico. Estudou-se a flora a partir dos três Grupos pertencentes ao Megaciclo Gondwana I: o Grupo Itararé, o Grupo Guatá e o Grupo Passa Dois. Buscou-se a correlação direta entre o clima e número de gêneros dos grupos vegetais; a flora, em particular, foi comparada com aquela encontrada em bacias vizinhas durante o Gondwana, como as Bacias de Paganzo, San Rafael, Calingasta/Uspallata (na Argentina) e Karoo (na África).

O segundo artigo apresentado na presente tese é “*Swamp Flora Changes Through The Pennsylvanian – Early Permian Interval in the Gondwana Floristic Province of The Brazilian Portion of The Paraná Basin*”. O artigo foi publicado em *The Carboniferous-Permian Transition. New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin 60*; fornece a análise de um momento climático especial: o fim da glaciação na América do Sul, e como esse fenômeno teria afetado principalmente os gêneros característicos de ambientes de pântanos. O artigo trata também de megásporos, uma vez que estes não apresentam grande dispersão como os micrósporos, e estão relacionados diretamente a Lycopsidas.

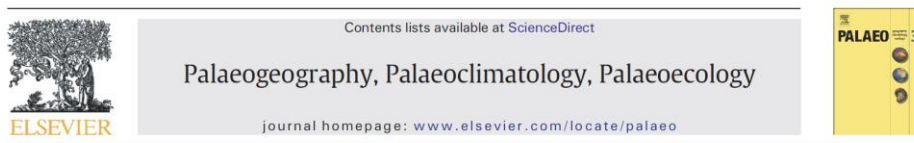
O terceiro artigo, ainda inédito, aborda somente as floras presentes no Grupo Itararé. Utilizou-se como metodologia a Análise de Agrupamentos, com o objetivo de realizar uma comparação dos paleoambientes específicos de cada um dos sítios fitofossilíferos do Grupo.

# Artigo I - Study Of The West Gondwana Floras During The Late Paleozoic: A Paleogeographic Approach In The Paraná Basin – Brazil

Isabel Cortez Christiano-de-Souza e Frescia Ricardi-Branco

Artigo publicado na revista “Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology” n° 426 (2015) 159–169

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 426 (2015) 159–169



## Study of the West Gondwana Floras during the Late Paleozoic: A paleogeographic approach in the Paraná Basin – Brazil



Isabel Cortez Christiano-de-Souza\*, Frescia Soledad Ricardi-Branco

Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (Department of Geology and Natural Resources, Institute of Geoscience, State University of Campinas), Campinas - SP, 13083-970, Brazil

### ARTICLE INFO

**Article history:**  
Received 11 December 2014  
Received in revised form 3 February 2015  
Accepted 17 February 2015  
Available online 26 February 2015

**Keywords:**  
Gondwana  
Fossil plants  
Climate change  
Paraná Basin

### ABSTRACT

The Late Paleozoic in West Gondwana was a period of significant climatic changes, ranging from a glacial climate in the Late Carboniferous to a semi-arid climate in the Late Permian. The Floristic Province of Gondwana in the Paraná Basin was directly affected by such changes, and underwent a transformation regarding composition and geographic distribution. Thus, the climatic phases were divided into three intervals: Phase A containing interglacially developed flora; Phase B, containing floras of immediate post-glacial temperate climates, and phase C, identified with floras related to the decline of dryness. Regarding their geographical distribution, the floras were concentrated in the far-northern and far-southern portions of the basin during the Glacial interval, and, with a gradual increase in temperature, went on to occupy the entire basin. Finally, we can see that the floras located in the Argentinean portion of West Gondwana are older and have greater species diversity than those present in the Paraná Basin and Africa during Phase A. In Phase B, there is a decline of Argentinean flora species, a large increase in the Paraná Basin floras, and an average increase in African floras. In the final stage, the floristic province no longer exists in Argentina, the flora of the Paraná Basin also suffers a decrease of specimens, and the African flora undergoes its moment of greatest development. Such diversity change also reflects a west-to-east migration throughout the Late Carboniferous.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

### 1. Introduction

The Gondwana represented the largest continental crust unit on the planet for 200 million years. It included the present continents of South America, Africa, Antarctica, and Australia, as well as Madagascar and the Indian subcontinent, which, together, currently represent 64% of the planet's emerged lands. Additionally, other fragments such as Florida, Central America, Southern Europe, South-Central, and Southeast Asia may also have been a forming part of the continental crust, as portions of this supercontinent, during part of its long existence (Torsvik and Cocks, 2013).

At a global level, the Carboniferous – Permian interval represented a gradual climatic transformation. The Late Paleozoic Ice Age (LPIA), which began in the Late Devonian – Early Carboniferous, left several traces of its existence as geological records (such as tillites, rhythmites, varves, and glacial striations). Such glacial records are found in the southern part of Gondwana as far as 30° S (Parrish et al., 1986; Fielding et al., 2008). This ice age is marked by several pulses, which are observable up to the Artinskian/Kungurian Stage, and deglaciation occurred relatively faster when compared with the total duration of the event (Gibbs et al., 2002). Poulsen et al. (2007) state that in Pangea, at the end of glaciation, drier conditions and higher temperatures were found in equatorial

regions (central Pangea), and, thus, a trend in biomes of expansion of deserts and contraction of forests can be observed. Such a process of progressive global warming peaked during the Triassic.

Several studies have been conducted on the Neopaleozoic climate. Among them, it is worth mentioning the work of Limarino et al. (2014), which presents an impressive picture of the paleoclimatic history of Gondwana in South America.

Several areas of the Gondwana paleocontinent, which were largely covered by ice during the Carboniferous, became covered by an exuberant flora during the Permian (Christiano-de-Souza and Ricardi-Branco, 2013). It is in this scenario that the Floristic Province of Gondwana is admitted, consisting of sequences of paleofloras in several stages of development.

Informally, two floras are currently accepted for this period: *Pre-Glossopteris* and *Glossopteris* floras. The *Pre-Glossopteris* flora has been mainly recorded during the Late Carboniferous, during the retraction of glacial pulses. The *Glossopteris* flora, on the other hand, represents the time of Gondwana paleocontinent warming, when a great diversity existed of genera and species. The flora of *Dicrodium* is also found in the Gondwana, in the Triassic Period (Anderson and Anderson, 1985), after the extinction of the *Glossopteris* flora. However, the present study only focused on the two oldest floras: *Pre-Glossopteris*, and *Glossopteris*.

The main purpose of the analysis presented here was to demonstrate the evolution and comparison of *Pre-Glossopteris* and *Glossopteris* Floras on the eastern border of the Paraná Basin (Brazil) during different climatic moments, through the mapping of the occurrences of fossil

\* Corresponding author. Tel.: + 55 11 92067856.  
E-mail addresses: isabelcortez@ige.unicamp.br (I.C. Christiano-de-Souza), frescia@ige.unicamp.br (F.S. Ricardi-Branco).



### 5.1.1. Abstract

The Late Paleozoic in West Gondwana was a period of significant climatic changes, ranging from a glacial climate in the Late Carboniferous to a semi-arid climate in the Late Permian. The Floristic Province of Gondwana in the Paraná Basin was directly affected by such changes, and underwent a transformation regarding composition and geographic distribution. Thus, the climatic phases were divided into three intervals: Phase A contains interglacially developed flora; Phase B, containing floras of immediate post-glacial temperate climates, and phase C, identified with floras related to the increase of dryness. Regarding their geographical distribution, the floras were concentrated in the far-northern and far-southern portions of the basin during the Glacial interval, and, with a gradual increase in temperature, went on to occupy the entire basin. Finally, we can see that the floras located in the Argentinean portion of West Gondwana are older and have greater species diversity than those present in the Paraná Basin and Africa during Phase A. In Phase B, there is a decline of Argentinean flora species, a large increase in the Paraná Basin floras, and an average increase in African floras. In the final stage, the floristic province no longer exists in Argentina, the flora of the Paraná Basin also suffers a decrease of specimens, and the African flora undergoes its moment of greatest development. Such diversity change also reflects a west-to-east migration throughout the Late Carboniferous.

### 5.1.2. Introduction

The Gondwana represented the largest continental crust unit on the planet for 200 million years. It included the present continents of South America, Africa, Antarctica, and Australia, as well as Madagascar and the Indian subcontinent, which, together, currently represent 64% of the planet's emerged lands. Additionally, other fragments such as Florida, Central America, Southern Europe, South-Central, and Southeast Asia may also have been a forming part of the continental crust, as portions of this supercontinent, during part of its long existence (Torsvik & Cocks, 2013).

At a global level, the Carboniferous – Permian interval represented a gradual climatic transformation. The Late Paleozoic Ice Age (LPIA), which began in the Late

Devonian - Early Carboniferous, left several traces of its existence as geological records (such as tillites, rhythmites, varves, and glacial striations). Such glacial records are found in the southern part of Gondwana as far as 30° S (Parrish *et al.*, 1986; Fielding *et al.*, 2008). This ice age is marked by several pulses, which are observable up to the Artinskian/Kungurian Stage, and deglaciation occurred relatively faster when compared with the total duration of the event (Gibbs *et al.*, 2002). Poulsen *et al.* (2007) state that in Pangea, at the end of glaciation, drier conditions and higher temperatures were found in equatorial regions (central Pangea), and, thus, a trend in biomes of expansion of deserts and contraction of forests can be observed. Such a process of progressive global warming peaked during the Triassic.

Several studies have been conducted on the Neopaleozoic climate. Among them, it is worth mentioning the work of Limarino *et al.* (2014), which presents an impressive picture of the paleoclimatic history of Gondwana in South America.

Several areas of the Gondwana paleocontinent, which were largely covered by ice during the Carboniferous, became covered by an exuberant flora during the Permian (Christiano-de-Souza & Ricardi-Branco, 2013). It is in this scenario that the Floristic Province of Gondwana is admitted, consisting of sequences of paleofloras in several stages of development.

Informally, two floras are currently accepted for this period: PreGlossopteris and Glossopteris floras. The Pre-Glossopteris flora has been mainly recorded during the Late Carboniferous, during the retraction of glacial pulses. The Glossopteris flora, on the other hand, represents the time of Gondwana paleocontinent warming, when a great diversity existed of genera and species. The flora of *Dicroidium* is also found in the Gondwana, in the Triassic Period (Anderson & Anderson, 1985), after the extinction of the Glossopteris flora. However, the present study only focused on the two oldest floras: Pre-Glossopteris, and Glossopteris.

The main purpose of the analysis presented here was to demonstrate the evolution and comparison of Pre-Glossopteris and Glossopteris Floras on the eastern border of the Paraná Basin (Brazil) during different climatic moments, through the mapping of the occurrences of fossil plants. Detailed comparison charts were used as an

auxiliary tool. Moreover, comparisons with the Gondwana Floristic Province occurrences in other Gondwana basins during the same period were made.

The importance of the study of floras is related to the close relationship of plants with climate and the environment. They not only act as driving forces for climatic changes (through their influence on the balance between O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> on the planet), but also they are highly susceptible to changes in such gas balances (which can lead to speciation and extinction events). In addition, fossil plants conform highly to the place where they are found, since preservations take place in a para-autochthonous manner, considering their development locations (Christiano-de-Souza *et al.*, 2014).

### **5.1.3. Geology**

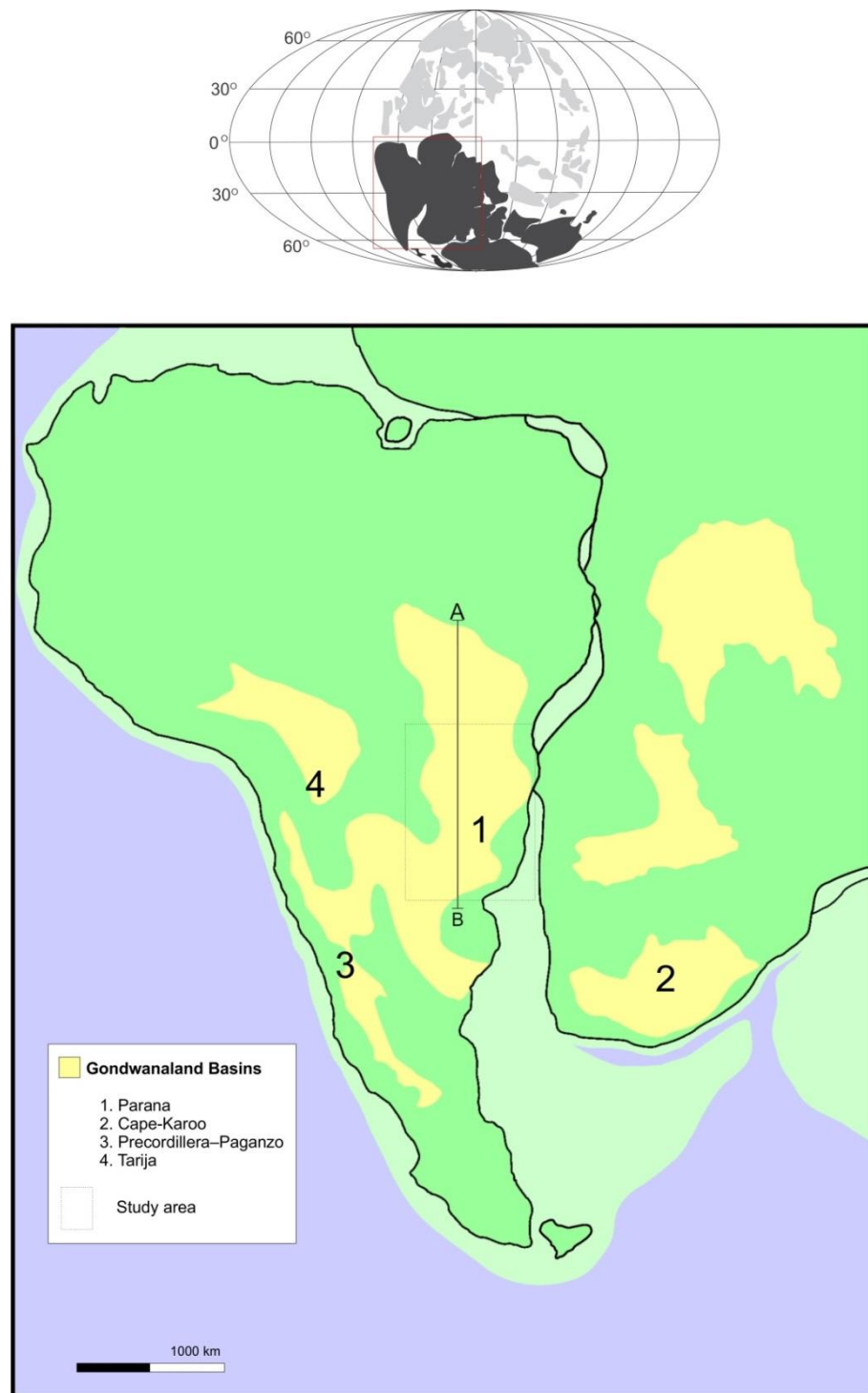
During the Carboniferous – Permian, the Paraná Basin was located in the southwestern portion of Gondwana. Currently, its sedimentation area covers more than 1,500,000 km<sup>2</sup>, and is positioned in the southwestern portion of South America. Sometimes called the Chaco Paraná Basin, there is geological evidence that, during the Permian and Late Carboniferous, the Paraná Basin was interconnected with the Karoo (in Africa), Paganzo, and Tarija (Argentina) Basins. (Fig 5.1)

The paleoflora found in such locations is different from those set out in the northernmost portions of the Gondwana paleocontinent. One example is the Parnaíba Basin, also deposited in the Late Carboniferous – Permian interval, which has distinct elements from Pre-Glossopteris and Glossopteris paleofloras. In fact, its characteristics are closer to the northern hemisphere floras of Pangea (or Laurasia) than those observed in the floras of Gondwana (Dolianiti, 1972).

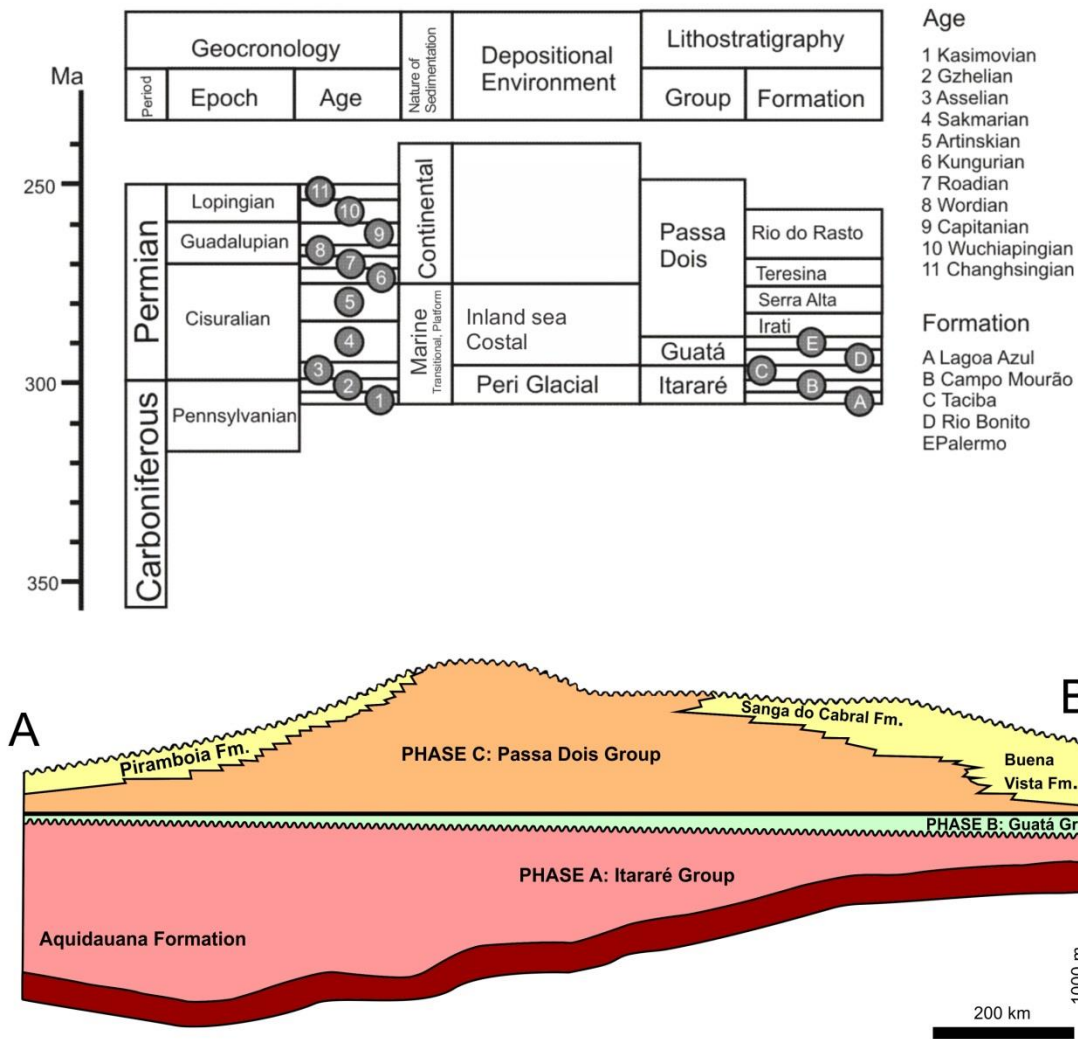
Geologically, Milani (1997) divided the development of the Brazilian portion of the Paraná Basin into 5 megacycles of deposition. The study presented here involved rocks of the Gondwana I megacycle, which began with a glacial stage throughout the Kasimovian, when the Gondwana portion where the basin was located was at high latitudes (between 60° and 90° S). The megacycle deposition ended during the Capitanian period, during which the paleocontinent had already shifted to its northernmost portions

(between 60° and 30° S) (Santos *et al.*, 1996; Castro, 2004; Milani *et al.*, 2007). The following lithostratigraphic units, separated by wide-range disagreements, are formally accepted within the Gondwana I megacycle: the Itararé Group, the Guatá Group, and the Rio Bonito Group (Fig. 5.2).

The Itararé Group, throughout its history, had various divisions, which demonstrates the complexity and great difficulty of working with such a unit, associated to the deposition of the glacial/interglacial cycle (Barbosa & Almeida, 1949; Schneider *et al.*, 1974; França & Potter, 1988). The stratigraphic proposal developed by França & Potter (1988), and later used by Milani *et al.* (2007) to elaborate the currently accepted stratigraphic chart of the Paraná Basin, was used in the present research.



**Figure 5.1** Location of Gondwana during the Permian and location of its sedimentary basins. The cross-section represented by A and B is detailed in Fig. 5.2.



**Figure 5.2** Stratigraphic column of the Paraná Basin during Gondwana 1, adapted from Milani (2007) and cross section A–B described in Fig. 1 (adapted from Milani & De Wit, 2008).

The Itararé Group consists of deposits of glaciogenic origin, such as massive and stratified diamictites, with lithologies that indicate different source areas and the action of glaciers. The sandy facies are massive, with unidirectional ripples, which are related to turbidites (Eyles *et al.*, 1993). Pelites are also identified, and usually related to decantation, as well as facies, where there is clear evidence of resedimentation. Subordinately, rhythmites are also found (Rocha-Campos, 1967), and these are true varvites and tillites. Finally, glacial striations in a NS or NW-SE direction are present (Rocha-Campos, 1967; Gesicki *et al.*, 1996) which indicate the direction of glacial fronts. Several studies (Barbosa & Almeida, 1949; Barbosa & Gomes, 1958; Schneider *et al.*, 1974; and others) were performed on the stratigraphy of the Itararé Group. The last subdivision was proposed by França & Potter (1988), and based on drill cores. The

authors divided the Itararé Group into three formations: Lagoa Azul, Campo Mourão, and Taciba (from the base to the top). In this stratigraphic proposal, the fossil plants of the Itararé Group would be related to the Campo Mourão Formation, especially to siltstones and rare coal beds (such as Monte Mor, Itapeva, and Cerquilha), which are conventionally related to interglacial and glacier contraction periods. The Aquidauana Formation occupies the northernmost portion of the east border and the west border of the Paraná Basin. Such formation is mainly composed of reddish sandstones and has very few fossil records; it corresponds stratigraphically to the Itararé Group.

The Guatá Group consists of greenish-gray siltstones and sandstones, alternated with coal layers and carbonaceous shales (Schneider *et al.*, 1974). The Guatá Group, in general, is said to have developed in a temperate climate interval. The group's name was initially proposed by Gordon (1947). The basal portion of the Group was interpreted as deltaic front deposits (Rio Bonito Formation), and the top portion, as marine deposits (Palermo Formation).

The Rio Bonito Formation was first defined by White (1908) as “Rio Bonito layers”. Only in 1974, with the study by Schneider *et al.* (1974), were the “Rio Bonito Layers” raised to the category of Formation. Its lithology was divided by Medeiros *et al.* (1972) and Thomaz and Medeiros (1972) into three members, which were subsequently named by Schneider *et al.* (1974) as Triúnfo, Paraguaçu, and Siderópolis, from the base to the top. At the base of the Triúnfo Member, levels of coal are observed locally, which are sometimes related to coastal fringes. Sequentially, in the Paraguaçu Member, grains tend to thin towards the base, since its base contains fine sandstones associated with calcirudites and the top has a dominance of medium-to-coarse sandstones alternated with carbonaceous layers (Schneider *et al.*, 1974). The presence of sediment reworking due to tides and tempestites is common (Castro, 1991). The Rio Bonito Formation is interpreted as deltaic front deposits, with high sedimentary cyclicity. Carbon deposits can also be related to large-scale catastrophic events, which caused the deposition of vegetative matter in deltaic fronts (Milani, 1997).

Regarding the fossil records associated with the coal layers of the Triúnfo and Siderópolis Members, a wide range of fossil plants can be found, and these are the most emblematic traces of the Glossopteris Flora in Brazil due to their great diversity,

abundance, and relatively short deposition time. The Paraguaçu Member also contains records of fossil plants, although these have been studied less (Schneider *et al.*, 1974).

The Tatuí Formation, on the other hand, was later included in the Guatá Group. This formation was defined by Soares (1972) and is separated from the Itararé Group at its base and from the Passa Dois Group at its top, by regional discontinuities. Soares and Landim (1973) related it to the Rio Bonito and Palermo Formations (undivided on the north flank of the basin), which eventually introduced this lithostratigraphic unit into the Guatá Group. Regarding its lithology, it is regarded as relatively uneventful, consisting of siltstones alternated with thin layers of limestone, flint, and sandstone, where silicified trunks can be found. This is a difficult formation to be mapped. Three transgressive and regressive cycles are currently accepted (Castro *et al.*, 1993).

Above the Rio Bonito and Tatuí Formations is the Palermo Formation, consisting of siltstones, sandy siltstones, and shales, related to the Supersequence Maximum Flooding Surface (Milani, 1997). Owing to a strictly marine nature, only bioturbations can be identified, with no fossil plants.

The Passa Dois Group is composed of the Irati, Serra Alta, Corumbataí, Teresina, and Rio do Rasto Formations. They were deposited after-seas from the Palermo Formation. The Corumbataí and Irati Formations are well represented in the State of São Paulo, while the Teresina and Rio do Rasto Formations comprise those identified in the middle and southern portion of the basin (States of Paraná, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul) (Lavina, 1991; Rohn, 1994; Milani *et al.*, 2007).

The Irati Formation represents the moment of interruption of water circulation in the basin and of its connection with the Panthalassa Ocean (Milani *et al.*, 2007). Such a condition developed a hypersaline sea locally which accumulated carbonates, evaporites, and bituminous shales. The Irati Formation contains a great abundance of trunks permineralized by silica. Some impressions of glossopteridales and branches of conifers can also be found.

Over the Irati Formation is a package of clay-decantation-related shales, which could mean a moment of marine incursion or the presence of a more humid climate. Such package is known as the Serra Alta Formation. Finally, at the top of this unit, a large-scale



sequence of regressive sedimentation environments is found, with a dominance of continental systems over marine systems (Milani, 2007).

The Teresina Formation is found in the portion comprising the states of Rio Grande do Sul, Santa Catarina, and Paraná, which contains pelitic deposits that underwent the action of tides (Milani *et al.*, 2007). In the Teresina Formation, there is a wide occurrence of fossil plants such as compressions, impressions and silicifications (Fanton *et al.*, 2006; Faria *et al.*, 2009; Christiano-de-Souza *et al.*, 2012). Completing the Passa Dois Group is the Corumbataí Formation in the northern portion of basin, which is characterized by an extensive system of tidal plains, and is stratigraphically equivalent to the Teresina Formation (Milani *et al.*, 2007). In turn, the Rio do Rasto Formation (Rohn, 1988, 1994; Lavina, 1991) represents the final cycle in the middle and southern portions of the basin, and is formed at its base by rocks that are characteristic of a sub-aqueous environment (with the presence of rocks with a rippled sedimentary structure), with no marine influence. The aqueous environment becomes progressively transitional to the top, with the presence of river and lake deposits. It culminates with characteristic aeolian dune sandstones and the continentalization of the system, completing the depositional cycle of the Passa Dois Group.

Thus, the present analysis took into account three climactic moments divided by wide-scale disagreements, and, represented by the three aforementioned groups. Phase A corresponds to the Itararé Group, Phase B corresponds to the Guatá Group, and Phase C corresponds to the Passa Dois Group.

#### **5.1.4. Methodology**

In order to build the metadata, map, and graphic base concerning the fossil plants content of the Floristic Province of Gondwana in the Paraná Basin, we attempted to use all available articles, books, and thesis that present and describe such occurrences (Christiano-de-Souza *et al.*, 2014) i.e., 180 references were consulted, reviewed, and analyzed. An interesting point to emphasize is that research on the topic began over a century ago, so that there is no guarantee that all existing references were included in this study. Content in the IGC-USP and IG-UNICAMP library journals and several articles

available on the internet were sought and consulted. The scientific collection of IGC-USP was also consulted, for material cross-reference purposes.

One of the problems faced when transferring data refers to its geographical location. This is because although geological surveys worldwide began centuries ago, the use of instruments such as the Global Positioning System (GPS) is recent. In the case of paleontological records of the Paraná Basin, reference points, such as road mileage, river curves, railway mileage, etc., were used until approximately the end of the 1980s. Thus, political and road maps beyond WikiMapia were used for data georeferencing.

A metadata Base was thus generated. The term metadata is used here because the base was not prepared using exclusive software, but, rather, an Excel spreadsheet with geographic coordinated data, which was then converted to a map using ArcGIS, thereby generating a shapefile of fossil occurrences.

The map used as a base corresponds to the Geological Map of Brazil in a 1:1000000 scale, the sheets of which, in vector file (shapefiles) format, are available for download at the CPRM database, the Geobank (<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>).

The sheets of CPRM's Geological Map corresponding to the Gondwana I outcropping rocks are those which represent the southeastern and southern portions of Brazil (below latitudes 20° S), and were compiled into one vector file with the ArcGIS program, in order to obtain the desired result.

In all, approximately 1226 records of flora were accounted for, in a total of 189 outcrops. Such information was used grossly (and served as a basis for georeferencing): the genera and species of each Formation of the Paraná Basin over the studied interval were recorded, and the respective graphs and tables of the genera of the fossil plants were prepared based on such information.

This type of analysis was made by comparison of the occupied areas, and the predominance of orders and genera of fossil plants for each period was determined in a similar manner to that used in the work by Christiano-de-Souza & Ricardi-Branco (2013). A study at a genus level was chosen owing to the different genera with no defined species (especially in the case of sphenophyta stems, such as Paracalamites). The classification

used in the Base follows Frey (2009) for broader categories such as Division, Class, and Order. Frey (2009) presents four divisions of terrestrial plants: Marchantiophyta, Bryophyta, Antocerophyta (compiled here as embryophyta), and Tracheophyta. The Tracheophyta Division contains the Rhyniophytina, Lycophytina, Euphyllophytina, and Spermatophytina subdivisions. For smaller taxonomic categories, the Taylor *et al.*, classification (2009) was adopted, since these authors proposed a broader classification system for fossil plants. The lineage categorized by Taylor *et al.* (2009) as Division was transferred to a Class level and, likewise, to other categories.

### **5.1.5. Results**

#### *5.1.5.1. Genera found in the Itararé Group (Phase A), Guatá Group (Phase B) and Passa Dois Group (Phase C) (Tables 1, 2, and 3)*

There is a great diversity of genera for each of the three phases, yet not always is there accuracy with respect to the species found. The following is a summary of all occurrences found in the Paraná Basin for each of the proposed phases.

## 5.1.5.1.1. Phase A (table 1)

ALGAE			Indeterminate algae
EMBRYOBIOTES	BRYOPHYTA	BRIOPSISIDA	<i>Drykea</i>
SPERMATOPHYTINA	LYCOPHYTINA	LYCOPSIDA	<i>Brasilodendron</i>
			<i>Lepidophloios</i>
			<i>Lycopodites</i>
			<i>Stigmaria</i>
	EUPHYLLOPHYTINA	EQUISETOPSIDA	<i>Koretrophyllites</i>
			<i>Paracalamites</i>
			<i>Phyllothea</i>
			<i>Sphenophyllites</i>
			<i>Sphenophyllum</i>
			<i>Stephanophyllites</i>
		FILICOPSIDA	<i>Adiantites</i>
			<i>Botrychiopsis</i>
			<i>Neuropteridium</i>
			<i>Sphenopteris</i>
	PTERIDOSPERMATOPHYTA	<i>Arberia</i>	
		<i>Arberioopsis</i>	
		<i>Cyclopteris</i>	
		<i>Gangamopteris</i>	
		<i>Glossopteris</i>	
		<i>Lagenospermopteris</i>	
		<i>Noeggerathiopsis</i>	
		<i>Nothorhacopteris</i>	
		<i>Ottokaria</i>	
		<i>Palaeovittaria</i>	
		<i>Rhacopteris</i>	
		<i>Rubidgea</i>	
		<i>Rufforia</i>	
		<i>Trigonocarpus</i>	
		<i>Triphyllopteris</i>	
		GYNGGOPHYTA	<i>Cheirophyllum</i>
	<i>Chiropteris</i>		
	<i>Gynkgoites</i>		
<i>Gynkgophyllum</i>			
<i>Nephropsis</i>			
CONIFEROPHYTA	<i>Buriadia?</i>		
	<i>Cordaites?</i>		
	<i>Dicranophyllum</i>		
	<i>Kawizophyllum</i>		
	<i>Tylodendron</i>		
	<i>Paranocladus</i>		
IS CONIFEROUS STEMS	<i>Dadoxylon</i>		
	<i>Taxopitys</i>		
IS	<i>Carpolithus</i>		
	<i>Cordalcarpus</i>		
	<i>Cornucarpus</i>		
	<i>Fossil Roots</i>		
	<i>Samaropsis</i>		
	<i>Indeterminate Stems</i>		



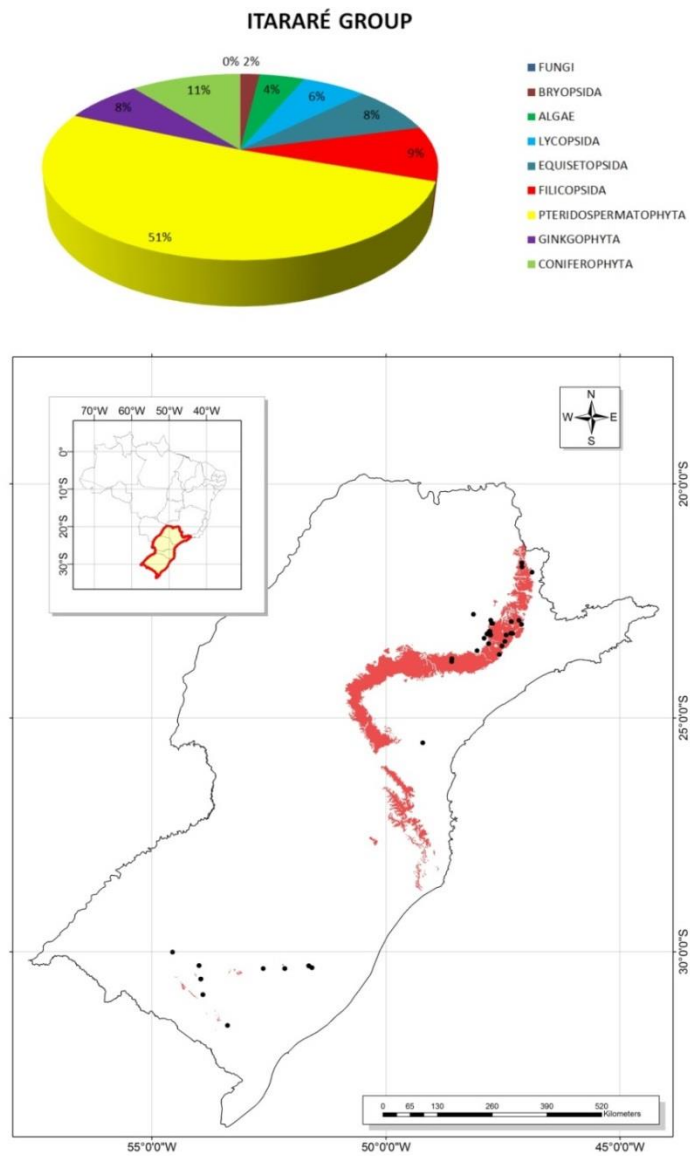
## 5.1.5.1.3. Phase C (table 3)

ALGAE	CHAROPHYTA	POROCCHARACEAE	<i>Leonardosia</i>
EMBRYOBIOTES	MARANTIOPHYTA	MARCHANTIOPSIDA	<i>Marchantites</i>
	BRYOPHYTA	BRIOPSIDA	<i>Capimirinus</i>
			<i>Yguajemanus</i>
SPERMATOPHYTINA	LYCOPHITINA	LICOPSIDA	<i>Lycopodiopsis</i>
			<i>Licophyte microphile</i>
			<i>Sigillaria</i>
			<i>Stigmara</i>
	EUPHYLLOPHYTINA	EQUISETOPSIDA	<i>Calamites</i>
			<i>Dichophyllites</i>
			<i>Neocalamites</i>
			<i>Paracalamites</i>
			<i>Schizoneura</i>
			<i>Sphenophyllum</i>
			<i>Sphenopteris</i>
			<i>Dizeugotheca</i>
			<i>Pecopteris</i>
			<i>Psaronius</i>
	PTERIDOSPERMATOPHYTA	FILICOPSIDA	<i>Tietea</i>
			<i>Gangamopteris</i>
			<i>Glossopteris</i>
			<i>Illexoidephyllum</i>
	GYNKGOPHYTA		<i>Vertebraria</i>
			<i>Gynkophytopsis</i>
	CONIFEROPHYTA		<i>Krauselcladus</i>
			<i>Walchia</i>
			<i>Walkomiella</i>
			<i>Coniferales IS</i>
			<i>Woodworthia</i>
	IS CONIFEROUS STEMS		<i>Austroscleromedulloxylon</i>
			<i>Atlanticoxylon</i>
			<i>Brasilestiloxyton</i>
			<i>Pelatopitys</i>
			<i>Solenobrasilioxylon</i>
			<i>Corticoxylon</i>
			<i>Dadoxylon</i>
<i>Damudoxylon</i>			
<i>Kaokoxyton</i>			
<i>Krauselpitys</i>			
<i>Parataxopitys</i>			
<i>Paulistoxylon</i>			
<i>Piracicaboxyton</i>			
<i>Polysolenoxylon</i>			
<i>Prototaxylon</i>			
<i>Scleromedulloxylon</i>			
<i>Solenopitys</i>			
<i>Taeniopitys</i>			
<i>Taxopitys</i>			
<i>Paranaseptoxylon</i>			
<i>Protopodocerpitys</i>			
<i>Antarticoxylon</i>			
<i>Torosoxylon</i>			
<i>Tordoxylon</i>			
IS		<i>Indeterminated stems</i>	

### 5.1.5.2. *Outcrops described and geographic location*

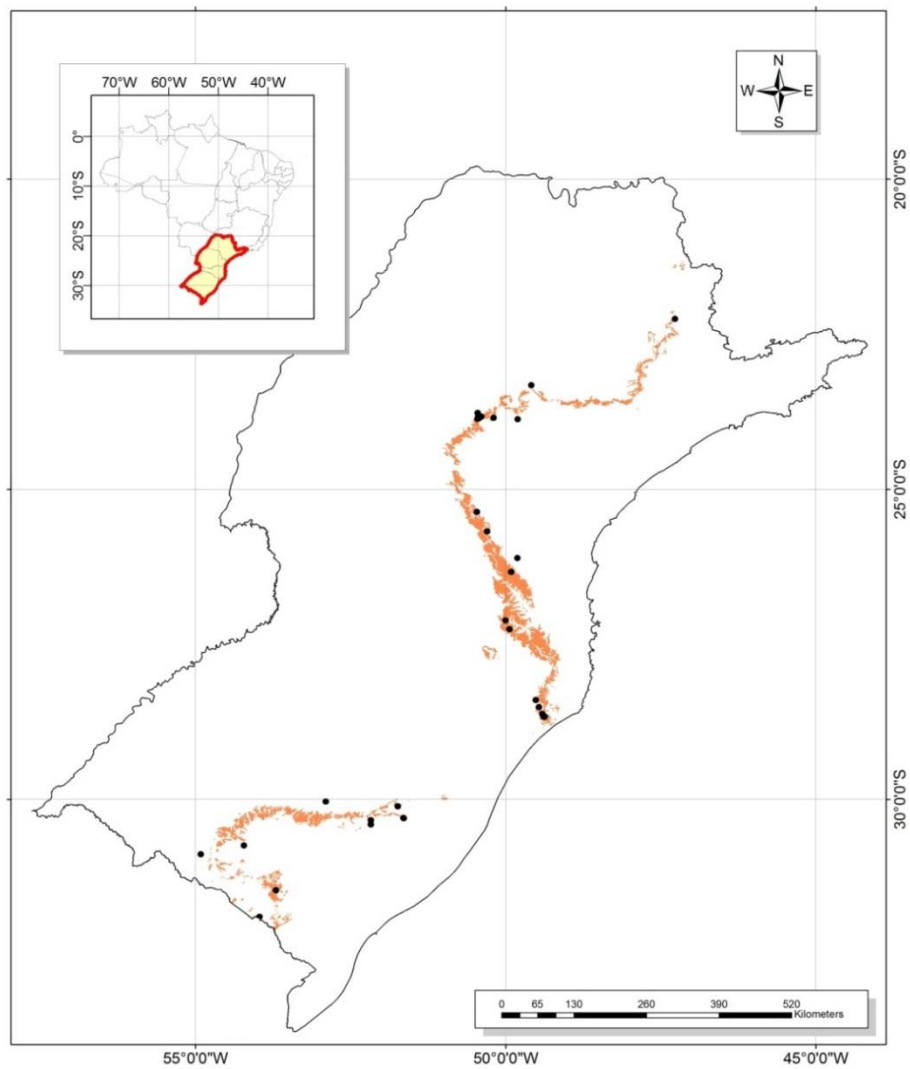
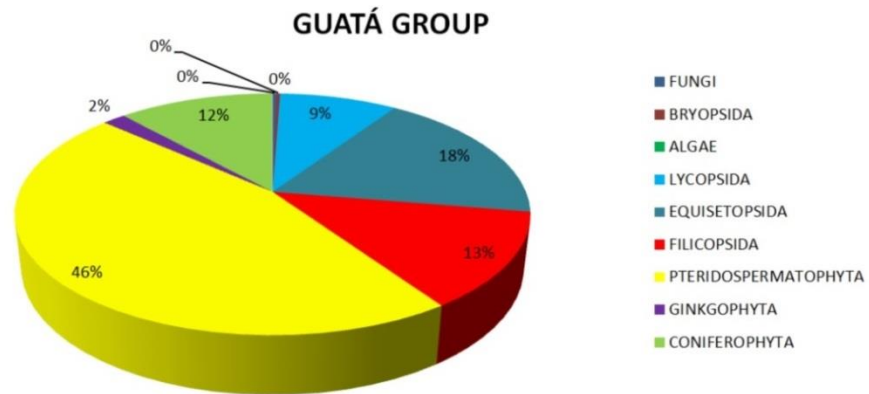
Maps and graphs were prepared with the collected data based on georeferencing. The images corresponding to the three phases are presented as follows (Figs. 5.3, 5.4, and 5.5). The Fig. 5.6 shows the relative abundance of the plant families for each period.

#### 5.1.5.2.1. *Phase A*



**Figure 5.3** Map with plant fossil distribution in Phase A

## 5.1.5.2.2. Phase B



**Figure 5.4** Map with plant fossil distribution in Phase B.



5.1.5.2.3. Phase C

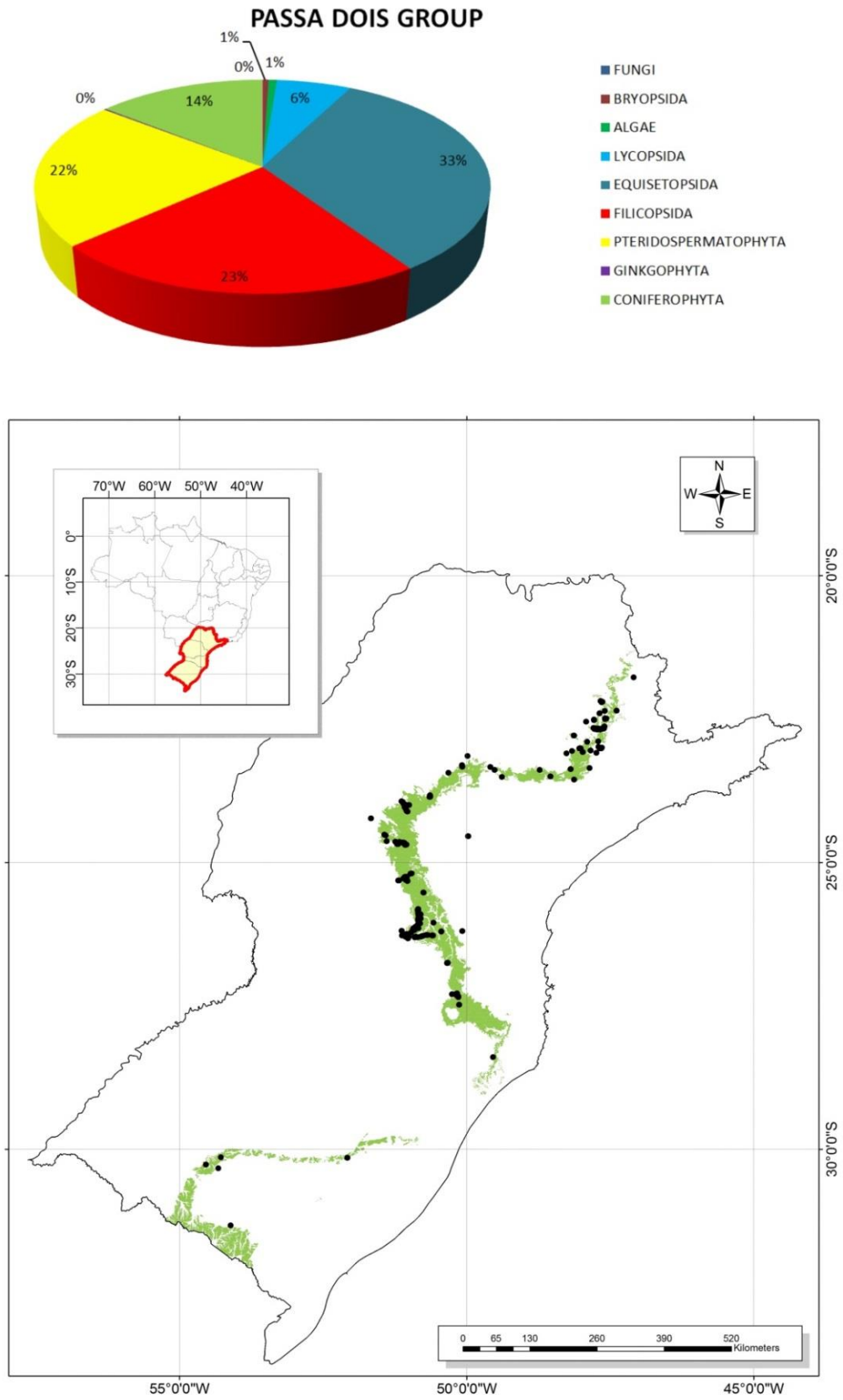
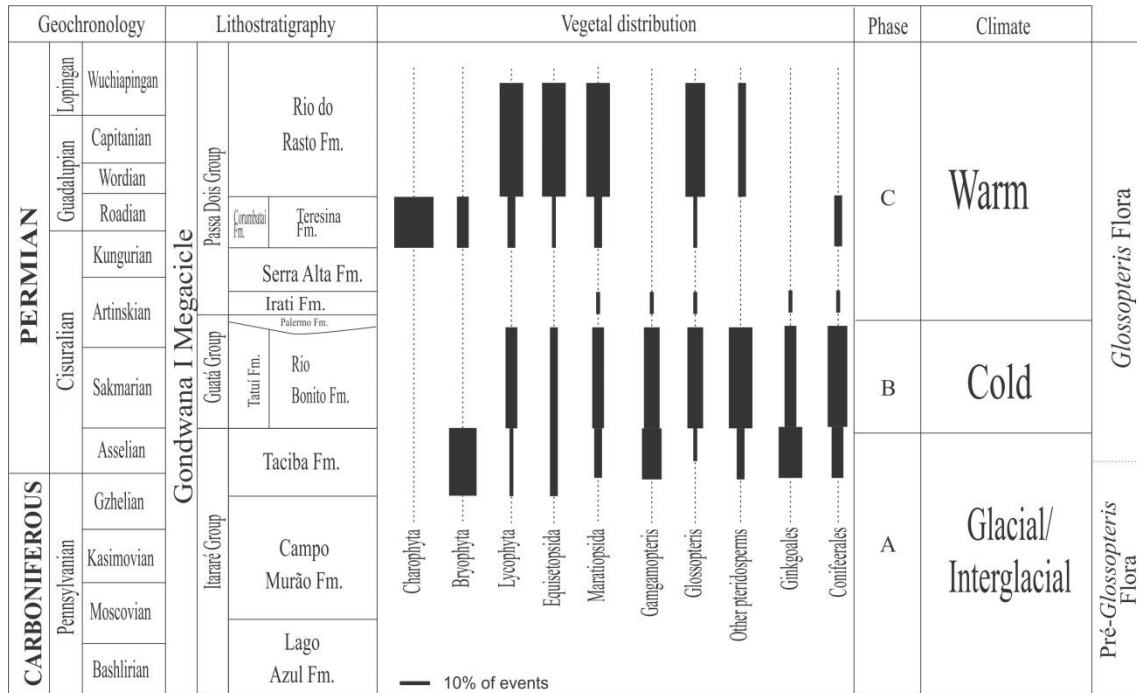


Figure 5.5 Map with plant fossil distribution in Phase C.

### 5.1.5.3. Relative abundance



**Figure 5.6** Relative abundance of the plants in the Paraná Basin on the Late Paleozoic

### 5.1.6. Discussion

Several studies concern the Floristic Province of Gondwana in the Paraná Basin; however, most of such works use terms like “floras” to treat the subdivisions of periods. The most classical division separates the flora into “Pre-Glossopteris Flora” and “Glossopteris Flora”. Nevertheless, further studies have been conducted to reclassify such overly generic proposals. Among such studies, we can mention Rösler (1978), Rohn & Rösler (2000), Rees *et al.* (2002), Iannuzzi & Souza (2005), and Azcuy *et al.* (2007).

The West Gondwana consists of lands that today comprise South America, Africa, and Arabia. The present study made a comparison of the Floras of the Paraná Basin with other Late Paleozoic Gondwana Floras of such locations. Thus, the flora presented in this study was compared with floras present in Argentina (the Paganzo, San Rafael, and Calingasta/Uspallata Basins) and Africa (the Karoo Basin and other African basins, described in Table 4). Especially the work of Cuneo (1996), who had already prepared a similar kind of comparison, and other classic studies on the Argentinean and

African floras (Archangleksky & Cuneo, 1984; Anderson & Anderson, 1985; Cuneo, 1987a,b) were used as a basis. Therefore, it is possible to discuss the phytogeography throughout the West Gondwana for the Late Carboniferous - Permian interval.

Cuneo (1996) divided the Permian into five intervals: Permian Stage I (Asselian), Permian Stage II (Sakmarian), Permian Stage III (Artinskian - Kungurian), Permian Stage IV (Ufimian - Kazanian), and Permian Stage V (Tatarian). If compared to the three phases discussed in this study, we would have the following: Permian Stage I is equivalent to Phase A (Group Itararé); Permian Stages II and III are equivalent to Stage B (Group Guatá), and Permian Stages IV and V are equivalent to Phase C (Passa Dois Group). This is shown in Table 4.

The method that most closely resembles that which is used here is Limarino *et al.* (2014) since it divides depositions according to their climatic characteristics, into 4 stages: Glacial, Terminal Glacial, Post Glacial, and Semi-Arid. The Terminal Glacial interval corresponds to phase A, and the Post-Glacial stage was divided into Phase B and Phase C. Both the genuinely Glacial and the Semi-Arid phases do not have fossil plant records in the Paraná Basin, which prevents the comparison proposed here.

PERMIAN PHASES	Permian Stages (Cúneo, 1996)	BRAZIL		ARGENTINA			AFRICA	
		Paraná Basin	Paganzo Basin	Tepuel-Genoa	San Basín	Rafael	Calingasta/Uspallata Basins	Karoo/Other African Basins
C	IV and X	Passa Dois Gr.: -Teresina Fm.* -Corumbataí Fm. -Iratí Fm. -Rio do Rasto Fm.						-Waterford Fm. -Estcourt Fm.
B	II and III	Guatá Gr.: -Rio Bonito Fm.	-Tasa Cuna Fm. -La Colina Fm.					-Lw. Walikale Beds -Wankie SD. -Middle-Upper Eccla Gr. -Tete coal field
A	I	Itararé Gr.	-Arroyo Torotal Fm. -Bajo De Veliz Fm.	Mojon de Hierro Fm.	-El Imperial Fm.		-Agua Negra Fm.	-Dwykea Fm.

**Table 4:** Correspondence between the stages described by Cuneo (1996) and the present study.

#### 5.1.6.1. Phase A

Phase A, when we find the Itararé Group, represents a time of great climatic and marine fluctuations, with glacial and interglacial cycles (Christiano-de-Souza *et al.*, 2014). During Phase A, the vegetation remained restricted to the northern and southern portions of the basin, probably owing to marine invasion in the central portion of the basin. The Itararé Group has fewer significant records of hygrophilous plants. What stands out is the large number of conifer specimens (*Pteridospermatophyta*, *Gyngophyta*, and *Coniferophyta*) (Table 1). There are also a large number of seeds (such as *Cordaicarpus*, *Samaropsis*), which have probably been preserved because of the difficulty of germination in cold climates (Christiano-de-Souza *et al.*, 2014).

In general, 48 genera of fossil plants have been found for the entire Phase A (Christiano-de-Souza *et al.*, 2014). It is important to point out that the study of Cuneo (1996) considers only one morphogenus of a same species when recording his data (e.g., in the case of *Pecopteris* and *Asterotheca*, which represent, respectively, fertile and infertile fronds of the same pecopteris, only *Asterotheca* is used). The author, therefore, considered only 10 genera of fossil plants to describe what is called here as Phase A. Thus, only 10 genera were recorded for the Paraná Basin Phase A, unlike what is presented in this study, for we take into account all genera described. In paleobotanics, morphogenera, which may include more than one biological species, are generally used.

In the event of a comparison between the Paraná Basin and Argentinean Basins (Césari, 1987; Cuneo, 1987a,b; Espejo & Cesari, 1987; Archangleksky & Cuneo, 1991; Cesari & Hunicken, 1991; Gutiérrez *et al.*, 1994; Cuneo, 1996), one can observe that the floristic assemblies are similar, with the exception of four genera that are not found in Phase A of the Paraná Basin: *Pecopteris*, *Euryphyllum*, *Ferugliocladus*, and *Velizia*.

Additionally, Cuneo (1996) states that some genera were endemic to the region, such as *Stephanophyllites*, *Rubidgea*, and *Buriadia*. In general, both the Paraná Basin floras and the Argentinean floras are similar with regard to composition, with few differences, which could demonstrate that some kind of connection and/or exchange existed between the two afore-mentioned floras. Also, it is important to emphasize that in both floras, hygrophilous species dominate (such as *lycophytes*, *sphenophytes*, and *pteridophytes*), which suggests that a glacial environment would be impossible for such

floras. This leads us to different possibilities, such as their development during interglacial intervals or even during Alpine-type glaciation.

When the Flora of the Paraná Basin was compared to the flora in the Karoo Basin (Anderson & Anderson, 1985), we recorded a simultaneous presence of the following genera: *Dwykea*, *Gangamopteris*, *Cordaites*, and *Paleovittaria*. The *Paleovittaria* and *Dwykea* genera are apparently endemic to the Karoo and Paraná Basins. Although the *Dwykea* genus was first recognized in the Karoo Basin, it has been observed in more than one location in the Paraná Basin (Ricardi-Branco *et al.*, 2013). It is important to consider that, during the Carboniferous, the Flora of the Paraná Basin was between the Karoo Basin and the Argentinean Basins, in the same latitude. Thus, endemism and migration processes probably occurred E-W or W-E.

#### 5.1.6.2. *Phase B*

The Guatá Group is represented by temperate and humid climates, but not as cold as to prevent the development of *lycophytes* (RicardiBranco and Torres, 2003). With the end of glaciation (despite the rise of the relative sea level), space for vegetation growth increased: with this opening, genera that until then were not observed in the western portion of the Floristic Province of Gondwana (here already accepted as *Glossopteris* Flora) appear on record (as can be seen in Table 2, as compared with Table 1). It is important to highlight that glaciation for long periods of time, above all, tends to generate the extinction of groups that did not adapt to harsher climates, which could not be observed, since no immediate pre-glacial record exists for the basins analyzed here.

However, we can affirm that the rise in temperature did not necessarily generate speciation and formation of new groups of plants in a macroevolutionary scale (Willis & McElwain, 2002). The most plausible theory regarding the large increase in the number of species was the migration of species which grew in climatic refuges or at lower latitudes to regions further south, since the climate became milder (Willis & McElwain, 2002). In general, despite the fact that the Guatá Group had only two formations and a small interval as compared to Phase A and Phase C (see Fig. 2b), we must admit that a

broad spectrum of species and genera was preserved there, as can be seen in Table 2, representing the Phase B flora, with an increase of 84%.

The similarity of the Phase B flora with Argentinean floras (Table 4) (Leguizamón, 1972; Archangleksky & Cuneo, 1984) pertains to the following genera: Pecopteris, Sphenopteris, Glossopteris, Gangamopteris, Paranocladus, and Cordaites. However, it proves to be less diverse than the flora of the Paraná Basin.

It is interesting to observe the decrease of genera in Argentinean floras in Phase B as compared to Phase A. During this interval, the Argentinean floras and those of the Paraná Basin were in the same latitude, but a geological process in the western portion of Gondwana may have interfered with the development of forests, and directly affected its diversity. Four genera that are not present in the flora of the Paraná Basin were recorded in the Argentinean floras: Euryphyllum, Ferugliocladus, Velozia, and Stephanophyllites.

On the other hand, diversity increased in the Karoo Basin (Teixeira, 1946, 1947, 1952; Hoeg & Bose, 1960; Lancey & Huard-Moine, 1966; Lacey, 1961, 1970; Bond, 1968; Lacey & Kulkarni, 1969; Archangleksky & Cuneo, 1984; Anderson & Anderson, 1985), which coincides with the increase of diversity in Phase B of the Paraná Basin. Additionally, we can find some occurrences in common between the Karoo Basin and the Paraná Basin during this phase: *Annularia*, *Botrychiopsis*, *Cordaites*, *Cyclodendron*, *Gangamopteris*, *Glossopteris*, *Gynkgophyllum*, *Pecopteris*, *Phyllothea*, *Schinozeura*, *Sphenophyllum*, and *Sphenopteris*.

While records exist of *Paleovittaria* in the Karoo Basin, such genus is not found in the Guatá Group, but was present in the previous interval (it was endemic to the Paraná Basin in the first interval), which may indicate migration. In general, with the progressive warming of Gondwana, the Karoo Flora shared genera with both the Paraná Basin and with floras geographically closer to Karoo, such as the Floras of India and Australia, and to a lesser extent, the Antarctic (Cuneo, 1996).

### 5.1.6.3. Phase C

The Passa Dois Group, in turn, is more continental and was subject to a hotter and perhaps drier climate regime (Hachiro *et al.*, 1993; Rohn, 2007; Milani *et al.*, 2007). There was a decrease in the number of genera when compared to previous phases. Genera related to more humid climates experienced a significant decline throughout Phase C. An increase of *sphenophytes* and *lycophytes* is noticeable, which translates into a low diversity and broad dispersion over the basin (Table 3). The shallow sea of what represented the Teresina and Rio do Rasto Formations may have originated geographic isolation and possible speciation of the pteridospermosida genera.

As for a comparison with other floras of Gondwana, we can only contrast the Passa Dois Group with the Karoo Flora (Hoeg & Bose, 1960; Lacey, 1961; Lacey & Huard-Moine, 1966; Lacey & Smith, 1972; Bernardes-de-Oliveira & Pons, 1975; Anderson & Anderson, 1985): common genera between the two Floras are: *Gangamopteris*, *Glossopteris*, *Pecopteris*, *Schizoneura*, *Sphenophyllum*, and *Sphenopteris*. Only the *Pagiophyllum* genus is endemic to Africa during this interval. It is interesting to observe that, during Phase C, exchanges between both basins of the western Gondwana are clear, with less influence of specimens from East Gondwana (which was more present in the Karoo Basin owing to greater geographic proximity) (Cuneo, 1996).

### 5.1.7. Conclusions

In general, when comparing the three phases discussed in this study, we can observe that the process of decline of floras occurred from west to east. Optimal moments do not coincide for the three floras.

In phase A, the Paraná Basin was under the influence of glaciations, which afforded the development of a relatively diverse flora, but not as diverse as those observed for Argentina. The Karoo Basin, in turn, has hardly any floristic records, probably due to the influence of glacial lobes, which prevented plant development.

Phase B represented an optimal floristic moment for the Paraná Basin, and also an impoverishment of Argentinean floras, as discussed above. In the Karoo Basin, an increase of flora diversity occurred. Finally, Phase C of the studied cycle shows a decline

of the species present in the Paraná Basin, with lower diversity than that present in Phase A. In Argentina, the record of floras is nonexistent. However, the Karoo Basin experienced its moment of greatest diversity, with the influence in vegetation of species which probably migrated from the Paraná Basin, and from other locations of Gondwana, such as India and Australia.

Geographically, with the exception of Phase A, the Floristic Province of Gondwana occupied all outcropping portion of the Paraná Basin areas, showing great adaptability of the flora, even under dramatic climatic changes during the Permian.

One can also observe that the harsh climate of LPIA during Phase A was not sufficiently active to cause low diversification of genera in the Paraná Basin. Quite on the contrary: over this climatic moment, there was a great abundance of pteridospermosidas (*Arberiopsis*, *Cyclopteris*, *Gangamopteris*, *Glossopteris*, *Lagenospermopteris*, *Noeggerathiopsis*, *Nothorhacopteris*, *Rhacopteris*, and *Triphylopteris*). If these genera occurred under an interglacial interval, they were pioneer species that probably had great capacity to spread with every ice retraction.

One can also observe a great abundance of *pteridospermosidas* in Phase B, which is currently characterized as an optimal climatic moment for the Paraná Basin. There is a wide range of species in several habitats. The proof of such development can be observed in the palaeobotanical record of coal mines in the Rio Bonito Formation (Ricardi-Branco & Torres, 2003; Mune and Bernardes de Oliveira, 2007).

The decline of flora diversity only occurred in Phase C, a moment of arid and dry climate, influenced by the oscillation of the relative sea level, with a high occurrence of permineralized trunks at its base (the Irati Formation) and leaf imprints on its top (Rio do Rasto Formation). In general, the Passa Dois Group had a low diversity. The climatic moment was no longer favorable for the establishment of abundant forests with high levels of organic matter. It was an interval with large trees (Mussa, 1982) and smaller plants like *sphenophytes* and *marattiopsidas* (Rohn, 1994). Since it was a restricted environment, with high salinity, conditions for plant growth may have been poor. Such a factor can be confirmed through the observation of the oogonia of carophyta algae of this period (Faria *et al.*, 2013), which on average are smaller than those found in waters with stricter conditions (with higher salinity, for example).



Another factor that must be considered for the Permian is the increased amounts of atmospheric CO<sub>2</sub> during the period (Berner, 2009). In studies of current plants, we can observe that an increase of carbon dioxide causes major changes in plant morphology and physiology due to the greenhouse effect, with greater interspecific and intraspecific competition, which promotes a selection and genetic deviation in populations (Bazzaz *et al.*, 1995). Another effect observed in current plants is that the increase of CO<sub>2</sub> is causing a reduction in the lifetime of plants (Phillips & Gentry, 1994), i.e., new plant generations are fostered, which increases the probability of genetic mutation. Perhaps what is observed in the Permian is the ultimate emergence of Angiosperms, considering that Mesozoic Angiosperms probably came from gymnospermic ancestors or from Pteridospermosidas. (Willis & McElwain, 2002).

Therefore, the Permian represents a major adjustment period for plants. The extinction of many genera, present in Phase B, may be related to increases in CO<sub>2</sub>. As early as Phase C, we can find some genera (such as *Ilexoidephyllum*) (Rohn & Rösler, 1989) that show (even if to a lesser extent) adaptations such as dented edges for a more arid climate.

If we compare the northern part of Gondwana during the same period, the specimens found are completely distinct from those encountered in the southern portion, which corroborates the theory that distinguishes the Euroamerican Province from the Floristic Province of Gondwana. The specimens found in these two floras are completely different. The Euroamerican Province is more influenced by the provinces found in Laurasia (Ricardi-Branco, 2008), and the Floristic province of Gondwana shows mainly a species exchange between different areas with the same latitude.

#### **5.1.8. Appendix A**

Supplementary data Supplementary data to this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2015.02.023>.

### 5.1.9. References

- Anderson J.M. & Anderson H.M. 1985. *Paleoflora of Southern Africa Prodrum of South African megaflores Devonian to lower Cretaceous*. A. A. Balkema, Pretoria, 423 pp.
- Archanglesky S. & Cuneo R. 1984. Zonación del Pérmico continental argentino sobre la base de sus plantas fósiles en el Pérmico inferior Austrosudamericano. *In: 1<sup>st</sup> Congr. Argent. Paleontol. Bioestratigr. Actas*, 1, p.: 479–496.
- Archanglesky S. & Cuneo R. 1991. Late Paleozoic floristic succession from north-western Argentina. *In: Ulbrich H. & Rocha Campos A.C. (Eds.), Gondwana 7. Proc. Instituto Geociências. Universidade de São Paulo*, p.: 469–481
- Azcuy C.B.A., Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Carrizo H.A., Di Pasquo M., Saraiva P.D., Gonzales C., Iannuzzi R., Lemos V.B., Melo J.H.G., Pagani A., Rohn R., Amenabar C.R., Sabbatini N., Souza P.A. 2007. Bioestratigrafía del Paleozoico Superior de América del Sur: Primera etapa de trabajo hacia una nueva propuesta cronoestratigráfica. *Publicaciones Especiales de la Asociación Paleontológica Argentina*, **11**:9–65.
- Barbosa O. & Almeida F.F.M. 1949. A Série Tubarão na Bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo. *Notas preliminares e Estudos DNPM-DMG*, 48, 16 pp.
- Barbosa O. & Gomes F.G. 1958. Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, Estado de S. Paulo. *Boletim DNPM-DGM*, 171, 40 pp.
- Bazzaz F.A., Jasienski M., Thomas, S.C., Wayne P. 1995. Microevolutionary responses in experimental populations of plants to CO<sub>2</sub>-enriched environments – parallel results from two model systems. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* **92**:8161–8165.
- Bernardes-de-Oliveira M.E.C. & Pons D. 1975. Taphoflora of Karoo in the Zambesi Basin (Tete region, Mozambique). *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **6**:33–53.

Berner R.A. 2009. Phanerozoic atmospheric oxygen: New results using the Geocarbsulf model. *Am. J. Sci.* **309**:603–606.

Bond G., 1968. The paleontology of Rhodesia. *Bull. Geol. Surv. Rhod.* **70**:1–121.

Castro J.C. 1991. A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Membro Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 146 pp.

Castro J. 2004. Glaciações Paleozóicas no Brasil. *In*: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (eds.) *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca Ed., p.: 151–162.

Castro J.C., Michel U., Alves C.F.C., Grecchi R.C. 1993. O Subgrupo Guatá na margem nordeste da Bacia do Paraná: uma revisão. *In*: Simpósio de cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. *Boletim de Resumos*, p. 55–56.

Césari S. 1987. Estudio sistemático de las plantas fósiles de la Formación La Colina (Paleozoico Superior), provincia de La Rioja. *An. Acad. Nac. Cienc. Ex. Fís. Nat.*, **39**:179–194.

Cesari S. & Hunicken M. 1991. Stephanophyllites sanpaulensis Millan y Dolianiti, un Nuevo integrante de las floras neopaleozoicas de la Argentina. *Acad. Nac. Cienc. Misc.*, **83**:3–9.

Christiano-de-Souza I.C. & Ricardi-Branco F.S. 2013. Swamp flora changes through the Pennsylvanian Early Permian Interval in the Gondwana Floristic Province of the Brazilian Portion of the Paraná Basin. *Bull. - N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.*, **60**:66–69.

Christiano-de-Souza I.C., Ricardi-Branco F.S., Vargas Y.L. 2012. Permian bryophytes of Western Gondwanaland from the Paraná Basin in Brazil. *Palaeontol. (London)*, **55**:229–241.

Christiano-de-Souza I.C., Ricardi-Branco F.S., Silva A.M., El-Dash L.G., Faria R.S. 2014. New approach for the study of paleofloras using geographical information systems applied to Glossopteris Flora. *Braz. J. Geol.*, **44**:681–689.

Cuneo R., 1987a. Estudios geológicos y paleontológicos de los afloramientos meridionales de la Formación Rio Genoa. Tese de Doutorado, Fac. Ex. Nat. Sci. Univ., Buenos Aires, 464 pp.

Cuneo R., 1987b. Taofloras de las formaciones Solca y La Colina, Paleozoico superior de la Sierra de los Llanos. *In: Annu. Meet. Working Group. Proj. 211 IGCP, Abst. p.:* 71–73.

Cuneo R., 1996. Permian phytogeography in Gondwana. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **125**:75–104.

Dolianiti E., 1972. Relação Entre as floras Paleozóicas do Brasil. *An. Acad. Bras. Cienc.*, **44**:113–117.

Espejo I. & Cesari S. 1987. Primer hallazgo de flora pérmica en la Cuenca San Rafael. *Ver. Asoc. Geol. Argent.*, **42**:472–474.

Eyles C.H., Eyles N., França A.B. 1993. Glaciation and tectonics in active intracratonic basin: the Late Paleozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentol.*, **40**:1–25.

Fanton J.C.M., Ricardi-Branco F.S., Rohn R. 2006. Reinvestigação da conífera permiana *Krauselcladus* (Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil): novas interpretações morfológicas e anatômicas. *Rev. Bras. Paleontol.*, **9**:221–234.

Faria R.S., Ricardi-Branco F.S., Giannini P.C., Sawakuchi A.O., Del Ben L.E.V. 2009. Lycopodiopsis derbyi Renault from the Corumbataí Formation in the state of São Paulo (Guadalupian of Paraná Basin, Southern Brazil): New data from compressed silicified stems. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **158**:180–192.

Faria R.S., Ricardi-Branco F.S., Christiano-de-Souza I.C., 2013. Permian organic oospores from southern Brazil. *Palaeontol. (Lond.)* **56**:797–805.

Fielding C.R., Frank T.D., Isbell J.L. 2008. The late Paleozoic ice age – A review of current understanding and synthesis of global climate patterns. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, **441**:343–354.

França A.B. & Potter P.E., 1988. Estratigrafia, ambiente de deposicional e análise de reservatórios do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná, (Parte I). *Bol. Geociênc. Petrobrás*, **2**:147–191.

Frey, A., 2009. *Syllabus of Plants Families. Bryophytes and Seedless Vascular Plants*. 13<sup>a</sup> Ed. Gebruder Borntraegen, 419 pp.

Gesicki A.L.D., Ricominni C., Boggiani P.C., Coimbra A.M. 1996. Evidências de avanço glacial na Formação Aquidauana (Neopaleozóico da Bacia do Paraná) no estado de Mato Grosso do Sul. *In: 39º Congresso Brasileiro De Geologia - Sociedade Brasileira de Geologia, Anais*, 1, p.: 124–127.

Gibbs M.T., Rees P.M., Kutzbach J.E., Ziegler A.M., Behling P.J., Rowley D.B. 2002. Simulations of Permian climate and comparisons with climate-sensitive sediments. *J. Geol.*, **110**:33–55.

Gordon Jr. M., 1947. Classificação das formações gondwanicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM*, **38**:1–20.

Gutiérrez P.R., Pfefferkorn H., Cesari S. 1994. *Velizia inconstans* Cesari & Hunicken (gymnospermae) en la formacion Cerro Agua Negra (Paleozoico superior), San Juan, Republica Argentina. *Ameghiniana*, **31**:87–91.

Hachiro J., Coimbra A.M., Matos S.L.F. 1993. O caráter cronoestratigráfico da unidade Irati. *In: Simpósio sobre Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná. Resumos*, p.: 72–74.

Hoeg O.A. & Bose M.N. 1960. The *Glossopteris* Flora of the Belgian Congo, with a note of on some fossil plants from the Zambesi Basin (Mozambique). *Ann. Mus. R. Congo Belg. Sér. 8*, **32**:1–106.

Iannuzzi R. & Souza P.A., 2005. Floral succession in the Lower Permian deposits of the Brazilian Paraná Basin: an up-to-date overview. *N. M. Mus. Nat. Hist. Bull.*, **30**:144–149.

Lacey W. 1961. Studies in the Karoo Floras of Rhodesia and Nyasaland. Part 1. A geological account of the plant bearing deposits. *Proc. Trans. Rhodes Sci. Assoc.*, **49**:26–53.

Lacey W. 1970. A note on the genus *Gagamopteris* McCoy in Rhodesia. *Arnoldia* **5**:1–4.

Lacey W. & Kulkarni S. 1969. Karoo floras of Rhodesia and Malawi part 3: The *Glossopteris* Flora in the Tangadzi river area of southern Malawi. In: Santapau H., et al. (Eds.), *J. Sen. Mem. Vol. Bot. Soc. Bengal*, pp. 259–270.

Lacey W. & Smith C. 1972. Karoo floras from the Upper Lwanga valley, Zambia. In: *Gondwana 2. Proc. Pap.* p.: 571–574.

Lancey H. & Huard-Moine D. 1966. Karoo floras of Rhodesia and Malawi part 2: The *Glossopteris* flora in Wankie district of southern Rhodesia. In: *Symp. Florist. Stratigr. Gondwanaland*, Lucknow, pp. 13–25.

Lavina E.L. 1991. Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano – Citiano) da Bacia do Paraná. (Tese de Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 332 pp.

Leguizamón R.R. 1972. Estudio paleobotánico de la Formación Tasa Cuna, Pérmico inferior de la provincia de Córdoba. *Ameghiniana*, **9**:305–342.

Limarino C.O., Césari S.N., Spalletti L.A., Taboada A.C., Isbell J.L.I., Geuna S., Gulbranson E.L. 2014. A paleoclimatic review of southern South America during the late Paleozoic: a record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Res.*, **25**:1396–1421.

Medeiros R.A., Thomaz F., Roncarati H. 1972. *Projeto Rio Bonito – Fase 1, Petrobras/Desul*, 24 pp. (relatório interno n° 402).

Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 225 pp.

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 - Cartas Estratigráficas*, **15**(2):265–287.

Milani E.J., De Wit M.J. 2008. Correlations between the classic Paraná and Cape-Karoo sequences of South America and southern Africa and their basin infills flanking the Gondwanides: du Toit revisited. *Geol. Soc. Lond., Spec. Publ.*, **294**:319–342.

Mune S.E. & Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 2007. Revisão da tafoflora interglacial neocarbonífera de Monte Mor, SP (Subgrupo Itararé), nordeste da Bacia do Paraná. *Rev. Bras. Geosci.*, **37**:32–45.

Mussa D. 1982. Lignitafloras permianas da Bacia do Paraná, Brasil (estados de São Paulo e Santa Catarina). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 463 pp.

Parrish J.M., Parrish J.T., Ziegler A.M. 1986. Permian-Triassic paleogeography and paleoclimatology and implications for Therapsid distribution. *In*: Hotton N., MacLean P.D., Roth J.J., Roth E.C. (Eds.), *The biology and ecology of mammal-like reptiles*. Smithsonian Press, Washington D.C., p.: 109–132.

Phillips O.L. & Gentry A.H. 1994. Increasing turnover through time in tropical forests. *Science*, **263**:954–958.

Poulsen C.J., Pollard D., Montanez I.P., Rowley D.B. 2007. Late Paleozoic tropical climate response to Gondwana deglaciation. *Geology* **35**:771–774.

Rees P.M., Ziegler A.M., Gibbs M.T., Kutzbach J.E., Behling P., Rowley D.B. 2002. Permian phytogeographic patterns and climate data/model comparisons. *J. Geol.*, **110**:1–31.

Ricardi-Branco F.S. 2008. Venezuelan paleoflora of the Pennsylvanian-Early Permian: Phytopaleogeographical relationships to central and western equatorial Pangea. *Gondwana Res.*, **14**(3):297-305

Ricardi-Branco F.S. & Torres M.R. 2003. Licófitas presentes na Formação Rio Bonito (Permiano Inferior) na área de Figueira, PR. *Rev. Bras. Paleontologia*, **6**:19–28.

Ricardi-Branco F.S., Costa J.S., Christiano-de-Souza I.C., Rohn R., Longin M., Faria R.S. 2013. Bryophytes associated with Pennsylvanian Periglacial Environments in Southern Gondwana (São Paulo State, Itararé Group, Paraná Basin, Brazil). *N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.*, **60**:343–347.

Rocha-Campos A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In: Bigarella J.J. (Ed.), *Problems in Brazilian Devonian geology*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.: 27–102.

Rohn R. 1988. Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, Estado do Paraná). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil. 225 pp.

Rohn R. 1994. Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 250 pp.

Rohn R. 2007. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): Investigations in progress. In: Problems in the Western Gondwana Geology, South America -Workshop. *Extended Abstracts*, p.: 151–157.

Rohn R. & Rosler O. 1989. Folhas dentadas da Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano Superior) e seu possível significado paleoclimático. *Boletim Instituto de Geociências da USP, Publ. Esp.*, **7**:127–137.

Rohn R. & Rösler O. 2000. Middle to Upper Permian phytostratigraphy of the Eastern Paraná Basin. *Revista Universidade Guarulhos*, **5**:69–73.



Rösler O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral succession. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **9**: 85–90.

Santos P.R., Campos A.C.R., Canuto J.R. 1996. Patterns of late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **125**:165–184.

Schneider R.L., Muhlmann H., Tommasi E., Medeiros R.A., Daemon R.F., Nogueira A.A., 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia Porto Alegre, *Anais*, p.:41–65.

Soares P.C. 1972. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. *Anais da Academia de Ciências*. **44**:333–342.

Soares P.C. & Landim P.M.B. 1973. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: 27º Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju, *Anais* **1**:107–121.

Taylor T.N., Taylor E.L., Krings M. 2009. *Paleobotany. The biology and Evolution of Fossil Plants*. Elsevier Inc., 1252 pp.

Teixeira C. 1946. Sur la flore fossile du Karoo de Zambési (Mozambique). *C. R. Soc. Géol. Fr.*, **16**:252–254.

Teixeira C. 1947. Sobre a flore fossile du Karoo de Regiao de Tete. *An. Junta Invest. Colon.*, **2**:9–28.

Teixeira C. 1952. La flore fossile du Karoo de la Zambési et la notion du continent de Gondwana. *C. R. In: 3rd Congr. Stratigr. Geol. Carbonif.*, **2**:627–630.

Thomaz F. & Medeiros R.A. 1972. Projeto Rio Bonito – Fase 2, *Petrobras/Desul* 28 pp. (relatório interno n° 413)

Torsvik T.H. & Cocks L.R.M. 2013. Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Res.*, **24**(3–4):999–1030.

White I. C. 1908. *Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra no Brasil*. DNPM, Rio de Janeiro, 617 p. (edição fac-similar)

Willis K.J. & McElwain J.C. 2002. *The evolution of plants*. Oxford University Press. 378 pp.

## 5.2. Artigo II - Swampflora Changes Through The Pennsylvanian – Early Permian Interval In The Gondwana Floristic Province Of The Brazilian Portion Of The Paraná Basin

Isabel Cortez Christiano-de-Souza e Fresia Ricardi-Branco

Artigo publicado na revista The Carboniferous-Permian Transition. New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin 60.

Lucas, S.G., et al. eds., 2013, The Carboniferous-Permian Transition. New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin 60.

66

### SWAMP FLORA CHANGES THROUGH THE PENNSYLVANIAN – EARLY PERMIAN INTERVAL IN THE GONDWANA FLORISTIC PROVINCE OF THE BRAZILIAN PORTION OF THE PARANÁ BASIN

ISABEL CORTEZ CHRISTIANO-DE-SOUZA<sup>1</sup> AND FRESIA RICARDI-BRANCO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geology and Natural Resources Department, Geosciences Institute, State University of Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, Brazil; e-mail: isabel.cortez@ige.unicamp.br; <sup>2</sup> Geology and Natural Resources Department, Geosciences Institute, State University of Campinas - UNICAMP, Campinas, SP, Brazil; e-mail: fresia@ige.unicamp.br

#### INTRODUCTION

During the Pennsylvanian-Early Permian interval, the global climate gradually underwent transformational change. The Late Paleozoic Ice Age (LPIA), which began in the late Devonian/Early Mississippian periods, left marks of the last great era of glaciation prior to the Cenozoic Ice Age. Records of this glaciation are found in the southernmost portion of Gondwana as far as 30°S (Parrish et al., 1986; Fielding et al., 2008). Therefore, during this interval there were various glacial pulses, which Heckel (2008) related to cyclothem (alternation of paleosols with marine units as result of periodic and repetitive regression and transgression events). Apparently these derive from the Earth's orbital parameters (Milankovitch cycles). Natural causes of carbon capture and fluctuations are still uncertain (Montañes et al., 2007). However, it is certain that, due to such fluctuations, climatic changes and, thereafter, alternation between glacial and inter-glacial periods occur. This also causes glacio-eustatic fluctuation. Proof of this linkage is in the geological record, because, for the LPIA on Laurasia, there are findings of carbon sinks, which occurred during coal bed formation beginning in the Mississippian (Rowley et al., 1985; DiMichele and Hook, 1992; Anderson et al., 1999). These glacial cycles continued until the Artinskian/Kungurian Stage, and the final deglaciation occurred relatively quickly (Gibbs et al., 2002). Poulsen et al. (2007) remark that, in all of Pangaea at the end of the glaciation, drier conditions and warmer temperatures on the continents were present in the equatorial region, as well as a shift of tropical biomes, with deserts expanding and forests undergoing reduction.

High latitude regions have a different behavior from those observed in lower latitudes. Formerly covered by ice, they went on to have a rich flora in the Early Permian. Paleofloras (macro and micro floras) from the Pennsylvanian-Early Permian interval in the Paraná Basin reflect the paleoclimatic changes that occurred in late Paleozoic Gondwana. The Paraná Basin was located in the southwestern portion of Gondwana, with a sedimentary area covering more than 1,500,000 km<sup>2</sup> in the southeastern portion of South America, and extended to South Africa (Karoo Basin) and Namibia. Layers produced by the alternation of glacial and interglacial periods are found in the sedimentary rocks from the Itararé Group (Middle Bashkirian-Early Asselian) of the Paraná Basin (Fig. 1A), deriving from the youngest episodes of the Pennsylvanian/Early Permian glacial period (Santos et al., 1996; Mori et al., 2012). The oldest floristic record is of Kasimovian age. On the other hand, the Guatá Group from the Early Asselian-Early Artinskian (as well as its basal formation, the Rio Bonito Formation, in the Basin's southern portion, and the Tatui Formation of the northern portion) represents deposition in milder, post-glacial climates, as well as during a worldwide rise in sea level (Haq and Schutter, 2008). It is necessary to stress that the Tatui Formation was deposited after the Itararé, but the Rio Bonito Formation, at its top portion, is syndepositional with the Itararé Group in parts of the basin, though it does not present the same glacial origin sediments. The Tatui Formation presents records of stems and trunks only, and non-abundantly. Plus, taphonomic studies indicate these fossils to have been transported (Chahud, 2011), thus making them unsuited for the present study. In that manner, comparison is restricted to the Rio Bonito Formation, which has evidence of sea levels and tempestites thorough

its whole columnar section. Locally, restricted lagoonal conditions occurred along the coastal fringe, where turf developed.

The biggest difficulty in working with the formally described formations from the Itararé Group (Lagoa Azul, Campo Mourão and Taciba formations, other than the Aquidauana Formation) derives from the fact that the group has a great number of intertwined facies that expose the advance and retreat of glacial fronts during various glacial cycles, causing erosion and redeposition of sediments through a very large time period (approximately 75 million years). Geologically, França and Potter (1988) characterized it by the presence of sedimentation cycles, with grains thinning towards the top, corresponding to cyclical climatic changes in a glacial regime and sea level fluctuations. The geologic record shows, yet, that there are carbon layers associated with the clastic glacial deposits. Parts of the floristic record of the Itararé Group are found in those layers; however, it is not possible to affirm that such levels would be related to periods of higher temperature (interglacials).

In the present research, we chose to consider the Itararé Group undivided, because more than one glacial/interglacial cycle occurred in it during the course of the Pennsylvanian and it has a relatively restricted fossil record. This makes it possible to compare this flora, developed under such cold climate intervals, with that of the superjacent Rio Bonito Formation, which represents milder climates, already into the Permian.

Thus, paleofloras described for the Itararé Group correspond to periglacial and coastal swamp vegetation, even though the record cannot be considered continuous. A record of pteridosperms and gymnosperms also occurs in the Itararé Group. On the other hand, the Rio Bonito Formation paleofloras were deposited in coastal and swampy environments that came into existence (despite the rise of sea level during the Permian, the Paraná Basin already was an inland sea) at the end of the glaciation, and include coal beds where the Gondwana Floristic Province is preserved in the basin.

The present study is based on a composite database containing all paleophytogeographic information for the later Paleozoic in the Paraná Basin, developed by Christiano-de-Souza (2011). Data corresponding to 142 plant fossil occurrences were linked to the Pennsylvanian-Early Permian in the eastern portion of the Paraná Basin in Brazil (states of São Paulo, Paraná, Sta. Catarina, and Rio Grande do Sul). These data were then georeferenced and transferred to ArcGIS software, where occurrence distribution maps were generated, to understand the patterns of floristic distribution within the basin. Furthermore, through the maps it was possible to understand changes in distribution patterns for the Pennsylvanian-Early Permian interval.

#### MATERIALS AND METHODS

To understand the environments of fossilization for the interval under study, only taxa representing specimens that inhabited swamps were selected, because they offer more precise information about paleoenvironments. They also represent glacial intervals in the Itararé Group (at locales where there was no permafrost nor ice caps, which would make it impossible for plants and peat to develop), and post-glacial intervals in the Rio Bonito Formation (Guatá Group), the latter associated with coal beds. Megaspores were also used to represent swamp

### 5.2.1. Introduction

During the Pennsylvanian-Early Permian interval, the global climate gradually underwent transformational change. The Late Paleozoic Ice Age (LPIA), which began in the late Devonian/Early Mississippian periods, left marks of the last great era of glaciation prior to the Cenozoic Ice Age. Records of this glaciation are found in the southernmost portion of Gondwana as far as 30°S (Parrish *et al.*, 1986; Fielding *et al.*, 2008). Therefore, during this interval there were various glacial pulses, which Heckel (2008) related to cyclothems (alternation of paleosols with marine units as result of periodic and repetitive regression and transgression events). Apparently these derive from the Earth's orbital parameters (Milankovitch cycles). Natural causes of carbon capture and fluctuations are still uncertain (Montañes *et al.*, 2007). However, it is certain that, due to such fluctuations, climatic changes and, thereafter, alternation between glacial and inter-glacial periods occur. This also causes glacio-eustatic fluctuation. Proof of this linkage is in the geological record, because, for the LPIA on Laurasia, there are findings of carbon sinks, which occurred during coal bed formation beginning in the Mississippian (Rowley *et al.*, 1985; DiMichele & Hook, 1992; Anderson *et al.*, 1999). These glacial cycles continued until the Artinskian/Kungurian Stage, and the final deglaciation occurred relatively quickly (Gibbs *et al.*, 2002). Poulsen *et al.* (2007) remark that, in all of Pangaea at the end of the glaciation, drier conditions and warmer temperatures on the continents were present in the equatorial region, as well as a shift of tropical biomes, with deserts expanding and forests undergoing reduction.

High latitude regions have a different behavior from those observed in lower latitudes. Formerly covered by ice, they went on to have a rich flora in the Early Permian. Paleofloras (macro and micro floras) from the Pennsylvanian-Early Permian interval in the Paraná Basin reflect the paleoclimatic changes that occurred in late Paleozoic Gondwana. The Paraná Basin was located in the southwestern portion of Gondwana, with a sedimentary area covering more than 1,500,000 km<sup>2</sup> in the southeastern portion of South America, and extended to South Africa (Karoo Basin) and Namibia. Layers produced by the alternation of glacial and interglacial periods are found in the sedimentary rocks from the Itararé Group (Middle Bashkirian-Early Asselian) of the Paraná Basin (Fig. 1A), deriving from the youngest episodes of the Pennsylvanian/Early Permian glacial period (Santos *et al.*, 1996; Mori *et al.*, 2012). The oldest floristic record

is of Kasimovian age. On the other hand, the Guatá Group from the Early Asselian-Early Artinskian (as well as its basal formation, the Rio Bonito Formation, in the Basin's southern portion, and the Tatuí Formation of the northern portion) represents deposition in milder, post-glacial climates, as well as during a worldwide rise in sea level (Haq & Schutter, 2008). It is necessary to stress that the Tatuí Formation was deposited after the Itararé, but the Rio Bonito Formation, at its top portion, is syndepositional with the Itararé Group in parts of the basin, though it does not present the same glacial origin sediments. The Tatuí Formation presents records of stems and trunks only, and non-abundantly. Plus, taphonomic studies indicate these fossils to have been transported (Chahud, 2011), thus making them unsuited for the present study. In that manner, comparison is restricted to the Rio Bonito Formation, which has evidence of sea levels and tempestites thorough its whole columnar section. Locally, restricted lagoonal conditions occurred along the coastal fringe, where turf developed.

The biggest difficulty in working with the formally described formations from the Itararé Group (Lagoa Azul, Campo Mourão and Taciba formations, other than the Aquidauana Formation) derives from the fact that the group has a great number of intertwined facies that expose the advance and retreat of glacial fronts during various glacial cycles, causing erosion and redeposition of sediments through a very large time period (approximately 75 million years). Geologically, França & Potter (1988) characterized it by the presence of sedimentation cycles, with grains thinning towards the top, corresponding to cyclical climatic changes in a glacial regime and sea level fluctuations. The geologic record shows, yet, that there are carbon layers associated with the clastic glacial deposits. Parts of the floristic record of the Itararé Group are found in those layers; however, it is not possible to affirm that such levels would be related to periods of higher temperature (interglacials).

In the present research, we chose to consider the Itararé Group undivided, because more than one glacial/interglacial cycle occurred in it during the course of the Pennsylvanian and it has a relatively restricted fossil record. This makes it possible to compare this flora, developed under such cold climate intervals, with that of the superjacent Rio Bonito Formation, which represents milder climates, already into the Permian.

Thus, paleofloras described for the Itararé Group correspond to periglacial and coastal swamp vegetation, even though the record cannot be considered continuous. A record of pteridosperms and gymnosperms also occurs in the Itararé Group. On the other hand, the Rio Bonito Formation paleofloras were deposited in coastal and swampy environments that came into existence (despite the rise of sea level during the Permian, the Paraná Basin already was an inland sea) at the end of the glaciation, and include coal beds where the Gondwana Floristic Province is preserved in the basin.

The present study is based on a composite database containing all paleophytogeographic information for the later Paleozoic in the Paraná Basin, developed by Christiano-de-Souza (2011). Data corresponding to 142 plant fossil occurrences were linked to the Pennsylvanian-Early Permian in the eastern portion of the Paraná Basin in Brazil (states of São Paulo, Paraná, Sta. Catarina, and Rio Grande do Sul). These data were then georeferenced and transferred to ArcGIS software, where occurrence distribution maps were generated, to understand the patterns of floristic distribution within the basin. Furthermore, through the maps it was possible to understand changes in distribution patterns for the Pennsylvanian-Early Permian interval.

### **5.2.2. Materials and Methods**

To understand the environments of fossilization for the interval under study, only taxa representing specimens that inhabited swamps were selected, because they offer more precise information about paleoenvironments. They also represent glacial intervals in the Itararé Group (at locales where there was no permafrost nor ice caps, which would make it impossible for plants and peat to develop), and postglacial intervals in the Rio Bonito Formation (Guatá Group), the latter associated with coal beds. Megaspores were also used to represent swamp communities, as signs of the reproduction of lycopsids, which possess less dispersal capability than microspores (Tyson, 1995), and so may better reflect local vegetational patterns. Regarding fossil plants, the chosen taxa were mainly those pertaining to the genera in the Bryopsida, Lycopsida, and Equisetopsida. Taxa from the Polypodiopsida / Spermatophytina lineages were also taken into account, however, they are labeled as *incertae sedis* as they do not have a well-established classification due to the lack of diagnostic characters that would permit their inclusion in these lineages.

From these data, a composite database was prepared, assembling all occurrences cited in the specialized literature (formed by abstracts presented at conferences, reports, articles, which, as they were published mostly in Portuguese, would make them difficult for an international audience to find). Besides basic information on each fossil plant, geographic location, geology, and paleobotanical systematic data were included. Once georeferenced, the database was transferred to the GIS platform through the ArcGIS program. The later was plotted over the geological map provided by the CPRM (The Geological Map of Brazil, scale of 1:1000000, pages SF21, SF22, SF23, SF24, SG21, SG22, SG23, SH21, SH22 e SI22; covering all the outcropping area of the Itararé and Guatá Groups)

### **5.2.3. Results and Discussion**

The selection of plant fossils included those that had affinities with swamp communities. As noted above, these mostly come from genera of the Bryopsida, Lycopsidea and Equisetopsida, but include genera of the Polypodiopsida/Spermatophytina, specifically *Adiantites*, *Eusphenopteris*, *Paleovittaria*, and *Triphylopteris*. Megaspore species included pertained to the genera *Banksisporites*, *Calamospora*, *Cystoporites*, *Duosporites*, *Lagenosporites*, *Setosisporites*, *Sublagenicula*, and *Trileites*, because they have affinities with the Lycopsidea and are indicative of the same type of community. Even if transport had occurred, it would not affect the results, given the study area dimensions (an area larger than 1,500,000 km<sup>2</sup> in Brazil).

Regarding the megaspores, two new occurrences were included (Porto Feliz and Aterro Delta outcrops) related to interglacial intervals of the Itararé Group in the northern portion of the basin (state of São Paulo) where the presence of megaspores and bryophytes was identified. Distribution maps in the present study were generated jointly and separately for megaspores and macrofossils, in order to understand the distribution of such fossil,

As for the spatial distribution of macrofossils present in the Itararé Group, they are concentrated only in the southern and northern portions of the exposed section of the basin (corresponding to the states of Rio Grande do Sul and São Paulo), probably where

the shallower and less affected (by glacial fronts) environments were. Thus, despite the short interglacial intervals, the development of a flora and its fossilization, as well as the formation of coal beds, were fostered. The absence of fossil plants in the central portion of the basin (the states of Santa Catarina and Paraná) may be due to erosion or to the fact that the depositional environments there were more distal to the sites of plant growth, so the flora is represented only by occurrences of palynomorphs.

The Rio Bonito Formation represents a time of milder climates in the Gondwana paleocontinent, attested by the greater richness and spatial dispersion of fossil occurrences, which extend from the central area to the southern parts of the study area. Thus, portions that in the older interval offered no plant-fossil occurrences (in the states of Santa Catarina and Paraná) have a great number of coal beds, with associated plant fossils in the younger units. Among all formations pertaining to the Gondwana Floristic Province in the Paraná Basin, the Rio Bonito Formation is the one that has the largest diversity of species. The tendency in the basin, as the end of the Paleozoic approached, was a decrease in the number of species (the Rio do Rasto Formation, which represents the end of the floristic province in the Permian, for example, has only 21 species, in an environment already regarded as semiarid) and a high concentration towards the central portion of the basin. For the passage from the Itararé Group to the Rio Bonito Formation, it is possible that the first dispersion of species occurred from the edges to the center of the basin.

There is a great change in the distribution of genera and species during the passage from the Pennsylvanian to the Permian in the swamps of the Gondwana Floristic Province. Firstly, the Itararé Group has 29 different species distributed among 18 outcrops; the Rio Bonito Formation has 33 species distributed among 22 outcrops. Out of the 54 species that occur in the study interval, only 5 are common to both units: *Brasilodendron pedroanum*, *Cyclodendron brasiliensis*, *Lepidophloios laricinum*, *Phyllothea australis*, and *Paracalamites australis*. Added to that list are 3 genera without defined species that occur repeatedly: *Paracalamites* sp., *Phyllothea* sp., and *Sphenophyllum* sp.. It must be noted, however, that the genera *Paracalamites*, *Phyllothea* and *Sphenophyllum* occur differently in each lithostratigraphic unit. In the Itararé Group, *Paracalamites levis* and *P. montemorensis* were found; while in the Rio Bonito Formation, only *P. cambuyensis* was found. In the case of *Phyllothea*, *P. brevifolia* was found in the Itararé Group, whereas *P. griesbachii*, *P. indica*, and *P. muelleriana* were



found in the Rio Bonito Formation. For identified species of *Sphenophyllum*, *S. churulianum*, and *S. rhodesii* were found in the Itararé Group; *S. brasiliensis* and *S. oblongifolium* were found on the Rio Bonito Formation.

Megaspore assemblages occur principally in the northern region of the basin (state of São Paulo) for the Itararé Group. Regarding the Rio Bonito Formation, megaspores occur only in the central and southern portions (the states of Santa Catarina, Paraná and Rio Grande do Sul). Megaspore and Lycopsida occurrences are remarkably coincident in every part of the basin, i.e., where there are megaspores, there are also Lycopsida. This low dispersion of megaspores can be visually confirmed on the maps.

Of the megaspores encountered among the 6 outcrops from the Itararé Group, there were 9 described species. For the Rio Bonito Formation, 15 different species were identified on 7 outcrops. From a total of 17 species, 7 occurred through the entire interval: *Bankisporites endosporiferus*, *Bankisporites labiosus*, *Bankisporites tenuis*, *Lagenosporites scutiformis*, *Sublagenicula brasiliensis*, *Triletes nites*, and *Triletes vulgatus*.

Thus, it can be concluded that the Rio Bonito Formation also has a greater diversity of megaspores than the Itararé Group. Megaspores follow the same spatial patterns as the macrofossils. It is interesting to note that megaspore and lycopsid occurrences match when superposed – which shows that megaspores have minor allochthony, which is markedly different from spores and pollen.

In that manner, spatial study of phytofossil occurrences demonstrates their localization in two places: the present northern portion (state of São Paulo) and its southern portion (state of Rio Grande do Sul), which are geographically distant. On studies of their temporal distribution (Mune & Bernardes-de-Oliveira, 2007; Mori *et al.*, 2012) (Fig. 1B), it is observable that their development was distinct through the Carboniferous/Permian interval, even though all registers indicate glacial conditions. Registers of the northern portion are older, dating from the Middle Bashkirian, and there is a continuous presence of fossil occurrences, extending to the late Gzhelian. The flora then stops in the Asselian, to return in the early Sakmarian, until the end of Itararé Group deposition (middle Sakmarian). This is directly superposed by the Tatuí Formation (which presents a few occurrences of *Tietea* and trunks attributed to gymnosperms or

pteridosperms) (Chaud, 2011). Such disposition is in agreement with the theory that, during the Early Permian, a great glacial advance occurred, which would have not allowed floral development (Montañes *et al.*, 2007; Fielding *et al.*, 2008).

In the southern portion of the basin, geological and phytofossil records of the Itararé Group are restricted to the Asselian, where a great abundance of fossil occurrences is found, indicating that, at least for that region of the basin, there was not such intense activity from the glacial fronts. In the early Sakmarian, the Itararé Group meets the Rio Bonito Formation, in which fossil plants occur in association with organic-rich beds throughout its vertical structure. Geology shows clearly that the thaw began in the present southern portion of the basin, and progressively extended to the north, where the most recent glacial deposits are found.

Through the present study, it is noticeable that, with the end of glaciation in the Paraná Basin, a substitution of species occurred, accompanied by an increase in diversity. In places that during the Pennsylvanian there was less occurrences of swamp plants, such deposits became abundant in the Early Permian (with such a number that they are commercially exploited). This represented a widespread migration towards the more central portions of the basin, culminating in drastic landscape changes. The interval also represented the appearance and diversification of a plant not related to this kind of environment, but which is the signature plant of the Gondwana Floristic Province: the genus *Glossopteris*.

#### **5.2.4. Apêndice**

O trabalho original não contém figuras, mas foram geradas algumas imagens para sua apresentação ~~de trabalho~~. A figura A apresenta a localização dos fitofósseis e dos megásporos. Já as tabelas A e B mostram a presença e ausência dos gêneros considerados ~~no presente trabalho~~.

Figura A: Localização dos afloramentos com Megásporos e Fitofósseis

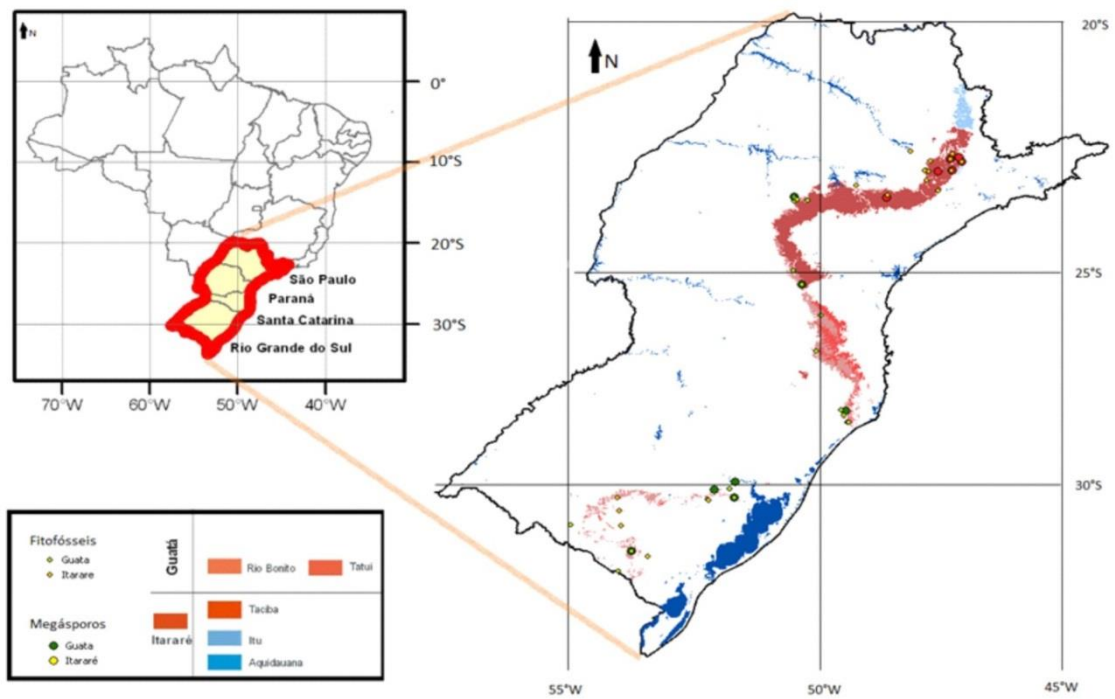


Tabela A: Relação de Fitofósseis

	Itararé	Rio Bonito
<i>Adiantites</i> sp.	2	
<i>Annularia americana</i>		1
<i>Annularia australis</i>		1
<i>Annularia occidentalis</i>		2
<i>Annularia readi</i>		1
<i>Annularia</i> sp.		1
<i>Asterophyllites</i> sp.		1
<i>Asterotheca derbyi</i>		2
<i>Asterotheca</i> sp.		3
<i>Brasilodendron pedroanum</i>	3	10
<i>Bunbündendron nitidum</i>	1	
<i>Bunbündendron paganianum</i>	1	
<i>Calamites</i> sp.		1
<i>Carpolithus</i> sp.	1	
<i>Cyclodendron brasiliensis</i>	1	1
<i>Dwykea</i> sp.	1	
<i>Equisetites calamitoides</i>		1
<i>Eusphenopteris</i> sp.	1	
<i>Hisutum</i> sp.	1	
<i>Keratophyllites</i> sp.	5	
<i>Knorria</i> sp.		1
<i>Lepidophlois laticinus</i>	1	2
<i>Lepidostrobus</i> sp.		2
<i>Leptophloeum pedroanum</i>	1	
<i>Leptophloeum sanctae-helenae</i>	1	
<i>Lycopodiopsis derbyi</i>	3	1
<i>Lycopodiopsis pedroanus</i>	1	
<i>Lycopodiopsis</i> sp.		1
<i>Lycopodites riograndensis</i>		1

	Itararé	Rio Bonito
<i>Lycopodites</i> sp.	1	
<i>Micrófilos de Licófitas</i>		4
<i>Notocalamites askosus</i>		2
<i>Palaeovittaria</i> sp.	1	
<i>Paracalamites australis</i>	8	11
<i>Paracalamites cambuyensis</i>		1
<i>Paracalamites levis</i>	3	
<i>Paracalamites montemorensis</i>	3	
<i>Paracalamites</i> sp.	3	1
<i>Phyllothea australis</i>	2	5
<i>Phyllothea brevifolia</i>	1	
<i>Phyllothea griesbachii</i>		3
<i>Phyllothea indica</i>		1
<i>Phyllothea muelleriana</i>		1
<i>Phyllothea</i> sp.	9	6
<i>Sigillaria australis</i>		1
<i>Sigillaria brardii</i>		2
<i>Sigillaria</i> sp.		2
<i>Sphenophyllites sanpaulensis</i>	1	
<i>Sphenophyllum brasiliensis</i>		3
<i>Sphenophyllum churulianum</i>	1	
<i>Sphenophyllum oblongifolium</i>		3
<i>Sphenophyllum rhodesii</i>	1	
<i>Sphenophyllum</i> sp.	3	2
<i>Stigmara</i> sp.	1	
<i>Trzygia</i> sp.	1	
<i>Tylocladon speciosum</i>	1	

TOTAL	Itararé 32	Rio Bonito 34
-------	------------	---------------

Tabela B: Relação dos Megásporos

	Itararé	Rio Bonito
<i>Banksisporites endosporiferus</i>	1	2
<i>Banksisporites indicus</i>	1	
<i>Banksisporites labiosus</i>	1	2
<i>Banksisporites tenuis</i>	3	3
<i>Cystosporites</i> sp.		1
<i>Duosporites trivedii</i>		1
<i>Lagenoisporites candiotensis</i>		1
<i>Lagenoisporites scutiformis</i>	1	2
<i>Lagenoisporites</i> sp.		2
<i>Lagenoisporites triunfensis</i>		2
<i>Setosisporites furcatus</i>		3
<i>Sublagenicula brasiliensis</i>	6	6
<i>Sublagenicula brasiliensis var. minor</i>		2
<i>Sublagenicula tripartites</i>	1	
<i>Trileites nitens</i>	1	2
<i>Trileites trivalis</i>	1	3
<i>Trileites vulgatus</i>		2

SOMA	16	34
------	----	----

### 5.2.5. References

Anderson J.M., Anderson H.M., Archangelsky S., Bamford M., Chandra S., Dettam M., Hill R., McLoughlin S., Rosler O. 1999. Patterns of Gondwana plant colonization and diversification. *Journal of African Earth Sciences*, **28**:45-167.

Chahud A. 2011. Geologia e Paleontologia das Formações Tatuí e Irati no centro-leste do estado de São Paulo (Geology and Paleontology of the Tatuí and Irati Formations in med-east of the São Paulo State). Tese de Doutorado, University of São Paulo, Brazil. 298 pp.

Christiano-de-Souza I.C. 2011. Nova abordagem para os Estudos Paleobotânicos Neopaleozóicos da Borda Leste na Porção Brasileira da Bacia do Paraná Utilizando Sistemas de Informação Geográfica. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 103 pp.

DiMichele W.A. & Hook R.W. 1992, Paleozoic terrestrial ecosystems. *In*: Behrensmeyer, A.K., *et al.*, eds., *Terrestrial ecosystems through time: Evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals*: Chicago, Illinois, University of Chicago Press, p.: 205–325.

Fielding C.R., Frank T.D., Isbell J.L. 2008. The late Paleozoic ice age – A review of current understanding and synthesis of global climate patterns. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, **441**:343–354.

França A.B. & Potter P.E., 1988. Estratigrafia, ambiente de deposicional e análise de reservatórios do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná, (Parte I). *Bol. Geociênc. Petrobrás*, **2**:147–191.

Gibbs M.T., Rees P.M., Kutzbach J.E., Ziegler A.M., Behling P.J., Rowley D.B. 2002. Simulations of Permian climate and comparisons with climate-sensitive sediments. *J. Geol.*, **110**:33–55.

Haq B.U. & Schutter S.R. 2008, A chronology of Paleozoic sea-level changes: *Science*, **322**:64-68.

Heckel P.H. 2008. Pennsylvanian cyclothems in Midcontinent North America as far-field effects of waxing and waning of Gondwana ice sheets. *In*: Fielding C.R., Frank T.D., Isbell J.L. (Eds) *Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space*. Geological Society of America Special Paper, **441**:275-289.

Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 225 pp.

Montañez I.P., Tabor J.N., Niemeier D., DiMichele W.A., Frank T.D., Fielding C.R., Isbell J.L., Birgenheier L.P., Rygel M.C. 2007. CO<sub>2</sub> - forced climate and vegetation instability during late Paleozoic deglaciation. *Science*, **315**: 87-91.

Mori A.L.O., Souza P.A., Marques J.C. Lopes, R.C. 2012. A new U-Pb zircon age dating and palynological data from a Lower Permian section of the southernmost Paraná Basin, Brazil: Biochronostratigraphical and geochronological implications for Gondwana correlations. *Gondwana Research*, **21**:654-669.

Mune S.E & Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 2007. Paleoflorística e Bioestratigrafia da Taoflora de Monte Mor (SP), Subgrupo Itararé. NE da Bacia do Paraná; *In*: Carvalho I.S., Cassab R.C.T., Schawke C., Carvalho M.A., Fernandes A.C.S., Rodrigues M.A.C., Carvalho M.S.S., Arai M., Oliveira M.E.Q., (eds.), *Paleontologia: Cenários de Vida*. Editora Interciência, **1**:71-82.

Parrish J.M., Parrish J.T., Ziegler A.M. 1986. Permian-Triassic paleogeography and paleoclimatology and implications for Therapsid distribution. *In*: Hotton N., MacLean P.D., Roth J.J., Roth E.C. (eds.) *The biology and ecology of mammal-like reptiles*. Smithsonian Press, Washington D.C., p.:109–132.

Poulsen C.J., Pollard D., Montanez I.P. and Rowley D.B. 2007. Late Paleozoic tropical climate response to Gondwana deglaciation, *Geology*, **35**:771-774.

Rowley D.B., Raymond A., Parrish J.T., Lottes A.L., Scotese C.R., Ziegler A.M. 1985. Carboniferous paleogeographic, phytogeographic, and paleoclimatic reconstructions. *International Journal of Coal Geology*, **5**:7-42.

Santos P.R., Campos A.C.R., Canuto J.R. 1996. Patterns of late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **125**:165–184.

Tyson R.V., 1995. *Sedimentary organic matter; organic facies and palynofacies*. London, Chapman and Hall, 615 p.

.

### **5.3. Artigo III: Flora Group Analysis for the Late Paleozoic Ice Age in Brazil**

Isabel Cortez Christiano-de-Souza, Francisco Santiago Rios, Fresia Ricardi-Branco

#### **5.3.1. Abstract**

The rocks that were deposited in the Late Paleozoic glacial interval of the Paraná Basin, Brazil, offer a wide range of phyto-fossils. In the present study, four types of Assemblages for the fossiliferous sites of this period will be introduced. For such, data concerning the outcrops described in the Itararé Group and Group Analysis were used, which afforded a correlation of the deposits based on their content. Through this methodology, we were able to determine that the fossil plants found indicate that the paleoenvironments of the Itararé Group varied between dry and humid. As to paleotemperature, strong evidence exists that one of the Assemblages described represented a paleo tundra, a hard-to-record environment, since it may have a low supply of liquid water. This methodology validates the studies introduced before then concerning these floras.

#### **5.3.2. Introduction**

The Paraná Basin is a wide-scale intracratonic basin that covers the territorial portion of four countries (Argentina, Uruguay, Paraguay, and Brazil), thus encompassing over 1.5 million square kilometers (Almeida, 1969; Milani *et al.*, 2007). The rocks of the Itararé Group therein have Brazilian records of the Late Paleozoic Ice Age (LPIA) and represent one of the most expressive records of the South Gondwana glaciation (Castro, 2004) and the early deposition of the Gondwana I Megacycle of the basin, which was active from the Late Carboniferous up to the Late Permian (Milani and Zalan, 1999).

The deposition of the Itararé Group began during the Moscovian Age, during which the basin was located at high altitudes in the southwestern portion of Gondwana, and ended in the Sakmarian with the end of the glaciation. Its lithology is marked by sequences



of diamictites (formed by gravel of various source-areas), rhythmites, whole sandy facies, turbidites, coal levels, paleosols, in addition to reseedimented facies. This expressive diversity of associated lithotypes shows the strong dynamics of the glacial/interglacial process within this period of time (Milani *et al.*, 2007).

Along with mainly the coal layers and layers of thin sediments of the Group, a wide distribution of plant macrofossils and palynomorphs can be found throughout the sequence, from baseline levels (bryophytes of the Municipality of Campinas, SP) to its upper portion (the Cerquilha flora) (Petri & Souza, 1993; Christiano-de-Souza & Ricardi-Branco, 2015).

### 5.3.3. **Objectives**

The task of carrying out a flora division for the Itararé Group has already been discussed by various authors (Rösler, 1978; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993; Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2005; Mune & Bernardes-de-Oliveira, 2007). Owing to the lack of exclusive genera for each time interval, which would afford a biostratigraphic classification, proposals include “taphofloras”, “megafloristic associations”, rather than biozones. The only study that suggests a zone was that put forward by Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig (1993); the proposal, however, is only valid for assemblages located in the southern portion of the basin.

The present study does not attempt to offer a new biostratigraphic proposal. Suggestions are made here as to the reconstitution of the floras that surrounded depositional paleoenvironments of the Itararé Group based on their fossil content. Thus, different outcrops were correlated through a Group Analysis.

#### 5.3.4. Floras of The Late Paleozoic

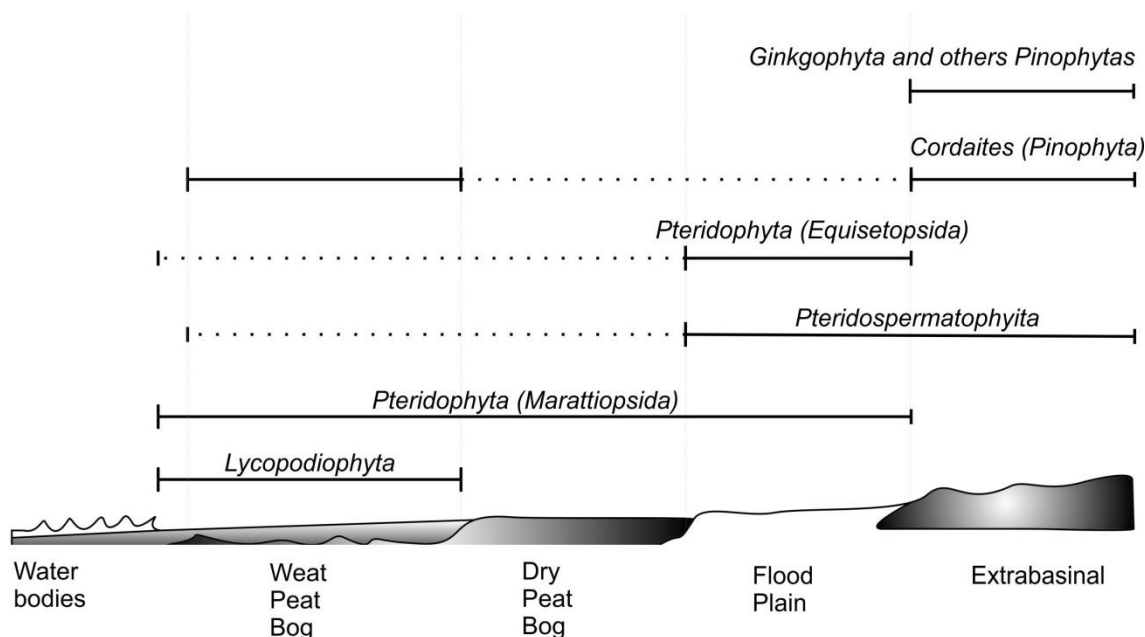
The Late Carboniferous-Early Permian interval represents the first period of time in the evolving history of the fossil plants in which they covered continental areas (DiMichele *et al.*, 2005) and a glaciation occurred simultaneously. Four main floristic provinces are defined worldwide for the interval, according to their latitudinal distribution: Equatorial (Euroamerican and Cathaysian): Northern High Latitudes (Angarian), Southern High Latitudes (Gondwanic).

Thus, the Itararé Group is of utmost importance if we wish to understand Paleozoic floras, because, along with the Argentinean floras (Iglesia-Calingasta-Upsallata Basin and Paganzo Basin) and the Australian floras (Collie Basin and Perth Basin), it offers the first carboniferous records of the Floristic Province of Gondwana (McLoughlin & McNamara, 2001; Christiano-de-Souza & Ricardi-Branco, 2015).

In the Paleozoic, the floras were dominated by species of Lycopodiophyta, Pteridophyta (Marattiopsida and Equisetopsida), and some groups of Spermatophyta (such as Pteridospermatophyta, Pinophyta and Ginkgophyta). Each one of these groups occupied specific niches within floras, and changes existed as to their habits (*e.g.*, the arborescent *Lycopodiales* were predominant in most of the equatorial humid lands of the Carboniferous. The bulbous *Isoetales*, on the other hand, predominated in high latitudes; however, both Lycopodiophytes occupied environments ranging from banks of water bodies to swamps. Based on this characteristic of their habitats, DiMichele *et al.* (2005) defined the following main zones:

- Flora of flooded (hygro-hygrophilous) areas, such as swamps, banks of water bodies, lakes, mangroves, etc.
- Flora of seasonally dry (hydrophilous) areas, such as flood plains.
- Flora of xeric areas, such as extrabasinal areas.

Each group of fossil plants would thus adapt as shown in figure 5.7:



**Figure 5.7** Spatial distribution of the great fossil plant groups in continental habitats in the Carboniferous and Permian periods (Modified by DiMichele *et al.*, 2005).

The aim of the present study was to first provide a survey of the species present in the glacial /interglacial outcrops of the Itararé Group. Next, the outcrops were related (only through their macro floristic content) by using Group Analysis (Cluster Analysis). Thus, the obtained group was assessed considering its composition, the spatial distribution of the *habitats* within the complex paleogeography of the Basin, and, also, its temporal position.

### 5.3.5. Geological Aspects of the Area of Study

In the south and southeastern regions of Brazil, the Late Paleozoic Ice Age was recorded in the rocks of the Itararé Group of the Paraná Basin. The rock layer, which is over 1,300 meters thick in some parts, is usually related to the final defrosting phase. França & Potter (1988) observed that the presence of sedimentary cycles probably represented cyclic climate changes, related to changes in the sea level.

The first subdivision of the Itararé Group was established by Barbosa & Almeida (1949). In this classification, the group was divided into four formations: Itu Formation, Capivari Formation, Gramadinho Formation, and Tietê Formation. Subsequently, the Elias Fausto Formation was included by Barbosa & Gomes (1958) between the Itu and the Capivari Formations. On the other hand, Schneider *et al.* (1974) put forth another division based on the outcrops of the states of Santa Catarina and Paraná. The authors divided the group into three formations: Campo Tenente, Mafra, and Rio do Sul, from base to top. In 1977, Schneider *et al.* included the Aquidauana Formation in the Itararé Group, with an aim to grouping the deposits that occurred concomitantly with the Lagoa Azul Formation, but with distinct lithologic characteristics. Finally, França & Potter (1988) divided the Itararé Group into three Formations based on drill cores: Lagoa Azul, Campo Mourão, and Taciba. According to the authors, the Lagoa Azul Formation comprises arenites, shales, and diamictites; the Campo Mourão Formation is formed by arenites with shales, siltites, diamictites, and mudstone gravel; finally, the Taciba Formation represents a transgression associated to deglaciation. Table 1 show the progression of the studies concerning the lithostratigraphy of the Itararé Group.

The last stratigraphic map for the Paraná Basin was developed by Milani *et al.* (2007). Regarding the Itararé Group, the study was based on the formations established by França & Potter (1988), and defined the deposition interval of the Itararé Group between the Early Kasimovian and the Middle Sakmarian (Figure 5.8.). Furthermore, the Itararé Group offers the greatest deposition interval of the Gondwana I Megacycle, and is thus the largest package of the megacycle.

Geochronology			Lithostratigraphy					
<b>PERMIAN</b>	Lopingan	Wuchiapingan	<b>Gondwana I Megacicle</b>					
		Capitanian						
	Guadalupian	Wordian			<b>Passa Dois Group</b>			
		Roadian						
		Kungurian						
	Cisuralian	Artinskian					Corumbatai Fm.	Teresina Fm.
		Sakmarian					Serra Alta Fm.	
		Asselian					Irati Fm.	
							Palermo Fm.	
	<b>CARBONIFEROUS</b>	Pennsylvanian					Gzhelian	<b>Guatá Group</b>
Kasimovian								
Moscovian								
Bashlirian								
		Tatuí Fm.	Rio Bonito Fm.	<b>Itararé Group</b>				
		Taciba Fm.						
		Campo Mourão Fm.						
		Lago Azul Fm.						

**Figure 5.8** Stratigraphic column of Gondwana 1. Adapted by Milani (2007) and modified by Christiano-de-Souza e Ricardi-Branco (2015).

Through geographic distribution analyses, Christiano-de-Souza & Ricardi-Branco (2013) verified that the assemblages of fossil plants associated to the Itararé Group are distributed mainly in two different areas in the Basin: (1) in its northern portion, in the state of São Paulo, on a strip where the Lagoa Azul and Campo Mourão Formations outcrop, in an area of the group's depositional epicenter; and (2) in the southern portion of the Basin, corresponding to the state of Rio Grande do Sul, on a strip where only the Campo Mourão Formation outcrops, associated to former structural lowlands (Castro, 2004).

### 5.3.6. Materials and Methods

#### 5.3.6.1. Database

First, the database was built for all the paleobotanical information of the Paraná Basin (Christiano-de-Souza *et al.*, 2014), as published in a previous study (Christiano-de-Souza and Ricardi Branco, 2015).

Data concerning the floras described for the Itararé Group were selected and set into a database including their geographical information and fossil content. In brief, we may affirm that the Itararé Group has 28 outcrops that are conceived as phytofossils, with approximately 48 fossil plant morpho-genera.

The information was thus arranged in a matrix containing all the outcrops and respective genera (table 5), wherein value zero represented the absence of a given fossil genus, and value 1, the presence of this genus.



floristic composition. This analysis was generated with the Sørensen index and the UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) a clustering method, for which the FITOPAC 2.1 (Shepherd, 2010) program was used.

The Sørensen similarity index of species composition ranges between 0 – outcrops that do not have occurrences of a given genus, and 1 – outcrops that have occurrences of a given genus. This index is always useful when there are noticeable qualitative contrasts between the outcrops, for, otherwise, only a strong affinity will be recorded, which adds nothing to the classification process (Legendre & Legendre, 1998).

The hierarchical UPGMA clustering method establishes an affinity between the groups simply from their average. In addition, it is regarded as a space saver, since it produces little distortion in the original affinities, rendering it therefore as a highly recommended methodology (Legendre & Legendre, 1998).

Thus, a first data processing with all the information obtained was carried out. Nonetheless, the presence of some genera in only one outcrop and the lack of correlation of these within a group resulted in a dendrogram with very little similarity between the outcrops.

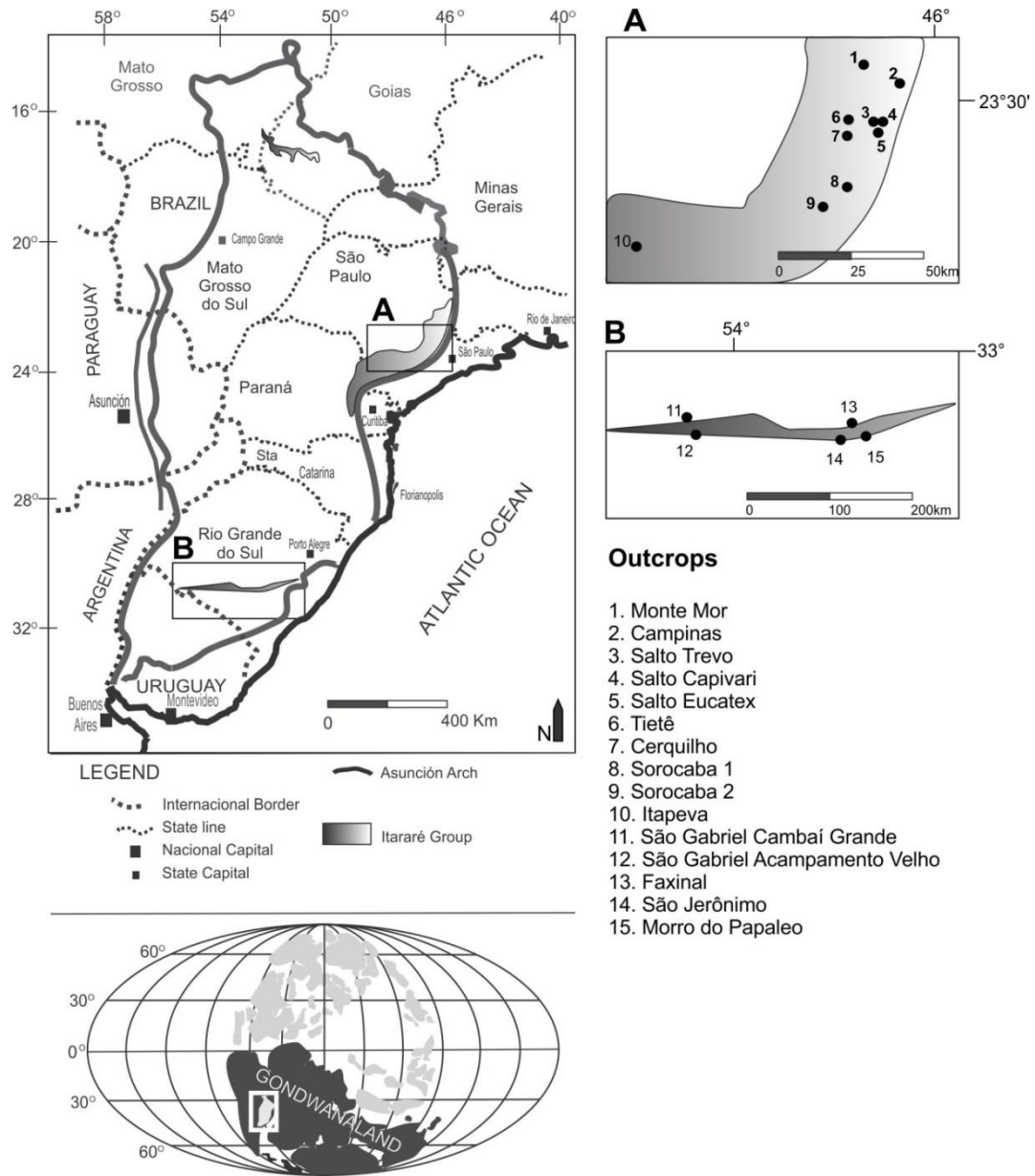
To solve this problem, the data were reprocessed. The genera of fossil plants that occurred only in one outcrop were excluded from the matrix (such as *Adiantitis*, endemic in Monte Mor). Then outcrops that had a single occurrence were also eliminated; and priority was given to outcrops whose dating and comparisons have already been made by paleopalynological studies (Souza, 2006).

Based on the data reprocessing, 16 outcrops were selected (figure 5.9) and distributed as follows:

- In the state of São Paulo, Rodovia dos Bandeirantes (Campinas), Santa Marta (Itapeva), Sítio da Mina (Monte Mor), Salto/Capivari (Salto), Eucatex (Salto), Trevo (Salto), Toca do Índio (Cerquilha), Rodovia Castelo Branco (Sorocaba), Sorocabana (Sorocaba), and Itu;



- In the state of Rio Grande do Sul, Fazenda Goulart (São Jerônimo), Faxinal, Acampamento Velho (São Gabriel), Morro do Papaléo (Mariana Pimentel), and Cambaí Grande (São Gabriel).



**Figure 5.9** Outcrops considered in the present study. Area “A” shows the outcrops of the northern region. Area “B” shows the outcrops of the southern region of the Paraná Basin (modified from Faria, 2013).

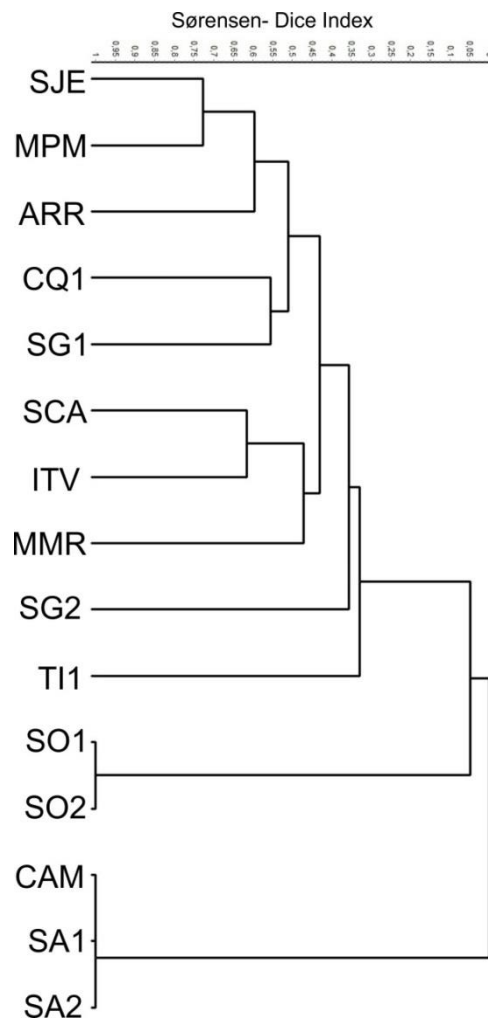
The diversity of genera went from 46 to 23 genera in all, as can be seen in Table 6. The processing of this second table offered the results shown here.

	CAM	SO1	SO2	SCA	TI1	SA1	SA2	ITV	CQ1	MMR	SG1	SG2	SJE	ARR	MPM
<i>Botrychopsis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1
<i>Brasilodendron</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Buridia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
<i>Chiropteris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Cordalcarpus</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Cordaites</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
<i>Cornucarpus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
<i>Dadoxylon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Gangamopteris</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1
<i>Glossopteris</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
<i>Gynkgophyllum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
<i>Koretrophyllites</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
<i>Lycopodiopsis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Noeggerathiotopsis</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Nothofacopteris</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Ottokaria</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Paracalamites</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
<i>Paranadocladus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
<i>Phyllothea</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1
<i>Rubidgea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
<i>Samaropsis</i>	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
<i>Sphenophyllum</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Sphenopteris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0

**Table 6:** Reprocessed outcrops and morpho-genera: ARR - Faxinal; CAM - Campinas; CQ1- Cerquilha Toca do Índio / Sítio da Mina, ITV - Itapeva; MMR - Monte Mor; MPM - Mariana Pimentel Morro do Papaléo; SA1- Salto Eucatex; SA2 - Salto Trevo; SCA - Salto Capivari; SG1 - São Gabriel Acampamento Velho; SG2 - São Gabriel Cambaí Grande; SJE - São Jerônimo Fazenda Goulart; SO1 - Sorocaba 1; SO2 - Sorocaba 2; TI1 – Tietê

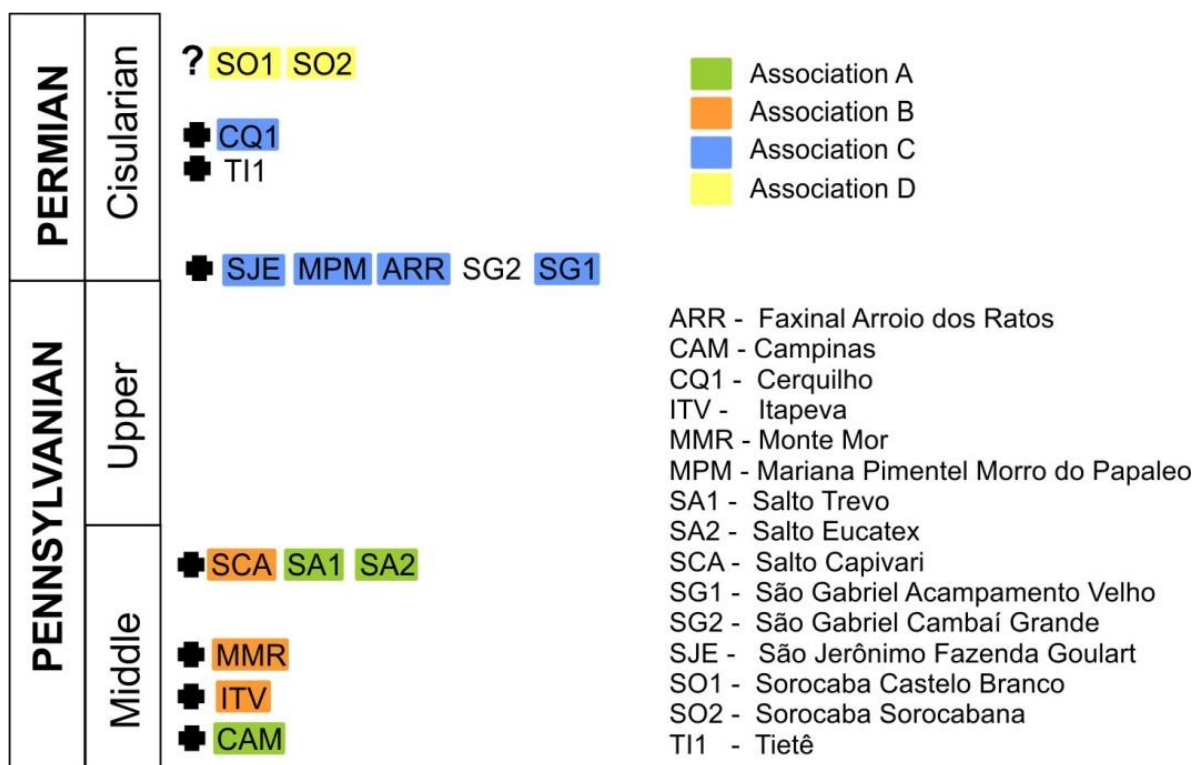
### 5.3.7. Results

The group analysis produced the following results for the 15 outcrops suggested (Figure 5.10):



**Figure 5.10** Dendrogram resulting from the group analysis, with the probable relationships between the outcrops proposed. Axis x shows the outcrops [ARR - Faxinal, CAM - Campinas, CQ1- Cerquilha Toca do Índio / Sítio da Mina, ITV - Itapeva, MMR - Monte Mor, MPM - Mariana Pimentel Morro do Papaléo, SA1- Salto Eucatex, SA2 - Salto Trevo, SCA - Salto Capivari, SG1 - São Gabriel Acampamento Velho, SG2 - São Gabriel Cambaí Grande, SJE - São Jerônimo Fazenda Goulart, SO1 - Sorocaba 1, SO2 - Sorocaba 2, TI1 – Tietê]; axis y shows the Sørensen index (in that values closer to 1 are those that bear greater similarity, and those closer to 0, those with less similarity).

After analyzing the dendrogram, four associations could be made: A) Campinas, Salto Eucatex, and Salto Trevo; B) Salto Capivari, Itapeva, and Monte Mor; C) São Jerônimo, Morro do Papaléo, Faxinal, Cerquilha, São Gabriel Acampamento Velho; and D) Sorocaba 1 and 2. Since the São Gabriel - Cambaí Grande and Tietê Outcrops share characteristics that can be related to Associations B and C, these outcrops were considered separately. Previously, the 15 outcrops had been stratigraphically placed through paleopalynological studies by Souza (2006). Figure 5.11 shows the relationship between age and the groups obtained.



**Figure 5.11** Biostratigraphic placement of the 15 outcrops considered within the palynozones proposed by Souza (2006) for the Paraná Basin and respective associations obtained through group analysis.

The relationship between outcrops can thus be conceived as follows:

#### *ASSOCIATION A (Campinas, Salto Trevo, and Salto Eucatex)*

The Salto Eucatex, Salto Trevo, and Campinas Outcrops are unique since they offer the oldest bryophyte fossil samples of the Paraná Basin. In addition, they offer the *Dwykea* genus, also found in Permian sedimentary rocks of the Dwyka Group, in South Africa (Anderson & Anderson, 1985). According to Souza (2006), the Campinas Outcrop would be palynostratigraphically included in the *Ahrensisporites cristatus* Interval Zone, and the Salto Eucatex and the Salto Trevo Outcrops would be in a palynostratigraphically higher (or more recent) position, in the *Crucisaccites monoletus* Interval Zone.

These outcrops are correlative since they were deposited under the influence of Carboniferous Glaciations in pro-glacial environments (probably tundras), and they were physically close together (Amaral *et al.*, 2004). In a recent study, Ricardi-Branco *et al.* (2013) identified the samples of these outcrops as belonging to the species *Dwykea araroi*.

The same study also mentions the importance of the species of megaspores *Sublagenícula brasiliensis* (Dijkstra, 1956), associated to bryophytes in all the outcrops studied. The association of bryophytes and megaspores is further evidence of the pro-glacial paleoenvironment in which they developed: a seasonal environment, with water shortage, where the fossil plants would have to be resistant to desiccation during the coldest seasons of the year.

The above-mentioned outcrops were not situated by Rösler (1978) in his study concerning the taphofloras of the Paraná Basin, since they were unknown at the time. In the study by Mune & Bernardes-de-Oliveira (2007), Association A would be the union of two Megafloristic associations described by the authors: Megafloristic Association I and Megafloristic Association IV.

#### *ASSOCIATION B (Itapeva, Monte Mor, and Salto Capivari)*

The floras of Itapeva, Monte Mor, and Salto Capivari would have developed in latitudes between 30°S and 60°S (Mune & Bernardes-de-Oliveira, 2007) in cold paleoclimatic conditions. Since there are no freezing-resistant elements, this flora cannot be related to a tundra. In addition, Association B has a relative diversity of genera and species, which produced an accumulation of biomass that could generate levels of coal. In temporal terms, the flora is located in the *Ahrensia* Interval Zone by Souza (2006), which makes Association B older than Association C.

The Monte Mor Outcrop stands out for the varied presence of Lycopodiophyta, such as *Bunbudendron*, *Leptophoeum*, *Brasilodendron*, and *Cyclodendron* (Mune & Bernardes-de-Oliveira, 2007). The Itapeva Outcrop is characterized by a great variety of Equisetopsida morpho-genera (*Paracalamites*, *Sphenophyllum*, and *Koretrophyllites*) (Zampiroli, 2001). The Salto Capivari Outcrop, on the other hand, is characterized by a great presence of seeds, such as *Samaropsis*, *Cordaicarpus*, *Carpolithus*, and *Trigonocarpus* (Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 1978).

What relates these outcrops together to produce Association B is the presence of genera of seeds (*Cordaicarpus* and *Samaropsis*) and of the Pteridospermatophyta

*Noeggeratiopsis*. In lower frequency, the occurrence of *Paracalamites*, *Sphenophyllum*, *Koretrophyllites*, and *Botrychiopsis* is also observed. In addition, there is a rare presence of Ginkgophyta e Pinophyta, which are more frequent in the Monte Mor Outcrop, thereby indicating that this outcrop would have had a greater influence of xeric elements.

For such outcrops, it is suggested that there was low transport, since the frequent presence of spore tetrads is found in the Monte Mor flora (Mune & Bernardes-de-Oliveira, 2007). It is thus suggested that the Monte Mor flora is hygrophilous, and the same is implied for the Itapeva flora, although xeric elements (such as conifers and coidaitales) are found in both. These environments would have corresponded to flood plains, and the gymnospermic elements were probably allochthonous within the assemblage. Guerra-Sommer (1989) proposed that *Botrychiopsis plantiana* would have dominated hygrophilous environments of pro-glacial climates of the Itararé Group. For the Salto Capivari Outcrop, it is suggested that there was more transport, since the presence of stems is noticeable (Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 1978) in a fluvial environment.

Thus, Association B, formed especially by Equisetopsida, points to hygrophilous communities of flood plains and swamps. The presence Lycopodiophyta in the Monte Mor Outcrop may indicate a paleoenviroment with a greater salt-water influence and with the presence of xeric elements. This flora can be related to the Type-A-Taphoflora described by Rösler (1978); to the Eusphenopteris-Nothorhacopteris-Botrychiopsis Association, described by Bernardes-de-Oliveira *et al.* (2005); and to Megafloristic Associations II, III, and IV, by Mune & Bernardes-de-Oliveira (2007).

*ASSOCIATION C (São Jerônimo, Morro do Papaléo, Faxinal, São Gabriel Cambaí Grande, and Cerquilha)*

Association C is characterized by the presence of the genus *Rubidgea* in all outcrops, in addition to an outstanding presence of *Botrychiopsis*, *Gangamopteris*, *Cordaites*, *Cordaicarpus*, and *Samaropsis*. *Lycopodiopsis*, *Sphenophyllum*, and *Nothorhacopteris* are absent in such outcrops. Souza, 2006, placed this flora in the *Crucisaccites monoletus* Interval Zone.

Overall, as opposed to Association B, it can be observed that the dominant fossil plants are those of dry and continental environments, with a predominance of Spermatophyta.

For the São Jerônimo and Morro do Papaléo Outcrops, at first, 22 genera are related in the study, and only 7 genera (*Botrychiopsis*, *Rubidgea*, *Cordaites*, *Ginkgophyllum*, *Chiropteris*, *Cornucarpus*, and *Samaropsis*) are shared by both outcrops. However, an absence of *Glossopteris* and *Gangamopteris* is noted in São Jerônimo and present in Morro do Papaléo. Andreis *et al.* (1980) suggest that São Jerônimo would have corresponded to an ancestral flora when it is compared to others observed in Rio Grande do Sul, since it also offers forms such as *Botrychiopsis*, *Chiropteris*, and *Koretrophyllites*. Nonetheless, information is still insufficient to situate it in the Upper Carboniferous.

Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980) characterize the Morro do Papaléo Outcrop as a deposit in shallow lakes, with Glossopteridales and Cordaitales developing in a para-autochthonous environment and evolving to a fluvial environment. Notwithstanding, the great number of xeric environment elements is notorious in both outcrops, especially the presence of Ginkgophytes – rare elements in phyto-fossiliferous outcrops in the Paraná Basin of the Late Paleozoic (Christiano-de-Souza & Ricardi-Branco, 2014) – showing that its presence was probably indicative of transport. The Faxinal Outcrop also shares genera related to xeric environments, such as *Rubidgea* and *Cordaites*. However, this outcrop does not have Ginkgophyta, as São Jerônimo and Morro do Papaléo do, which leads us to believe that the latter two had a greater continental influence, since Ginkgophyta are characteristic almost solely of xeric environments.

The floras of the Cerquilha, São Gabriel, and Acampamento Velho Outcrops can also be related. An interesting fact in such a relationship is the distance of the Cerquilha Outcrop when compared to that of the other two outcrops: Cerquilha is located in the north of the Paraná Basin, in the state of São Paulo, and Acampamento Velho and São Gabriel, in the state of Rio Grande do Sul, in the southern portion of the Basin. As opposed to the outcrops of Association B, Cerquilha would be a Permian Age outcrop. However, this outcrop shares many elements with those of Rio Grande do Sul: both Cerquilha and Acampamento Velho share *Phyllothea*, *Paracalamites*, *Gangamopteris*, *Noeggerathiopsis*, and *Rubidgea*. Cazzulo-Klepzig *et al.* (1980) identified Acampamento Velho as belonging to

a shallow-water sedimentary platform environment near the coast, since the fossil plant remnants are poorly preserved. Hoelzel (2014) mentions that the elements related to Equisetopsida found in the Cerquilho community (which are also observed in Acampamento Velho) would have come from riverside communities. *Gangamopteris* and *Noeggeratichiopsis* are also related to a water-body-banks environment. In addition, the vegetation found in Cerquilho is also interpreted as having belonged to hygrophilous communities on the banks of interdistributary channels, with the presence of drier environment elements (such as *Paranocladus*).

The most relevant information concerning Association C is the appearance of *Glossopteris* leaves in the Brazilian floras. The research work developed to date indicates that the genus is characteristic of the Permian throughout the Gondwana, and that it arose mainly in the southern portion of the Basin. Thus, it is possible that the limit of that which is known as *Pré-Glossopteris* flora and *Glossopteris* flora lies between associations B and C (Iannuzzi, 2013).

In previous investigations, the taphofloras of Rio Grande do Sul and of Cerquilho had already been compared. Although the flora elements of São Jerônimo had been related to Rösler's Taphoflora A (1978) by Andreis *et al.* (1980), all the above-mentioned floras would have been found in the A/B transitional flora (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1981).

#### *ASSOCIATION D (Sorocaba)*

Little information exists to date about the Sorocaba Outcrops, and no palynological study has been conducted that would afford its stratigraphic placement. Based on the *Glossopteris* macrofossils described by Barbosa & Almeida (1949), it is assumed that they would have been deposited at proximate times, subsequently to the deposits of the Cerquilho and Tietê Outcrops, since leaves of the genus *Glossopteris* are not found in the latter two.



The presence of only one phytofossil genus indicates that the Sorocaba Outcrops may be related to dry environments, since pteridosperms only occupied flood plains and xeric areas (DiMichele *et al.*, 2005). Since the fossilization of leaves requires the sedimentary deposition of thin matter under the plant remnants that will inhibit its decomposition, we can correlate these deposits to river point bars or water courses with sufficient energy to transport the remnants, and, at the same time, to not allow the development of stagnant-area fossil plants (such as Equisetopsida).

#### *TIETÊ AND SÃO GABRIEL- CAMBAÍ GRANDE FLORAS*

The Tietê and São Gabriel-Cambaí Grande floras have sufficient elements to place them as part of Association B, as much as of Association C.

The taxa of the São Gabriel – Cambaí Grande flora that make it part of both associations are characteristic elements, such as *Cordaicarpus*, *Cordaites Gangamopteris*, and *Phyllothea*. On the other hand, the São Gabriel – Cambaí Grande flora does not share common taxa with the floras of Associations A and B, such as *Samaropsis*, *Noeggerathiopsis*, and *Botrychiopsis*. The elements of this flora would have originated from different portions – hygrophilous genera, such as *Phyllothea*, and mesophilic genera, such as *Gangamopteris* are present there. To all appearances, the São Gabriel flora has more affinity with Association C, owing to the presence of the *Phyllothea-Gangamopteris* association.

On the other hand, the Tietê flora offers quite a different problem, since only seeds (*Samaropsis*) and *Gangamopteris* leaves were found there. The Tietê flora shows another problem concerning Association D: monotony of information. In the case of the Tietê flora, the *Gangamopteris* leaves present themselves as successive layers of densely packed impressions and compressions. More thorough studies are being conducted of these assemblages, which apparently underwent short transport and little or no fragmentation.

### 5.3.8. Discussion

A number of biostratigraphic proposals were made for the Itararé Group in the Paraná Basin by using paleobotanical records as a reference. These records were also used to understand the evolving processes of the western Gondwana flora. Although the present study puts forth a different proposal (reconstruction of paleoenvironments of the Itararé Group), we can make a brief comparison with previously conducted studies.

The study by Rösler (1978) shows the Itararé Group with two taphofloras: Taphoflora A, with the presence *Paracalamites*, *Paranocladus*, *Lycopodiopsis*, and *Samaropsis*, and absence *Gangamopteris* and *Glossopteris*. As opposed to what the authors affirm, this is not the oldest flora of the Paraná Basin, since Souza (2006) showed by palynostratigraphy that the flora of Campinas is older. However, in the present study, Taphoflora A corresponds to Association B. Another flora introduced by Rösler (1978) is the transition A/B Taphoflora, for which the author mentions the locations of Cerquilha and Acampamento Velho, where the first occurrence of *Glossopteris* was discovered along with *Gangamopteris* leaves. In the present study, this Taphoflora would correspond to Association C.

In 1987, Milan conducted a study on the taphofloras of the Itararé Group in the state of São Paulo. In this study, the floras are introduced as “Floristic Floors”. The oldest floor introduced by the author was the Montemoreense Floor, followed by the Medianense Floor (formed by the Buriense, Cesário Langense, and Itapevense Floors) and the Cerquilhense Floor. The Cerquilhense Floor would be older than the outcrops of Rio Grande do Sul. However, this hypothesis was refuted by the study by Souza (2006), who proposed that the flora found in Buri would be the oldest, followed by that of Itapeva and Monte Mor. The floras of Rio Grande do Sul (São Jerônimo, São Gabriel, Arroio dos Ratos, and Mariana Pimentel) would be in an intermediary portion (in the Gzhelian / Asselian), and the Cerquilha would represent the top of the deposition of the Itararé Group (in the Asselian / Kungurian).

Another study conducted by Guerra-Sommer and Cazzulo-Klepzig (1993) used only phyto-fossils from Rio Grande do Sul, to show a biostratigraphy of the Early Permian. This study proposed a floristic zone for the Itararé Group and for the base of the Rio Bonito Formation (the latter already in a post-glacial moment, within the Guatá Group) called the

*Botrychiopsis plantiana* zone. The Itararé Group would be represented only by a subzone, the so-called *Gangamopteris obovata*. The *Gangamopteris obovata* subzone would correspond to Association C in the present study, but only partially, since the Cerquilho Outcrop was not considered.

Bernardes-de-Oliveira *et al.* (2005) recognized only two floras for the Itararé Group — an older one, in which assemblages of fossil plants found in the layers of the Lagoa Azul Formation were included, and another more recent one, referring to the assemblages present in the Campo Mourão Formation. Such hypothesis was corroborated by the present study, where these floras correspond to Associations B and C. Nevertheless, the present proposal offers a more thorough study of the occurrences of the Itararé Group.

In a previous study, Mune & Bernardes-de-Oliveira (2007) recommended various Megafloristic associations as a proposed division for the floras of the Itararé Group in the state of São Paulo, from base to top, as follows:

- Megafloristic Association *Dwykea-Sublagenícula-Calamospora* (in Campinas)
- Megafloristic Association *Eusphenopteris-Nothoracopteris-Botrychiopsis* (in Buri and Itapeva)
- Megafloristic Association *Paranocladus-Ginkgophyllum-Brasilodendron* (in Monte Mor)
- Megafloristic Association *Dwykea-Sublagenícula-Calamospora* (in Salto / Itu)
- Megafloristic Association *Gangamopteris-Rubidgea-Stephanophyllites* (in Cerquilho)

The proposal offered by Mune & Bernardes-de-Oliveira (2007) is a recommendation in which the successive floristic associations are investigated, with Souza's palynostratigraphy as a basis, as opposed to the concept used in the present study. Nonetheless, the present study validated the hypotheses raised by the authors only partially, since Association A herein would correspond, for example, to Megafloristic Association I and IV simultaneously.

### 5.3.9. Conclusions

The present proposal, obtained through a scientific method, does not offer empirical results, as opposed to previous investigations. However, results obtained previously (Rösler, 1978; Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 1993; Bernardes-de-Oliveira *et al.*, 2005; Mune & Bernardes-de-Oliveira, 2007) are validated through the present instruments.

The main objective of this study was to reconstitute the depositional environments of the floras of the Itararé Group. Thus, four different environments were obtained: A – Tundra glacial; B – Temperate hydro-hygrophilous; C – Temperate hygrophilous-xeric; D – Temperate of low specific variation. Moreover, there are two mixed environments, which could be considered as intermediary between Associations B and C.

Association A would represent a pro-glacial tundra environment, with low diversity due to extreme climates – a record of the vegetation that was resistant to the mildest moments of glaciations. The genus *Dwykea* is also evidence of the connection between the Paraná Basin and the Cape-Karoo Basin, since it only occurs in these locations. This Association fosters an important understanding of Paleozoic floras, since records of pro-glacial environments are as yet scarce in geological terms.

Association B, on the other hand, offers a great variety of genera and can also be related to cold environments in interglacial periods. The characteristic presence of Equisetopsida and of Lycopodiophyta in these floras would indicate swampy environments in flood plains.

Association C would also have developed in interglacial periods. Differently from B, a great abundance exists of xeric elements, which were probably transported. The low selection and its precarious preservation indicate that these deposits would have been related to water-body-banks environments, deposited after high-impacting events (such as storms).

Finally, Association D, which also developed in interglacial periods, could be related to water body banks such as flood plains that were sufficiently dry not to develop Equisetopsida or other swamp-type fossil plants.

### 5.3.10. Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the contribution of the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq - *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico*) for Isabel Cortez Christiano de Souza's PhD scholarship (number 141099/2012-7) and that of Fresia Ricardi-Branco for Research Productivity. They also thank the Coordination for the Improvement Higher-Education Personnel (CAPES - *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*) for Francisco Santiago Rios's PhD scholarship. The very helpful financial support of the São Paulo Research Foundation (FAPESP - *Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo*), through Process FAPESP 13/11563-6, is also acknowledged.

### 5.3.11. References

Almeida F.F.M. 1969. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXIII, Anais*, 1:29-46.

Amaral P.G.C., Bernardes-de-Oliveira M.E., Ricardi-Branco F., Broutin J. 2004. Presencia de Bryopsida fértil en los niveles Westfalianos del Subgrupo Itararé, Cuenca de Paraná, Brasil. *Tropical Bryology*, **25**:101-110.

Anderson J.M. & Anderson H.M. 1985. *Paleoflora of Southern Africa Prodrum of South African megaflores Devonian to lower Cretaceous*. Ed. A. A. Balkema, Pretoria, 423 pp.

Andreis, R.R., Cazzulo-Klepzig M., Guerra-Sommer M., Zimermann L. 1980. Considerações sobre um afloramento fóssilífero do Grupo Itararé: Fazenda Goulart, Francisquinho, Município de São Jerônimo, RS. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **11**:31-189.

Barbosa O. & Almeida F.F.M. 1949. A Série Tubarão na Bacia do Rio Tietê, Estado de São Paulo. *Notas preliminares e Estudos DNPM-DMG*, **48**, 16 pp.

Barbosa O. & Gomes F.G. 1958. Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, Estado de S. Paulo. *Boletim DNPM-DGM*, **171**:40.

Bernardes-de-Oliveira M.E.C, Rohn R., Ricardi-Branco F., Zampirolli A.P., Mune S.E., Amaral P.G.C., Longhim M.E., Castro-Fernandes M.C. Lages L. 2005. Late Carboniferous to Early Permian glacial-related paleofloras from northeastern Paraná Basin, Brazil *In: Gondwana 12* Mendoza, Academia Nacional de Ciências, *Abstracts*, p.: 70.

Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Santos P.R., Saad A.R., Rocha-Campos A.C. 1978. Ocorrências de Plantas Fósseis do Subgrupo Itararé em Salto, SP. *Advances in Palaeobotany and Allied Sciences in Brazil. Boletim Instituto de Geociências da USP*, **9**: 57-152.

Castro J.C. 2004. Glaciações Paleozóicas no Brasil. *In: Mantesso-Netto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R, Britto-Neves, B.B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio de Almeida*. Beca ed., p.:151-162.

Dijkstra S.J. 1956. Some Brazilian megaspores, Lower Permian in age, and their comparison with Lower Gondwana spores from Índia. *Mededelingen Geologische Strichting Nieuwe Serie*, **9**:5-10.

Ricardi-Branco F.S., Costa J.S., Christiano-de-Souza I.C., Rohn R., Longin M., Faria, R.S. 2013. Bryophytes associated with Pennsylvanian Periglacial Environments in Southern Gondwana (São Paulo State, Itararé Group, Paraná Basin, Brazil). *N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.*, **60**:343–347.

Cazzulo-Klepzig M., Guerra-Sommer M., Bossi G.E. 1980. Revisão Fitoestratigráfica Do Grupo Itararé No Rio Grande Do Sul. I. Acampamento Velho, Cambaí Grande, Budó e Morro Papaléo. *Paleobotânica e Áreas Afins na América do Sul Boletim - Instituto de Geociências da USP*, **11**:31-189

Christiano-de-Souza I.C. & Ricardi-Branco F. 2013. Swamp flora changes through the Pennsylvanian – Early Permian interval in the Gondwana floristic province of the Brazilian portion of the Paraná Basin. *New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin*, **60**:66-70.

Faria R.S. 2013. Lenhos fósseis das formações Irati e Teresina no estado de São Paulo: novos dados. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 139 pp.

Christiano-de-Souza I.C. & Ricardi-Branco F. 2015. Study of the West Gondwana floras during the late Paleozoic: a paleogeographic approach in the Paraná Basin – Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **426**:159–169.

Christiano-de-Souza I.C., Ricardi-Branco F., Silva A., Dash L.G.E., Faria R.S. 2014. New approach for the study of paleofloras using geographical information systems applied to Glossopteris Flora. *Brazilian Journal of Geology*, **44**(4):681-689.

DiMichele W.A., Gastaldo R.A., Pfefferkorn H.W. 2005. Plant biodiversity partitioning in the Late Carboniferous and Early Permian and its implications for ecosystem assembly, *Proceedings of the California Academy of Sciences*, **56**:32-49

França A.B. & Potter P.E. 1988. Estratigrafia, ambiente de deposicional e análise de reservatórios do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná, (Parte I). *Bol. Geociências Petrobrás*, **2**:147–191.

Guerra-Sommer M. 1989. Megafloras ocorrente em horizontes associados a carvões no Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldinensia*, **29**(7):93-122.

Guerra-Sommer M. & Cazzulo-Klepzig M. 1981. A Taoflora do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul e sua importância bioestratigráfica no Gondwana Sul-Brasileiro. IN: II Congresso Latino-Americano De Paleontologia, *Anais*, p.:127-140.

Guerra-Sommer M. & Cazzulo-Klepzig M. 1993. Biostratigraphy of the southern Brazilian neopaleozoic Gondwana sequence: a preliminary palaeobotanical approach. In: Douzième Congrès International de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifère et Permien, *Comptes Rendus*, **2**:61-72

Heckel P.H. 2008. Pennsylvanian cyclothems in Midcontinent North America as far-field effects of waxing and waning of Gondwana ice sheets. In: Fielding C.R., Frank T.D.

Isbell J.L. (Eds) *Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space*. Geological Society of America Special Paper, **441**:275-289.

Hoelzel A. 2014. Revisão da Tafoflora interglacial de Cerquilha (SP), porção superior do Grupo Itararé, Eocisulariano da borda nordeste da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado, Programa de Geoquímica e Geotectônica da Universidade de São Paulo. 104 p.

Iannuzzi R. 2013. The Carboniferous-Permian floral transition in the Paraná Basin. *New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin*, **60**:32-142.

Iannuzzi R. 2013. The Carboniferous-Permian Floral Transition in the Paraná Basin. *New Mexico Museum of Natural History and Science, Bulletin*, **60**:132-136.

Legendre P. & Legendre L. 1998. *Numerical ecology*, Elsevier Science BV, Amsterdam, 853 p.

McLoughlin S & McNamara K. 2001. Ancient Floras of Western Australia. *Publication of the Department of Earth and Planetary Sciences, Western Australian Museum*, 42 p.

Milan J.H. 1987. Os pisos florísticos do carvão do Subgrupo Itararé do Estado de São Paulo e suas implicações. In: X Congresso Brasileiro de Paleontologia, *Anais*, p.:831-857.

Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 225 pp.

Milani E.J. & Zalán P.V. 1999. An outline of the geology and petroleum systems of the Paleozoic interior basins of South America, *Episodes*, **22**:199-205.

Milani E.J., Melo J.H.G., Souza P.A., Fernandes L.A., França A.B. 2007. Bacia do Paraná. In: *Cartas Estratigráficas: Boletim de Geociências da Petrobrás*. **15**(2):265-287.

Mune S.E & Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 2007. Paleoflorística e Bioestratigrafia da Tafoflora de Monte Mor (SP), Subgrupo Itararé. NE da Bacia do Paraná; In: Carvalho I.S., Cassab R.C.T., Schawke C., Carvalho M.A., Fernandes A.C.S., Rodrigues M.A.C.,



Carvalho M.S.S., Arai M., Oliveira M.E.Q., (eds.), *Paleontologia: Cenários de Vida*. Editora Interciência, **1**:71-82.

Mune S.E. & Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 2007. Revisão da Tafoflora interglacial neocarbonífera de Monte Mor, SP (Subgrupo Itararé), nordeste da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*. **37**(3):427-444.

Ricardi-Branco F.S., Costa J.S., Christiano-de-Souza I.C., Rohn R., Longin M., Faria R.S. 2013. Bryophytes associated with Pennsylvanian Periglacial Environments in Southern Gondwana (São Paulo State, Itararé Group, Paraná Basin, Brazil). *N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.*, **60**:343–347.

Rösler O. 1978. The Brazilian eogondwanic floral succession. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **9**: 85–90.

Schneider R.L., Muhlmann H., Tommasi E., Medeiros R.A., Daemon R.F., Nogueira A.A., 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *In*: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia Porto Alegre, *Anais*, p.:41–65.

Shepherd G.J. 2010. FITOPAC 2.1. Manual do usuário. Departamento de Botânica, Universidade Estadual de Campinas.

Souza P.A. 2006. Late Carboniferous Palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **138**:9-29

Zampirolli A.P. 2001. Tafoflora Neocarbonífera da Fazenda Santa Marta, Interglacial do Subgrupo Itararé, Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Região de Itapeva (SP), Brasil. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado. 131 pp.

## 6. Discussão

Durante o intervalo que compreende o Grupo Itararé (Kasimoviano – Sakmariano), a Bacia do Paraná esteve sob influência de frentes glaciais. Os intervalos interglaciais do período permitiram o estabelecimento de uma flora, caracteristicamente menos diversa, se comparada com as floras Argentinas para o mesmo período. Já quando comparada com as floras da Bacia do Karoo, a da Bacia do Paraná apresenta-se mais diversificada, uma vez que os registros africanos são raros.

Existem registros da presença de glaciação no Grupo Itararé, mas até então as informações fitofossilíferas indicam que o avanço e contração das calotas de gelo não alteraram a diversidade dos grupos de plantas. Os intervalos interglaciais constituíram períodos amenos o suficiente para o desenvolvimento de, por exemplo, gêneros de pteridospermosidas (*Arberiopsis*, *Cyclopteris*, *Gangamopteris*, *Glossopteris*, *Lagenospermopteris*, *Noeggerathiopsis*, *Nothorhacopteris*, *Rhacopteris*, e *Triphyllopteris*). Tais gêneros eram característicos de climas mais secos, apesar da umidade trazida pelo aquecimento.

Identificaram-se quatro paleoambientes através da análise dos afloramentos fitofossilíferos do Grupo Itararé:

- Flora característica de ambiente pró-glacial de tundra,
- Flora característica de ambiente interglacial úmido,
- Flora característica de ambiente interglacial misto,
- Ambiente interglacial de flora de condições secas.

As floras presentes no intervalo glacial e no pós-glacial (correspondentes ao Grupo Itararé e Guatá) apresentam gêneros relacionados a pântanos, assim como associações de megásporos. Estes revelam maior diversidade através da análise do conteúdo fossilífero aqui realizada, indicando disponibilidade hídrica associada a um clima ameno, que permitiu o estabelecimento de uma flora diversificada.

Dessa maneira, após a glaciação ocorreu uma substituição dos gêneros típicos de clima seco. Também ocorreu a dispersão das floras, que durante o intervalo glacial estariam concentradas nas porções norte e sul da Bacia, já que, em sua porção central (estados de Santa

Catarina e Paraná), existem somente registros marinhos. Durante o pós-glacial, há registros de fósseis vegetais em toda a borda leste da Bacia do Paraná.

A flora encontrada em rochas do Grupo Guatá representa o momento de máximo desenvolvimento da Província Florística do Gondwana na Bacia do Paraná, dada sua riqueza e abundância. Já as floras argentinas apresentam uma queda da riqueza, ao contrário das floras do Karoo, que apresentam aumento da riqueza.

As floras do Grupo Passa Dois por seu turno, que ocupavam toda a área aflorante da Bacia do Paraná, mostram sua grande capacidade de adaptação, mesmo diante das mudanças climáticas, que tenderam a se tornar cada vez mais secas no decorrer do Permiano.

O declínio da diversidade florística da Bacia do Paraná aconteceu durante o Lopingiano, momento de clima árido e seco. Devido a tais condições, o mar da Bacia Paraná perdeu sua conexão com o oceano, se tornando um mar restrito de alta salinidade. A salinidade poderia ser um fator que limitaria o crescimento dos vegetais. Os registros de vegetais na Bacia do Paraná nas formações Sanga do Cabral e Pirambóia, sobrejacentes à Formação Rio do Rasto no Megaciclo Gondwana I, são duvidosos ou inexistem. A flora sobrejacente àquela encontrada no Grupo Passa Dois é a Flora de *Dicroidium* (Triássica, já no megaciclo Gondwana II), por vezes considerada a última da Província Florística do Gondwana (Guerra-Sommer & Cazzulo-Klepzig, 2000) Já a Bacia do Karoo, atravessou sua melhor fase no intervalo Neopermiano — fase de maior biodiversidade vegetal, influenciando outros continentes do Gondwana, como Índia e Austrália. Não existem registros de Floras Argentinas no intervalo.

Se comparadas as porções norte e sul do Gondwana para o período Neocarbonífero / Neopermiano, as formas encontradas em um e no outro extremo são completamente distintas, o que vem corroborar a teoria que distingue a província Euroamericana da Província Florística do Gondwana. A flora da porção Norte do Gondwana já é mais influenciada pelas províncias florísticas do Laurásia (Ricardi-Branco, 2008).

Em suma, durante o intervalo Neopaleozóico, a Província Florística do Gondwana atravessou grandes mudanças em sua composição, disposição e diversidade. Tais mudanças têm relação provável com os diferentes climas a que a flora esteve submetida no intervalo. Os tipos de análise aqui sugeridos mostram diferentes aspectos dessas mudanças, como é o caso

de sua distribuição geográfica. Também se podem observar modificações no que concerne a sua composição, com predominância de grupos de plantas distintos para cada intervalo.

## 7. Conclusões

Seguem as principais conclusões, obtidas a partir da integração dos resultados expostos nos três artigos:

- As mudanças observadas em maiores escalas são distintas das observadas em menores escalas. Nas primeiras, é evidente o papel do clima sobre a distribuição fitogeográfica e como as mudanças climáticas afetam os grupos de plantas.
- Já em escalas menores, são possíveis as reconstituições mais fiéis dos ambientes deposicionais.
- A flora desenvolvida no intervalo entre as idades Kasimoviana (Carbonífero) e Sakmariana (Permiano) na Bacia do Paraná, correspondente ao do Grupo Itararé, é mais diversa quando comparada com as floras desenvolvidas na Bacia do Karoo, Formação Dwyka (África). No entanto, a mesma flora é menos diversa quando comparada às desenvolvidas nas Bacias Argentinas, uma vez que os registros do intervalo se estendem para as Bacias de Paganzo (Formações Arroyo Torotal e Bajo de Veliz), Tepuel-Genoa (Formação Mojon de Hierro), San Rafael (Formação El Imperial) e Calingasta / Uspallata (Formação Agua Negra).
- A flora permaneceu diversa, mesmo com o avanço das calotas de gelo. O intervalo (Kasimoviano - Sakmariano) foi marcado como um bom momento, principalmente para o desenvolvimento de *pteridospermosidas*. Registros de folhas do gênero *Glossopteris* surgem a meio caminho, provavelmente no início do Permiano.
- Diversos paleoambientes deposicionais foram encontrados no Grupo Itararé. Tais paleoambientes são mais ou menos correlatos, possuindo abundância variada de elementos xéricos nos registros.
- O intervalo pós-glacial mostrou-se mais diverso do que o glacial, com a expansão de pântanos (evidenciada pela presença maior de megásporos). O Grupo Guatá apresenta o menor volume sedimentar dentre as unidades litoestratigráficas do Megaciclo Gondwana I na Bacia do Paraná, no entanto é aquele que apresenta a maior diversidade de espécies de plantas.
- Na Argentina, o intervalo Sakmariano - Artinskiano apresenta registros fitofossilíferos na Bacia de Paganzo (Formações La Colina e Tasa Cuna), onde ocorre um decréscimo da diversidade; já a Bacia do Karoo (Grupo Ecce) apresenta aumento da biodiversidade vegetal.

- Durante o Intervalo Artinskiano – Changhsingiano (intervalo que corresponde ao Grupo Passa Dois), a Bacia do Karoo (Formações Waterford e Estcourt) apresenta ampla diversidade de fitofósseis, com grande influência de elementos da flora do Leste do Gondwana (como Índia e Austrália). Não existem registros de fitofósseis em bacias Argentinas no mesmo período.
- A Flora do Grupo Passa Dois, na Bacia do Paraná, apresenta ampla gama de registros, porém com baixíssima diversidade quando comparada aos dois outros Grupos da mesma Bacia.

## 8. Referências

Almeida F.F.M. 1969. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXIII, Anais*, 1:29-46.

Amaral P.G.C, Bernardes-De-Oliveira M.E., Ricardi-Branco F., Broutin J. 2004. Presencia de Bryopsida fértil en los niveles Westfalianos del Subgrupo Itararé, Cuenca de Paraná, Brasil. *Tropical Bryology*, **25**:101-110.

Anderson J.M., Anderson H., Archangelsky S., Bamford M., Chandra S., Dettmann M., Hill R., McLoughlin S., Rösler O. 1999. Patterns of Gondwana plant colonization and diversification. *Journal of African Earth Sciences*, **28**:145–167.

Barbosa O. & Almeida F.F.M. 1949. Nota sobre a estratigrafia da Série Tubarão em São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **21**(1):65-68.

Barbosa O. & Gomes F.G. 1958. Pesquisa de petróleo na Bacia do Rio Corumbataí, Estado de S. Paulo. Rio de Janeiro, *Boletim DNPM-DGM*, 171:40.

Bernardes-de-Oliveira M.E. 1977. Tafoflora Eogondvânica da Camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão), SC. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 301 p.

Berner R.A. 1991. A model for atmospheric CO<sub>2</sub> over phanerozoic time. *American Journal of Science*. **291**:339-375.

Berner R.A. 1998. Sensitive of Phanerozoic atmospheric CO<sub>2</sub> to paleogeographically induced changes in land temperature and surface runoff. *In: Crowley T.J. & Burke K.C. (eds.) Tectonic Boundary Condition For Climatic Reconstructions*, Oxford University Press, Oxford, p.:251-261.

Bianchi M.B. 2008. Variações da estrutura da crosta, litosfera e manto para a plataforma Sul Americana através de funções do receptor para ondas P e S. Tese de Doutorado,

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, da Universidade de São Paulo, 131 p.

Castro J.C. 1991. A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Membro Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 146 p.

Castro J.C. 2004. Glaciações Neopaleozóicas no Brasil. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (eds.) Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* Ed. Becca, São Paulo, p.:151-162.

Castro J.C., Michel, U., Alves, C.F.C., Grecchi, R.C. 1993. O Grupo Guatá na margem nordeste da Bacia do Paraná: uma revisão. *In: Simposio de Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, I, Boletim de Resumos*, p.:55-56.

Christiano-de-Souza I.C. & Ricardi-Branco F. 2015. Study of the West Gondwana floras during the late Paleozoic: a paleogeographic approach in the Paraná Basin – Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **426**:159–169.

Christiano-de-Souza I.C. & Ricardi-Branco F.S. 2013. Swamp flora changes through the Pennsylvanian Early Permian Interval in the Gondwana Floristic Province of the Brazilian Portion of the Paraná Basin. *Bull. - N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.*, **60**:66–69.

Christiano-de-Souza I.C. 2011. Nova abordagem para os Estudos Paleobotânicos Neopaleozóicos da Borda Leste na Porção Brasileira da Bacia do Paraná Utilizando Sistemas de Informação Geográfica. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 103 pp.

Christiano-de-Souza I.C., Ricardi-Branco F.S., Silva A.M., El-Dash L.G., Faria R.S. 2014. New approach for the study of paleofloras using geographical information systems applied to Glossopteris Flora. *Braz. J. Geol.*, **44**:681–689.



Christiano-de-Souza I.C., Ricardi-Branco F.S., Vargas Y.L. 2012. Permian bryophytes of Western Gondwanaland from the Paraná Basin in Brazil. *Palaeontol. (London)*, **55**:229–241.

Crowell J.C. 1978. Gondwana glaciation, cyclothems, continental positioning, and climate change. *American Journal of Science*, **278**:1345–1372.

DiMichele W.A. & Hook R.W. 1992, Paleozoic terrestrial ecosystems. *In*: Behrensmeyer, A.K., *et al.*, eds., *Terrestrial ecosystems through time: Evolutionary paleoecology of terrestrial plants and animals*: Chicago, Illinois, University of Chicago Press, p.: 205–325.

DiMichele W.A., Gastaldo R.A., Pfefferkorn H.W. 2005. Plant biodiversity partitioning in the Late Carboniferous and Early Permian and its implications for ecosystem assembly, *Proceedings of the California Academy of Sciences*, **56**:32-49

Eyles C.H., Eyles N., França A.B. 1993. Glaciation and tectonics in active intracratonic basin: the Late Paleozoic Itararé Group, Paraná Basin, Brazil. *Sedimentol.*, **40**:1–25.

Fanton J.C.M., Ricardi-Branco F.S., Rohn R. 2006. Reinvestigação da conífera permiana *Krauselcladus* (Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil): novas interpretações morfológicas e anatômicas. *Rev. Bras. Paleontol.*, **9**:221–234.

Faria R.S. 2013. Lenhos fósseis das formações Irati e Teresina no estado de São Paulo: novos dados. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. 139 pp.

Faria R.S., Ricardi-Branco F.S., Giannini P.C., Sawakuchi A.O., Del Ben L.E.V. 2009. Lycopodiopsis derbyi Renault from the Corumbataí Formation in the state of São Paulo (Guadalupian of Paraná Basin, Southern Brazil): New data from compressed silicified stems. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **158**:180–192.

Fielding C.R., Frank T.D., Isbell J.L. 2008. The late Paleozoic ice age – A review of current understanding and synthesis of global climate patterns. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.*, **441**:343–354.

França A.B. & Potter P.E., 1988. Estratigrafia, ambiente de deposicional e análise de reservatórios do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná, (Parte I). *Bol. Geociênc. Petrobrás*, **2**:147–191.

Frey, A., 2009. *Syllabus of Plants Families. Bryophytes and Seedless Vascular Plants*. 13<sup>a</sup> Ed. Gebruder Berntraegen, 419 pp.

Gesicki A.L.D., Ricominni C., Boggiani P.C., Coimbra A.M. 1996. Evidências de avanço glacial na Formação Aquidauana (Neopaleozóico da Bacia do Paraná) no estado de Mato Grosso do Sul. *In*: 39<sup>o</sup> Congresso Brasileiro De Geologia - Sociedade Brasileira de Geologia, *Anais*, 1, p.: 124–127.

Gordon Jr. M., 1947. Classificação das formações gondwanicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM*, **38**:1–20.

Guerra-Sommer, M. & Cazzulo-Klepzig, M. 2000. The Triassic Taphoflora from Paraná Basin, Southern Brazil: An overview. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(3):481-485.

Heckel P.H. 2008. Pennsylvanian cyclothems in Midcontinent North America as far-field effects of waxing and waning of Gondwana ice sheets. *In*: Fielding C.R., Frank T.D. Isbell J.L. (Eds) *Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space*. Geological Society of America Special Paper, **441**:275-289.

Holz M., Souza P.A., Iannuzzi R. 2008. Sequence stratigraphy and biostratigraphy of the Late Carboniferous to Early Permian glacial succession (Itararé subgroup) at the eastern-southeastern margin of the Paraná Basin, Brazil *In*: Fielding C.R., Frank T.D. Isbell J.L. (eds.) *Resolving the Late Paleozoic Ice Age in Time and Space*. Geological Society of America Special Paper, **441**:115-129.

Lavina E.L. 1991. Geologia sedimentar e paleogeografia do Neopermiano e Eotriássico (intervalo Kazaniano – Citiano) da Bacia do Paraná. (Tese de Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 332 pp.

Legendre P. & Legendre L. 1998. *Numerical ecology*, Elsevier Science BV, Amsterdam, 853 p.

Limarino C.O., Césari S.N., Spalletti L.A., Taboada A.C., Isbell J.L.I., Geuna S., Gulbranson E.L. 2014. A paleoclimatic review of southern South America during the late Paleozoic: a record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Res.*, **25**:1396–1421.

Medeiros R.A., Thomaz F., Roncarati H. 1972. *Projeto Rio Bonito – Fase 1, Petrobras/Desul*, 24 pp. (relatório interno n° 402).

Medeiros R.A., Thomaz F., Roncarati H. 1972. *Projeto Rio Bonito – Fase 1, Petrobras/Desul*, 24 pp. (relatório interno n° 402).

Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 225 pp.

Milani E.J. 2004. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná *In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (eds.) Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Ed. Becca, São Paulo, p.265-279.

Milani E.J., De Wit M.J. 2008. Correlations between the classic Paraná and Cape-Karoo sequences of South America and southern Africa and their basin infills flanking the Gondwanides: du Toit revisited. *Geol. Soc. Lond., Spec. Publ.*, **294**:319–342.

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 - Cartas Estratigráficas*, **15**(2):265–287.

Montañez I.P., Tabor J.N., Niemeier D., DiMichele W.A., Frank T.D., Fielding C.R., Isbell J.L., Birgenheier L.P., Rygel M.C. 2007. CO<sub>2</sub> - forced climate and vegetation instability during late Paleozoic deglaciation. *Science*, **315**: 87-91.

Mussa D. 1982. Lignitafloras permianas da Bacia do Paraná, Brasil (estados de São Paulo e Santa Catarina). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 463 pp.

Parrish J.M., Parrish J.T., Ziegler A.M. 1986. Permian-Triassic paleogeography and paleoclimatology and implications for Therapsid distribution. *In: Hotton N., MacLean P.D., Roth J.J., Roth E.C. (eds.) The biology and ecology of mammal-like reptiles.* Smithsonian Press, Washington D.C., p.:109–132.

Poulsen C.J., Pollard D., Montanez I.P. and Rowley D.B. 2007. Late Paleozoic tropical climate response to Gondwana deglaciation, *Geology*, **35**:771-774.

Ricardi-Branco F. 1997. Taoflora Gondwanica do Membro Triunfo Formação Rio Bonito (Eopermiano), no município de Figueira, Paraná. , Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 182 p.

Ricardi-Branco F., Bernardes-de-Oliveira M.E., Garcia, J. 1999. Novos elementos tafomorfológicos da Formação Assistência, Subgrupo Irati, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Provenientes de Angatuba (SP), Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos*, **4**(6):85-95

Ricardi-Branco F.S. 2008. Venezuelan paleoflora of the Pennsylvanian-Early Permian: Phytogeographical relationships to central and western equatorial Pangea. *Gondwana Res.*, **14**(3):297-305

Ricardi-Branco F.S., Costa J.S., Christiano-de-Souza I.C., Rohn R., Longin M., Faria R.S. 2013. Bryophytes associated with Pennsylvanian Periglacial Environments in Southern Gondwana (São Paulo State, Itararé Group, Paraná Basin, Brazil). *N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.*, **60**:343–347.

Rocha-Campos A.C. 1967. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. *In: Bigarella J.J. (Ed.), Problems in Brazilian Devonian geology.* Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.: 27–102.

Rohn R. 1988. Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, Estado do Paraná). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil. 225 pp.

Rohn R. 1994. Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 250 pp.

Rowley D.B., Raymond A., Parrish J.T., Lottes A.L., Scotese C.R., Ziegler A.M. 1985. Carboniferous paleogeographic, phytogeographic, and paleoclimatic reconstructions. *International Journal of Coal Geology*, **5**:7-42.

Santos P.R., Campos A.C.R., Canuto J.R. 1996. Patterns of late Paleozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **125**:165–184.

Schneider R.L., Muhlmann H., Tommasi E., Medeiros R.A., Daemon R.F., Nogueira A.A., 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia Porto Alegre, *Anais*, p.:41–65.

Soares P.C. & Landim P.M.B. 1973. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: 27º Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju, *Anais* **1**:107–121.

Soares P.C. 1972. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. *Anais da Academia de Ciências*. **44**:333–342.

Taylor T.N., Taylor E.L., Krings M. 2009. *Paleobotany. The biology and Evolution of Fossil Plants*. Elsevier Inc., 1252 pp.

Torsvik T.H. & Cocks L.R.M. 2013. Gondwana from top to base in space and time. *Gondwana Res.*, **24**(3–4):999–1030.

Veevers J.J. & Powell C.M. 1986. Late Paleozoic glacial episodes in Gondwanaland reflected in transgressive-regressive depositional sequences in Euramerica. *Geological Society of America Bulletin*, **98**(4):475-487

Veevers J.J. 2004. Gondwanaland from 650–500 Ma assembly through 320 Ma merger in Pangea to 185–100 Ma breakup: supercontinental tectonics via stratigraphy and radiometric dating. *Earth-Science Reviews*, **68**:1–132

White I. C. 1908. *Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra no Brasil*. DNPM, Rio de Janeiro, 617 p. (edição fac-similar)

Willis K.J. & McElwain J.C. 2002. *The evolution of plants*. Oxford University Press. 378 pp.

## 9. Anexos

Relação das referências utilizadas para a montagem da base de dados

Alarcon, C.M. 1988. Licófitas da Formação Corumbataí, Grupo Passa Dois, Neopermiano, Bacia do Paraná, na região de Artêmis, município de Piracicaba, sp – Brasil. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas – Universidade de Guarulhos, Guarulhos, São Paulo, 97 pp.

Almeida F.F.M & Barbosa, O. 1953. Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro do estado de São Paulo, Brasil. *Boletim da Divisão Geológica e Mineralógica*, **143**:96.

Almeida F.F.M. 1954. Geologia do Centro Oeste Mato-grossense. *Boletim DNPM - Divisão de Geologia e Mineralogia*, 150, 97 pp.

Amaral P.G.C., Bernardes-De-Oliveira M.E., Ricardi-Branco F. Boutin, J. 2004. Presencia de Bryopsida fértil en los niveles Westfalianos del subgrup Itararé, Cuenca de Paraná, Brasil. *Tropical Bryology* **25**:101-110.

Amaral S.E. 1971. Geologia e petrologia da Formação Irati; Permiano no estado de São Paulo. *Boletim Instituto Geociências e Astronomia - USP*. **2**:3-82.

Andreis R. R., Klepzig M., Guerra-Sommer M., Zimmermann L. 1880. Considerações Sobre um Afloramento Fossilífero do Grupo Itararé: Fazenda Goulart, Francisquinho, Município de São Jerônimo, RS. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **11**:31-189.

Arber E.A.N. 1905. Catalogue of the fossil Plants of the *Glossopteris* Flora. *British Museum London* p. 159-162

Bernardes-de-Oliveira M.E.C & Alarcon C.M. 1999. Licófitas neopaleozóicas na Bacia do Paraná (Brasil) I – Avaliação Estratigráfica geral com ênfase em *Lycopodiopsis derbyi* Renault. *Revista Universidade de Guarulhos*, **4**(1):35–49.

Bernardes-De-Oliveira M.E.C. & Carvalho R.G. 1981. Frutificações femininas de *Glossopteridófitas* da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, estado de Santa Catarina, Brasil

*IN: Anais do II Congresso Latinoamericano de Paleontologia. Porto Alegre Ed. Yvone T. Sanguinetti. 181-200 p.*

Bernardes-de-Oliveira M.E.C. & Pontes C.E.S. 1976. Algumas observações sobre cordaitófitas da Formação Rio Bonito, Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil *In: Primer Congreso Geológico Chileno, Santiago. Actas. Tomo III.*

Bernardes-De-Oliveira M.E.C. & Yoshida R. 1981. Coniferofitas da "Tafloflora Irapuá", Formação Rio Bonito, Grupo Tubarao em Santa Catarina. *Boletim de la Asociacion Latinoamericana de Paleobotanicos y Palinologos*, **8**:39-55.

Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 1977. Tafloflora Eogondvânica da Camada Irapuá, Formação Rio Bonito (Grupo Tubarão) nos arredores de Criciúma. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 301 p., 36 est., (2 vol.)

Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 1978 Frutificações de Pteridospermoformas Eogondwânicas da camada Irapua, Formação Rio Bonito, nos arredores de Criciuma, SC. *In: Congresso Brasileiro de Geologia SBG*, 30, v.2, p.986-1001

Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 1980. Nouveau Genre Néomariopteridien Fertile de La Flore à Glossopteris du Bassin de Paraná au Brésil. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **11**:113-119

Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 1980a. Tafloflora Eogondvânica da Formação Rio Bonito ("Camada Irapuá"), Bacia do Paraná, Brasil. *In: 2º Congresso Argentino De Paleontologia Y Bioestratigrafia, 1º Congresso Latinoamericano De Paleontologia. Actas. 4*:69-88

Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Castro-Fernandes M.C., Tewari R., Ricardi-Branco F. 2007. Platyspermic seeds from the Early Permian of Paraná Basin, Brazil. *The Palaeobotanist*, **56**:1-19.

Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Ricardi-Branco F., Rösler O. 2000. As estruturas reprodutivas de glossopterídeas na sucessão das taflofloras permianas da Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos*, **5**:62-68.



Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Santos P.R., Saad A.R., Rocha-Campos A.C. 1978. Ocorrência de Plantas Fósseis do Subgrupo Itararé, em Salto, SP. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, 9:57-152.

Bernardes-de-Oliveira-Babinski M.E.C. & Rösler O. 1984. Licófitas de Fluviópolis (Permiano Superior) no Sul do Estado do Paraná. *Paleobotânica e Palinologia na América do Sul – Boletim Instituto de Geociências da USP*, 15:13-150.

Bernardes-de-Oliveira-Babinski M.E.C. 1988. Equisetales Eogondwanicas da "Tafoflora Irapuá", Formação Rio Bonito (Permiano Inferior), em Criciúma, SC, Bacia do Paraná, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 60(1):45-60.

Boardman D.R., Iannuzzi R., Dutra T.L. 2007. Esfenófitas da Formação Rio Bonito (Permiano) na Região de Taió, Santa Catarina, Brasil. *Rev. bras. paleontol.* 10(3):201-211.

Boardman D.R., Iannuzzi R. 2010. Presence of The Genus *Giridia*, Sphenophyte, in the Parana Basin (Lower Permian, Rio Bonito Formation) *Rev. bras. paleontol.* 13(1):5-12

Boardman D.R., Tybusch G.P., Iannuzzi R., Dutra, T.L., Lima, L. 2005. Presença de *Glossopteris browniana* Brogniart em níveis do topo do afloramento Quitéria (Formação Rio Bonito), Rio Grande do Sul, Brasil (Permiano Inferior) *GAEA- Universidade do Vale do Rio dos Sinos*. 1(1):9-17.

Carruthers W. 1869. On the Plant Remains from the Brazilian coal beds with remarks on the genus *Femingites*. *Geol. Mag*, vol VI:151-155.

Castro H.M.F. de. 1985. Sobre a ocorrência de *Cordaicarpus nitens* em sedimentos da Formação Rio Bonito no estado do Paraná. In: Campos, D.A. ed. *Coletânea de trabalhos paleontológicos*. Brasília, MME. Rio de Janeiro, DNPM. p. 551-552

Cazzulo-Klepzig & Correia, N.R. 1981. Contribuição ao estudo da tafoflora permiana do Membro Serrinha na Serra do Cadeado, estado do Paraná, Brasil. IN: Anais do II Congresso Latinoamericano de Paleontologia. Porto Alegre Ed. Yvone T. Sanguinetti. p. 233-247

Cazzulo-Klepzig M; Guerra-Sommer, M., Marques-Toigo, M. 1980. Estudos macro e microflorísticos do Grupo Itararé (Bacia do Paraná), Rio Grande do Sul *In*: 31 Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, **5**:3027-3090.

Chaloner W, Leistikow K.V., Hill A. 1979. *Brasilodendron* gen. nov. and *B. pedroanum* (Carr) comb. nov., Permian lycopod from Brazil. *Review of Paleobotany and Palinology*, **28**(2):117-136.

Christiano-de-Souza I.C. 2008. Briófitas e Carófitas da Formação Teresina da Bacia do Paraná, Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 103 p.

Christiano-de-Souza I.C., Ricardi-Branco F.S., Vargas Y.L. 2012. Permian bryophytes of Western Gondwanaland from the Paraná Basin in Brazil. *Palaeontol. (London)*, **55**:229–241.

Derby O. A. 1915. Stem structure of *Tietea singularis*. *American Journal of Science*. **189**:251-260

Dias M.E.R; Guerra-Sommer M. 1993. Integração entre dados Mega e Microflorísticos na jazida do Faxinal, Rio Grande do Sul: Estudos Preliminares *In*: Boletim de Resumos do XIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, p. 100.

Dohms M.H. 1977. Revisão Crítica das Citações de Flora *Glossopteris* para o Rio Grande do Sul. *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS* **7**:145-170.

Dolianiti E.A. & Millan, J.H. 1973. Novo Afloramento de Vegetais Gondwanicos no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **45**(2):653-654.

Dolianiti E.A. 1946. Notícias sobre novas formas na flora de *Glossopteris* do Brasil Meridional *Div. Geol. Miner. Notas Preliminares*. N°**34**.

Dolianiti E.A. 1948. Paleobotânica no Brasil. *Boletim de Geologia e Mineralogia do DNPM*. N° 123

- Dolianiti E.A. 1953. A flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. I. O Gênero *Glossopteris*. *Notas preliminares e Estudos. DNPM*. **62**:1-3
- Dolianiti E.A. 1953. Considerações sobre a presença de *Gondwanidium Plantianum* no Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **25**(2):127-132
- Dolianiti E.A. 1956. Um verticilo de *Glossopteris* no Gondwana do Estado de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 28(1):115-118
- Dolianiti E.A. 1971. Flora do Gondwana Inferior em Santa Catarina. VII- O Gênero *Ottokaria* *santa Catarina* n. sp. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43**:337-342.
- Dolianiti E.A. 1977. *Chiropteris reniformis* Kawasaki no Gondwana do Sul do Brasil. *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS*, **7**:23-26.
- Fanton J.C.M., Ricardi-Branco F.S., Ricardi M.T., Rohn R. 2006. Reinvestigação da Conífera Permiana *Krauselcladus* (Formação Teresina, Bacia do Paraná, Brasil): Novas Interpretações Morfológicas e Anatômicas *Rev. bras. paleontol.* **9**(2):221-234
- Faria R.S. & Ricardi-Branco F. 2009. *Leonardosia langei* Sommer (Charophyta, Porocharaceae) from Corumbataí Formation (Guadalupian), Piracicaba, SP, Brazil: First register of an antheridium and of corticated thalli. *Ameghiniana*, 46:49-57.
- Faria R.S. & Ricardi-Branco F. 2010 *Lepidophylloides corumbataensis* sp. nov. from the Guadalupian in the Paraná Basin, southern Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* **160**:135–142
- Faria R.S., Ricardi-Branco F., Christiano-de-Souza, I. 2013. Permian organic oospores from southern Brazil. *Palaeontology*, **56**:797-805.
- Faria R.S., Ricardi-Branco F., Giannini P.C. Sawakuchi A.O., Del Ben L.E.V. 2009. *Lycopodiopsis derbyi* Renault from the Corumbataí Formation in the state of São Paulo (Guadalupian of Paraná Basin, Southern Brazil): New data from compressed silicified stems. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **158**:180-192.

Faria R.S., Ricardi-Branco F., Rohn R. 2007. Licófitas Neopermianas da Formação Corumbataí, SP.. *Revista Brasileira de Biociências*, **5**:6-8.

Fittipaldi F.C. & Rösler O. 1978. *Paranocladus? Fallax* (conífera) estudos cuticulares.. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **9**:109-113

Fittipaldi F.C. 1981. A Caracterização cuticular de *Glossopteris communis* Feistmantel, 1876, Formação Rio Bonito (Permiano Inferior), da Bacia do Parana, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 77p.

Florin R. 1940. Die Koniferen des Oberkarbons und des unteren Perms. *Paleontographica Abt. B*, **85**(5):243-363

Fulfaro J.V.A. 1964. Formação Corumbataí nos arredores de Conchas, estado de São Paulo *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **13**:43-53

Guerra-Sommer M. & Bortoluzzi C.A. 1982. Conífera (?) com estrutura epidérmica preservada no Gondwana sul-rio-grandense (Formação Rio Bonito Candiota). *In*: 3 Congresso Brasileiro de Geologi, *Anais*. **4**:1235-1245.

Guerra-Sommer M. & Cazzulo-Klepzig M. 1981. A tafloira do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul - Sua Importância bioestratigráfica no Gondwana Sul-Brasileiro *In*: II Congresso Latinoamericano de Paleontologia, *Anais*, 129-140 p.

Guerra-Sommer M. 1977. *Damudoxylon* Maheshwari, 1972, um Gênero Ocorrente no Gondwana do Brasil. *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS*, **7**:131-144 .

Guerra-Sommer M. 1978. Ocorrência de Gênero Nórdico de Conífera no Gondwana Sul Brasileiro. *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS*, **10**:65-76.

Guerra-Sommer M. 1980. Contribuição ao Estudo das Coníferas do Gondwana Brasileiro. *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS* ,**13**:185-188.

Guerra-Sommer M. 1982. Coníferas (?) em Associações Hígro-Mesófilas no Gondwana Brasileiro *In*: 3º Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, **4**:1246-1251.

Guerra-Sommer M. 1989. *Ruffloria* Meyen em sedimentos Gondwanicos sulriograndenses (Formação Rio Bonito, Supergrupo Tubarão). *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS*, **22**: 129-184.

Guerra-Sommer M. 1995. Fitofagia em Glossopterídea na Paleoflora da Mina de Faxinal (Formação Rio Bonito, Artinskiano, Bacia do Paraná) *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS* **22**:1-2.

Guerra-Sommer M., Cazzulo-Klepzig, M., Marques-Toigo, M. 1995. *Gondwanostachyaceae* (Equisetopsida) no Gondwana Sul Brasileiro (Formação Rio Bonito, Artinskiano, Bacia do Paraná) *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS* **22**:1-2.

Guerra-Sommer M., Klepzig M., Marques-Toigo M. 1980. Revisão Fitoestratigráfica do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul. III - Área de Faxinal, Município de Guaíba, Rio Grande do Sul. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **11**:31-189.

Guerra-Sommer M., Pasqualini M., Abrahão D. 1986. Considerações Sobre o Hábito de *Botrychiopsis Plantiana* (CARRUTHERS) Archangelsky e Arrondo. *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS* **18**:11-21.

Guerra-Sommer M.; Rodrigues C.G.; David C.A.R.; Oliveira L.M. 1981. Análise do conteúdo paleobotânico de pelitos fossilíferos (Formação Rio Bonito) da Área de Ribeirão Novo, Paraná. *In: Simpósio Regional de Geologia 3, Atas*, **2**:80-189.

Iannuzzi R. & Rohn R. 1995. Discussão sobre a presença do gênero *Glossopteris* na taoflora de Cerquilha (Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Estado de São Paulo) e seu possível significado biocronoestratigráfico *In: XIV Congresso Brasileiro de Paleontologia, Uberaba, Atas*, p. 62-63.

Iannuzzi R., Scherer C.M.S., Souza P.A., Holz M., Caravaca G., Adami-Rodrigues K., Tybusch G.P., Souza J.M., Smaniotto L.P., Fischer T.V., Silveira A.S., Lykawka R., Boardman D.R., Barboza E.G. 2006. Afloramento Morro do Papaléo, Mariana Pimentel, RS : Registro ímpar da sucessão sedimentar e florística pós-glacial do Paleozóico da Bacia do Paraná *In: Winge M., Schobbenhaus C., Berbert-Born M., Queiroz E.T., Campos D.A., Souza*

C.R.G., Fernandes A.C.S. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, Volume II, CPRM, p. 321-336.

Jasper A. & Guerra-Sommer M. 1998. Licófitas cormofíticas arbórescentes do Afloramento Quitéria Formação Rio Bonito (Bacia do Paraná, RS) *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS* **25**(1):43-60.

Jasper A., Guerra-Sommer M., Cazullo-Klepzig M., Menegati R. 2003. The *Botrichiopsis* genus and its Biostratigraphic Implications in Southern Parana Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **75**(4):513-535.

Jasper A., Guerra-Sommer M., Menegati R., Cazullo-Klepzig M., Ricardi-Branco F., Salvi J. 2008. Afloramento Quitéria, Encruzilhada do Sul, RS; Sedimentos lagunares com singular associação fitofossilífera da Formação Rio Bonito *In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; (Edit.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*.

Jasper A., Ricardi-Branco F., Guerra-Sommer M. 2005. *Coricladus quiteriensis* gen. et sp. nov., a new conifer in Southern-Brazil Gondwana (Lower Permian, Paraná Basin) *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **77**(1):157-168.

Klepzig M; Guerra-Sommer M; Bossi G. E. 1980. Revisão Fitoestratigráfica do Grupo Itararé no Rio Grande do Sul. I. Acampamento Velho, Cambaí Grande, Budó e Morro do Papaléo. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **11**:31-189

Krausel R. & Dolianiti E. 1943. Gymnospernholzer aus den Palaeozoikum Brasilien. *Paleographica Abt. B* **104**:115-137

Landim P.M.B. 1970. O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí São Paulo. *Boletim DNPM - Divisão de Geologia e Mineralogia*. **252**:68

Lejal-Nicol A. & Bernardes-De-Oliveira M.E.C. 1979. Sur une nouvelle espèce de *Cyclodendron* Krausel 1928 du Permien Inférieur de l'état de Santa Catarina au Brésil. *In: 104 Congrès National des Sociétés Savantes, Comptes Rendus Sciences*, 5:11-35

- Lundqvist G. 1919. Fossile Pflanzen der Glossopteris Flora aus Brasilien. *Kungl Sv Vet Handl.* **60**:1-36.
- Maack R. 1947. *Lycopodiopsis derbyi* Renault, Documento da Idade Paleozoica da Camadas Teresina do Brasil Meridional. *Arquivos de Biologia e Tecnologia* **II**(8): 207 p.
- Maniero J. 1951. *Parataxoptys brasiliana*, gen. n. sp. n. Madeira nova do Permiano Inferior. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **23**(1):105-111
- 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 Paleontológicos e Bioestratigráficos. *Revista IG.* **17**(2):33-54.
- Martins E.A. & Sena Sobrinho. 1951. *Lycopodiopsis derbyi* (Renault) e *Glossopteris sp* no Estrada Nova (Permo - Triássico) do Rio Grande do Sul. *Anais da Academia Brasileira Ciências*, **23**(3): 323-326
- Mendes J. C. 1944. Posição Estratigráfica de *Lycopodiopsis* Renault. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro* **16**(2):137-138
- Merlotti S. 1989. Ocorrência de um fragmento de caule tipo *Cordaites* no Gondwana do Brasil In: XI Congresso Brasileiro de Paleontologia, *Anais*, p.151-161.
- Merlotti S. 1997. *Retemedulloxylon*, novo lenho fóssil com medula diafragmada da Formação Rio Bonito, Estado de Santa Catarina, Brasil In: XV Congresso Brasileiro de Paleontologia. *Boletim de Resumos*, p. 31
- Merlotti S. 1998. *Mussaeoxylon*, novo táxon gimnospérmico do Gondwana Brasileiro In: XV Congresso Brasileiro de Paleontologia. *Boletim de Resumos* **46-47**:45-54.
- Merlotti S. 1999. Contramolde Medular em Conexão Orgânica com Fragmentos Lenhosos de *Retemedulloxylon* da Formação Rio Bonito (Eopermiano da Bacia do Paraná, Santa Catarina, Brasil). *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS* **26**(2):73-78
- Merlotti S. 1999. Um novo lenho gimnospérmico da Formação Rio Bonito, SC, Brasil - *Aterradoxylon solidum* gen. et sp. nov. *Pesquisas*, **26**(2):79-89.

Mezzallira S (Org.) 1966. Os fósseis do Estado de São Paulo, *Instituto Geográfico e Geológico, Boletim* **45**:14-77p

Mezzallira S (Org.). 1981. *Léxico Estratigráfico do estado de São Paulo*. Governo do Estado de São Paulo Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais do Instituto Geológico. 161 p.

Millan J.H. & Dolianiti E. 1977. Esfenófitas do Eogondwana de Cerquillo, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **49**(3):469-477

Millan J.H. & Dolianiti E.A. 1979. Esfenófitas do Eogondwana de Cerquillo, São Paulo (Bacia do Paraná). 2 - Gênero *Phyllothea*. *Boletim Associação Latinoamericana de Paleobotânica e Palinologia* 6:1-4

Millan J.H. & Dolianiti E.A. 1980. Esfenófitas do Eogondwana de Cerquillo, São Paulo (Bacia do Paraná). 2 - Gênero *Stephanophyllites* In: 2º Congresso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafia, 1º Congresso Latinoamericano De Paleontología. Buenos Aires, Argentina, *Actas*, **4**:113-127

Millan J.H. & Dolianiti E.A. 1980. Sobre um novo "Fertiliger" no Eogondwana de Cerquillo, São Paulo, Bacia do Paraná, Brasil In: 2 Congresso Argentino de Palentologia Y Bioestratigrafia Y 1 Congresso Latino-americano de Paleontologia. *Actas*. Buenos Aires. **4**:129-137.

Millan J.H. & Dolianiti E.A. 1981. Cordaitales do Eogondwâna de Cerquillo, São Paulo, (Bacia do Paraná). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **53**(4):807-815.

Millan J.H. & Dolianiti E.A. 1982. Sobre a presença do Gênero *Rubidgea* no Eogondwana de Cerquillo, Subgrupo Itararé de São Paulo. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **13**:43-143.

Millan J.H. 1965. Considerações sobre as sementes do Carbonífero do Brasil. *Notas preliminares e Estudos. DNPM*, **123**:3-18.



Millan J.H. 1969. Sobre *Plumsteadiella* um novo vegetal comum ao Gondwana Inferior do Brasil e da África do Sul. *Plumsteadiella apedicellata* sp. Nov. *Boletim do Museu Nacional, Nova Serie Geologia*, **34**:1-8.

Millan J.H. 1969. The Gymnospermic and platyspermic seeds of the *Glossopteris* Flora from Brazil and correlated foreign regions. In: Symposium - Gondwana Stratigraphy, *Proceedings*. **2**:107-122.

Millan J.H. 1971. Ocorrência de Folhas de *Noeggerathiopsis*, Presas a um eixo Caulinar, no Gondwana do Estado de Santa Catarina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **43**:342-350.

Millan J.H. 1972. Macroflórula Carbonífera de Monte Mor, Estado de São Paulo, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 154 (2 vol.)

Millan J.H. 1974. Sementes Platispermicas da Bacia do Paraná e demais Regiões do Gondwana. Tese de Livre Docência, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Millan J.H. 1974. Sobre as coniferopsidas da florula gonwanica de Monte Mor, Estado de São Paulo. *Ameghiniana*, **11** (2):124-134.

Millan J.H. 1975. Tafloflorula de Monte Mor no Estado de Sao Paulo: seus elementos e seu significado no Gondwana Inferior do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* **5**(1):1-4

Millan J.H. 1977. Sementes Platispermicas da florula gondwanica de Monte Mor, Estado de São Paulo, Brasil. *Ameghiniana*, **14**(1-4):33-44.

Millan J.H. 1977. Sementes Platispérmicas do Eogondwana de Cerquilha, São Paulo (Bacia do Paraná). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **49**(4):581-595.

Millan J.H. 1979. *Rhacopteris* e *Botrychiopsis* no Eogondwana de Monte Mor, Subgrupo Itararé do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **51**(1):109-120.

- Millan J.H. 1980. *Lepidodendrales* do Eogondwana de Monte Mor, SP, Base do Subgrupo Itararé. 1 - *Brasilodendron pedroanum* (Carruthers) Chaloner, Leistikow & Hill, 1979. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **11**:31-189
- Millan J.H. 1981. Sobre a Presença das Sphenophyllales no Eogondwana de Monte Mor, Subgrupo Itararé do Estado de São Paulo In: II Congresso Latinoamericano de Paleontologia. *Anais*, p.: 113-123.
- Millan J.H. 1987. Descoberta de frondes de *Botrychiopsis plantiana* no Eogondwana do município de Itapeva, Subgrupo Itararé do Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, *Anais*. **2**:809-829 .
- Millan J.H. 1987. Os pisos florísticos do Carvão do Subgrupo Itararé no Estado de São Paulo e suas Implicações Congresso Brasileiro de Paleontologia, *Anais*. p.: 832-857.
- Millan J.H. 1989. Sobre a presença de formas foliares mais primitivas de Glossopterídeas (Gênero *Gangamopteris*) no município de Cerquilha, Carvão do Eogondwana do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **61**(2):203-213.
- Millan J.H. 1989. Sobre as Sphenopsida da Tafoflórula do Eogondwana do Município de Itapeva, Carvão do Subgrupo Itararé do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **61**(4):479.
- Millan J.H. 1991. Novas ocorrências de Sementes Platispérmicas nos Municípios de Itapeva, SP, e Cerquilha, SP, em tafofloras do Grupo Tubarão, Eogondwana da Bacia do Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **63**(1):96.
- Millan J.H. 1991. Sobre a Sphenopsida de tafoflora associada a camadas carbonosas do Subgrupo Itararé, Eogondwana da Bacia do Paraná, no Município de Itapeva, SP, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **63**(3):229-245.
- Millan J.H. 1993. Sobre as cordaitales da Tafoflora Eogondwânica de Itapeva, SP, Subgrupo Itararé da Bacia do Paraná, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **65**(2): 213.
- Millan J.H. 1994. Esquema de Identificação e classificação das sementes gondwânicas: reatualização e análise crítica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **66**(4): 475-489.

- Millan J.H. 1995. Nova ocorrência de sementes platispérmicas em Tafoflora associadas a Camadas Carbonosas do Grupo Tubarão, Eogondwana da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, **67**(1):117-128.
- Millan J.H. 1995. Ocorrências de *Nothorhacopteris* na Tafoflora de Itapeva, SP, Subgrupo Itararé (C) da Bacia do Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **67**(3):384.
- Millan J.H., Barcia A., Dolianiti E.A. 1982. Uma nova tafoflorula no Eogondwana de Itapeva – SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. **54**(4):753.
- Millan J.H., Dolianiti E., Barcia E., Andrade A. 1982. Uma nova tafoflorula no Eogondwana de Cerquilha, Subgrupo Itararé. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **54**(2):419-428.
- Millan J.H., Dolianiti E.A., Barcia E., Andrade E. 1980. Sobre uma nova tafoflórula na lapa do Carvão de Mato Seco, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **52**(3):555-558.
- Mune S.E. & Bernardes-de-Oliveira M.E.C. 2007. Revisão da tafoflora interglacial Neocarbonífera de Monte Mor, SP, (Subgrupo Itararé), nordeste da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**(3):427-444.
- Mune S.E. 2005. Tafoflora Interglacial Neocarbonífera do Sítio Volpe, Município de Monte Mor (SP), Subgrupo Itararé, Nordeste da Bacia do Paraná: Revisão e Complementação. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo. 137 pp.
- Mussa D. 1986. Eustelos Gondwanicos de medulas Diafragmadas e sua Posição Estratigráfica. *Boletim Instituto de Geociências da USP Série Científica*, **17**:1-147.
- Oliveira E. 1927. Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná, *Monografia Divisão Geol. Mineral Brasi.*, **6**:1-1720.
- Pasqualini M., Cunha A. S., Guerra-Sommer M., Picolli A.E.M. 1986. Análise Paleoecológica de Sequências Paleoflorísticas na área de Mariana Pimentel - Guaíba, RS *In: XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia, Goiânia, Anais*, **1**:556-569.

Pereira-da-Silva L & Ianuzzi R. 2000. *Cheirophyllum specular* Cesari & Cuneo e ?*Dicranophyllum* sp., Novas formas afins as Ginkgophytas na Sequência Gondwanica Neopaleozóica do Sul do Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos - Número Especial*, **5**:40-43.

Perinotto J.A. & Rösler O. 1984. Glossopterídeas de Fluviópolis (Permiano Superior) no sul do estado do Paraná, *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **15**:90-96.

Perinotto J.A. & Rösler O. 1987. Raízes fosseis na Lapa do Carvão do Bairro Aliança (Cerquilha-SP). *In: X Congresso Brasileiro de Paleontologia, Anais* **2**:238-251.

Perinotto, J.A. & Rösler, O. 1987. As Raízes fósseis da Lapa do Carvão de Bairro Aliança (Cerquilha - SP) e Mato Seco (Cesário Lange - SP) *In: X Congresso Brasileiro de Paleontologia, Anais*, 237-251.

Rao H.S. 1940. On the Anatomy of *Lycopodiopsis* Derby Renault with remarks on the Southern Paleozoic Lycopods. *The Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, **XI Sect. B(5)**:197-217, 2 est.

Read C.B. 1941. Plantas fósseis do Neopaleozoico do Paraná e Santa Catarina. *Div. Geol. Miner. DNPM. Monografias*, **12**:1-102.

Rego L. F. M. 1935. A flora das camadas superiores do systema de Sta. Catharina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **7**:251-254.

Renault B. 1890. Sur une nouvelle lycopodiaceé houillere (*Lycopodiopsis derbyi*). *Compte Rendus hebdomadaves de Séances de l'Academie de Sciences*, **110(15)**: 869-871.

Ricardi-Branco F. & Bernardes-De-Oliveira M.E. 2000. *Gangamopteris roesleri* sp nov da Tafoflora Eoperminana de Cerquilha (SP), Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos - Número Especial*. **5**:44-48.

Ricardi-Branco F. & Rosler O. 2004. The Paleoflora of Figueira in the Context of the Neopaleozoic of the Paraná Basin, Brazil. *Terrae*, **1(1)**:44-51

Ricardi-Branco F. 1997. Tafoflora Gondwanica do Membro Triunfo Formação Rio Bonito (Eopermiano), no município de Figueira, Paraná. , Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 182 p.

Ricardi-Branco F., & Rösler O. 2013. Early Permian conifers *Paranocladus* and *Buriadia* of Southern Brazil. *Terrae*, **10**:3-14.

Ricardi-Branco F., Bernardes-de-Oliveira M.E., Amaral P.G.C. 1999. Levantamento da composição e sucessão paleoflorística do Neocarbonífero-Eopermiano, Grupo Tubarão no estado de São Paulo. I. Protoglossopterídeas e Glossopterídeas das camadas hulhíferas de Cerquilho, SP *In: XVI Congresso Brasileiro de Paleontologia, Boletins de Resumos*. p.: 87-88.

Ricardi-Branco F., Bernardes-De-Oliveira M.E.C. Garcia J. 1999. Novos elementos tafoflorísticos da Fm. Assistência, Subgrupo Irati, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Provenientes de Angatuba (SP), Brasil *In: XVI Congresso Brasileiro de Paleontologia, Crato. Boletins de Resumos*, 88-89.

Ricardi-Branco F., Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Garcia J. 1999. Novos elementos tafoflorísticos da Fm. Assistência, Subgrupo Irati, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Provenientes de Angatuba (SP), Brasil. *Revista Universidade de Guarulhos*, **IV**(5):85-95.

Ricardi-Branco F., Caires E.T., Silva A.M. 2008. Levantamento de ocorrências fósseis nas pedreiras de calcário do Subgrupo Irati no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **38**(1):78-86.

Ricardi-Branco F., Faria R.S., Jasper A., Guerra-Sommer M. 2011. *Hepaticites iporangae* n. sp., Rio Bonito Formation, Early Permian (Sakmarian), Paraná Basin, Brazil, Western Gondwana. *Journal of Paleontology*, **85**:360-368.

Ricardi-Branco F.S. & Ricardi M.T. 2003. Licófitas da Formação Rio Bonito (Permiano Inferior, Bacia do Paraná), Nordeste do Estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **6**:19-28.

Ricardi-Branco F.S., Costa J.S., Christiano-de-Souza I.C., Rohn R., Longin M., Faria R.S. 2013. Bryophytes associated with Pennsylvanian Periglacial Environments in Southern

Gondwana (São Paulo State, Itararé Group, Paraná Basin, Brazil). *N. M. Mus. Nat. Hist. Sci.*, **60**:343–347.

Rigby J.F. 1969. (Rhodea) *Criciumana* sp. nov. a new plant from the Tubarão Group of Brazil. *Boletim Paranaense de Geociências*, **27**:111-122.

Rigby J.F. 1972a. The Notocalamitaceae, a new family of Upper Paleozoic Equisetaleans. *The Palaeobotanist*, **19**(2):161-163.

Rigby J.F. 1972b. The Upper Paleozoic Flora at Lauro Muller, Santa Catarina, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **44**(Suplemento):279-293.

Rocha-Campos A.C. & Rösler O. 1978. Late Paleozoic Faunal and Floral Successions in the Paraná Basin, Southeastern Brazil. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **9**:1-16

Roesler G.A., Iannuzzi R., Boardman D.R., Baroni C.L. 2008. Uma nova espécie de *Phyllothea brongniart* (Townrow) no Permiano Inferior da Bacia do Paraná, RS. *Gaea - Journal of Geoscience*, **4**:14-23.

Rohn R. & Rösler O. 1986a. Pteridófilas pectopteróides da formação Rio do Rasto no estado do Paraná e da formação estrada nova no estado de São Paulo (Bacia do Paraná, permiano superior). *Boletim Instituto de Geociências da USP Série Científica*, **17**:87-72.

Rohn R. & Rösler O. 1986b. *Schizoneura gondwanensis* Feistmantel da Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano Superior) no estado do Paraná e no norte do Estado de Santa Catarina. *Boletim Instituto de Geociências da USP Série Científica*, **17**:27-34.

Rohn R. & Rösler O. 1986c . Caules de Sphenophyta, da Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim Instituto de Geociências da USP Série Científica*, **17**:1-147.

Rohn R. & Rösler O. 1987. Relações entre a flora permiana do Gondwana e as floras das províncias setentrionais In: X Congresso Brasileiro de Paleontologia, *Anais*. **2**:885-899

Rohn R. & Rösler O. 1989. Folhas dentadas da Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano Superior) e seu possível significado paleoclimático. *Boletim Instituto de Geociências da USP Publicação Especial*, **7**:127–137

Rohn R. & Rösler O. 1989. Novas Ocorrências de Glossopterídeas na Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim Instituto de Geociências da USP Publicação Especial*, **7**:101-125.

Rohn R. & Rösler O. 1989. Novas Ocorrências de Glossopterídeas na Formação Rio do Rasto (Bacia do Paraná, Permiano Superior). *Boletim Instituto de Geociências da USP Publicação Especial*, **7**:101-125

Rohn R. & Rösler O. 1991; Estróbilos de equisetales na Formação Rio do Rasto (Permiano Superior) em Santa Catarina In: XXI Congresso Brasileiro de Paleontologia, São Paulo. *Anais*. p. 17.

Rohn R. 1987. A flora de *Glossopteris* primitiva de Cerquilho Velho, Formação Tiete, Permiano Inferior, Cerquilho, SP, Brasil: Guia de Excursão. *Paleobotânica Latino-americana*, **8**(1):25-30.

Rohn R. 1988. Bioestratigrafia e paleoambientes da Formação Rio do Rasto na borda leste da Bacia do Paraná (Permiano Superior, Estado do Paraná). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil, 225 pp.

Rohn R. 1994. Evolução ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 250 pp.

Rohn R. 1997. Primeiras Glossopterídeas da Formação Rio do Rasto no Estado de São Paulo (Permiano Superior, Bacia do Paraná), Brasil. *Geociências*, **II**(n° especial):76-84.

Rohn R. 2002. Macrofitofósseis do Rio Capivari. *Relatório Final do Projeto de Pesquisa Fapesp 97/03639-8*.

Rohn R., Longhim M., Bernardes-De-Oliveira M.E.C., Navarro G.R.B. 2000. Nova ocorrência fitofossilífera Neocarbonífera-Eopermiana do Subgrupo Itararé, à margem

esquerda do rio Capivari, Município de Tietê, SP, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos*, **5**(nºespecial):57-61.

Rohn R., Pennatti J.R., Iannuzzi R., Rösler O., Czajkowski O., Cavalheiro M.C.T., Mendonca E., Ricardi-Branco F. 1997. Ocorrências de macrofitofósseis nas formações Teresina e Rio do Rasto (Permiano Superior da bacia do Paraná) em Santa Catarina, Brasil. *Revista Universidade Guarulhos*, **2**:49-57.

Rösler O. & Perinotto J.A.J. 1985. Nota sobre a ocorrência de *Nothorhacopteris* sp. em siltitos da porção médio-superior do Subgrupo Itararé em amostra de sub superfície no município de Buri, Estado de São Paulo. *Paleobotânica Latino-americana*, Circular Informativa da ALPP, **7**(1):25.

Rösler O. & Rohn R. 1984. *Sphenophyllum paranaensis* n. sp. da Formação Rio do Rasto (Permiano Superior) de Dorizon, Estado do Paraná. Paleobotânica e Palinologia na América do Sul. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **15**:13-150.

Rösler O. 1972. Flora da Formação Rio Bonito no Estado do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 130 pp.

Rösler O. 1974. Novas Espécies de Sphenophyta na Formação Rio Bonito (Permiano) no Estado do Paraná. *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **5**:17-28.

Rösler O. 1975. Tafofloras Eogondwanicas do Brasil II - Ocorrências do Rio da Estiva (Permiano - Formação Rio Bonito - Santa Catarina). *Boletim Instituto de Geociências da USP*, **6**:1-11.

Rösler O. 1979. Plantas fósseis de São Joao do Triunfo (PR), Formação Rio Bonito e suas implicações geológicas. *In: 2º Simpósio Regional de Geologia - SBG. Atas*, **1**:181-194.

Salvi J., Jasper A., Ricardi-Branco F., Bernardes-De-Oliveira M.E., Guerra-Sommer M. 2008. Record of the Genus Lycopodites in the Lower Permian of Parana Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **80**(3):553-563



Silva Z.C.C. & Arrondo O.G. 1977. Tafoflora Permiana de Mariana Pimentel no Município de Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas - Instituto de Geociências da UFRS*, **7**:27-44

Souza J.M. & Iannuzzi R. 2009. The Genus *Cordaicarpus geinitz* in the Lower Permian of the Parana Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **12**(1):5-16.

Steinmann G. 1924. Uber Lycopodiopsis. *Palentologie Zeitschr.* Berlin, 257-262.

Tavares T.M.V. & Rohn R. 2009. First record of petrified Permian pectopterids from the Paraná Basin, Brazil (Corumbataí Formation, Passa Dois Group, northeastern State of São Paulo): Morphology, anatomy and paleoecological implications *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:60–73.

Tavares T.M.V. 2007. Filicíneas permianas permineralizadas da Formação Corumbataí, nordeste da Bacia do Paraná. Rio Claro. Dissertação de Mestrado em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 135p.

Tybusch G.P. & Iannuzzi R. 2008. Reavaliação taxonômica dos Gêneros *Gangamopteris* e *Rubidgea*, Permiano Inferior da Bacia do Paraná, Brasil. *Rev. bras. paleontol.*, **11**(2):73-86.

Tybusch G.P., Iannuzzi R., Frank H.T. 2009. Nova espécie do gênero *Gangamopteris* no Permiano inferior da bacia do Paraná, RS, Brasil. *Geociências, UNESP*, **28**(3):295-303.

Vários Autores. 1962. Geologia do Estado de São Paulo. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico **41**.

Vieira C.E.L. & Iannuzzi R. 2000. Presença de *Pecopteris* e *Asterotheca* no afloramento Morro do Papaléo, município de Mariana Pimentel, RS (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná). *Revista Pesquisas*, **27**:49-64.

White I. C. 1908. *Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra no Brasil*. DNPM, Rio de Janeiro, 617 p. (edição fac-similar)

Yoshida R. 1968. Descrição preliminar de coníferas Neopaleozóicas da Bacia do Paraná. Monografia de Mestrado - Departamento de Geologia e Paleontologia, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Zampirolli A.P. & Bernardes-De-Oliveira, M.E.C. 2000. O Gênero *Paracalamites* Zalessky 1927, na taoflora de Itapeva, Carbonífero Superior do Subgrupo Itararé, Grupo Tubarão, Sudoeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Revista do Instituto Geológico*, **21**(1/2):7-15

Zampirolli A.P. 2001. Taoflora Neocarbonífera da Fazenda Santa Marta, Interglacial do Subgrupo Itararé, Grupo Tubarão, Bacia do Paraná, Região de Itapeva (SP), Brasil. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado. 131 p.

Zampirolli A.P., Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Souza P.A. 1999. Levantamento da composição e sucessão paleoflorística do Neocarbonífero-Eopermiano (Grupo Tubarão) no Estado de São Paulo. II-1 Considerações sobre a taoflora de pré-glossopterídeas de Itapeva, subgrupo Itararé, bacia do Paraná, Brasil *In: XVI Congresso Brasileiro de Paleontologia, Crato. Boletins de Resumos*, p.: 127-128.

Zeiller R. 1895. Note sur la Flore Fossile des Gisements Houillers de Rio Grande do Sul (Bresil Meridionale). *Bulletin de la Societe Geologique de France*, **3**(23):601-29.