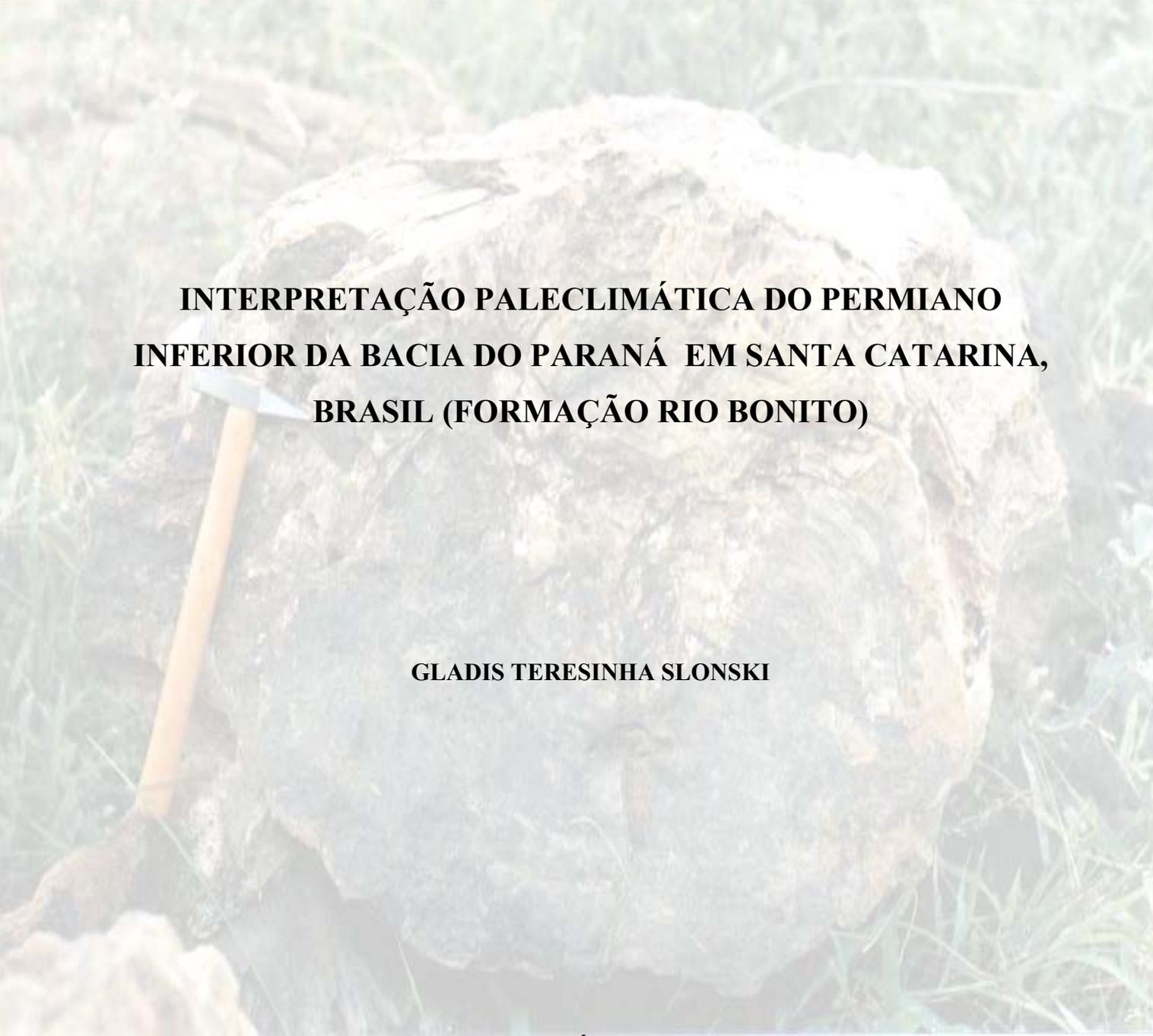


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
MESTRADO EM BIOLOGIA VEGETAL**



**INTERPRETAÇÃO PALECLIMÁTICA DO PERMIANO  
INFERIOR DA BACIA DO PARANÁ EM SANTA CATARINA,  
BRASIL (FORMAÇÃO RIO BONITO)**

**GLADIS TERESINHA SLONSKI**

**FLORIANÓPOLIS – SC**

**2002**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
MESTRADO EM BIOLOGIA VEGETAL**

**INTERPRETAÇÃO PALEOCLIMÁTICA DO PERMIANO INFERIOR DA BACIA  
DO PARANÁ EM SANTA CATARINA, BRASIL (FORMAÇÃO RIO BONITO)**

**GLADIS TERESINHA SLONSKI**

**Dissertação apresentada ao Curso de  
Pós Graduação em Biologia Vegetal  
da Universidade Federal de Santa  
Catarina para obtenção do grau de  
Mestre em Biologia Vegetal.**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Sheila Merlotti**

**Florianópolis – SC**

**2002**

## AGRADECIMENTOS

- ✓ À Profª. Dra. Sheila Merlotti, pela orientação;
- ✓ À Profª. Dra. Marisa Santos, Paulo e Andreza, pelo auxílio com a câmara clara;
- ✓ Ao Prof. Dr. Antônio Jorge Garcia e a Garibaldi Armelenti, pelos dados mineralógicos;
- ✓ Às bibliotecárias Marili Isensee Lopes e Maria de Lourdes da Fonseca;
- ✓ Aos professores, pelos conhecimentos e orientações;
- ✓ Aos funcionários do Departamento de Botânica, sempre atenciosos e solícitos;
- ✓ Aos amigos, pela convivência e incentivo no decorrer do curso;
- ✓ Aos meus pais, por terem me possibilitado chegar aonde cheguei;
- ✓ Aos meus irmãos, pelo auxílio na informática;
- ✓ Ao Miguel, pelo carinho e apoio;
- ✓ À CAPES, pelo apoio financeiro.

## RESUMO

Os fragmentos lenhosos permineralizados, devido à excepcional qualidade de preservação que geralmente apresentam, constituem-se em verdadeiros potenciais de informações, tanto sobre o ambiente de vida da planta, como sobre seu ambiente de fossilização. Com base no estudo tafonômico e paleoecológico de lenhos permineralizados, este trabalho teve como objetivo a interpretação do paleoambiente deposicional da Formação Rio Bonito (topo do Permiano Inferior, Bacia do Paraná). As amostras são provenientes de cinco municípios onde afloram sedimentos pertencentes aos três membros desta formação - Itaiópolis, correspondente ao Membro Triunfo, Pouso Redondo e Witmarsun, ao Membro Paraguaçu, Salete, ao limite dos membros Paraguaçu e Siderópolis e Rancho Queimado, ao Membro Siderópolis. O material selecionado corresponde a quinze amostras de lenhos permineralizados. O estudo tafonômico foi realizado através da análise da morfologia, paleoanatomia e mineralogia, onde foi observada a ação dos agentes potencialmente conservativos e destrutivos no processo de preservação. O estudo paleoecológico consistiu na aplicação dos princípios da anatomia ecológica à paleoanatomia. Os espécimes lenhosos, caracterizados pela aloctonia, foram submetidos a diferentes condições ambientais, mais favoráveis ao processo de fossilização nas localidades de Pouso Redondo e Witmarsun, onde os espécimes encontravam-se integralmente preservados, do que nas localidades de Itaiópolis, Salete e Rancho Queimado. A análise dos anéis de crescimento dos lenhos corrobora as evidências paleogeográficas e paleoclimáticas do Permiano da Bacia do Paraná, indicando a passagem de condições frias para temperadas úmidas. Os resultados sugerem variações climáticas acentuadas com índices de pluviosidade altos durante a deposição do intervalo inferior da Formação da Rio Bonito. Variações climáticas mais acentuadas, com períodos de estiagem longos e períodos mais curtos de pluviosidade no intervalo médio, e climas mais regulares com índices de pluviosidade maiores e mais longos durante a deposição do intervalo superior da referida formação.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivo Específico	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	4
3.1. Área de Estudo	4
3.2. Material Analisado	8
3.3. Metodologia	10
3.3.1. Preparação do Material	10
3.3.2. Método de Estudo	10
4. A FORMAÇÃO RIO BONITO EM SANTA CATARINA	12
4.1. Considerações Estratigráficas	12
4.2. Ambiente Depositional	16
4.3. Conteúdo Lignitaflorístico	17
5. TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA	18
5.1. Parâmetros Morfológicos	23
5.2. Parâmetros Anatômicos	24
5.3. Parâmetros Mineralógicos	27
6. RESULTADOS	31
6.1. Amostras do Município de Itaiópolis	31
6.2. Amostras do Município de Pouso Redondo	35
6.3. Amostras do Município de Witmarsun	44
6.4. Amostras do Município de Salete	47
6.5. Amostras do Município de Rancho Queimado	50
7. DISCUSSÃO	53
8. CONCLUSÕES	61
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ESTAMPAS	69

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os diferentes tipos de restos vegetais que integram o registro fossilífero, são os fragmentos lenhosos que, devido a estrutura e composição de seus tecidos, mais informações podem fornecer, não somente sobre o ambiente de vida da planta como também sobre o ambiente de fossilização.

As informações que podem ser extraídas destes lenhos devem-se, principalmente, ao tipo de fossilização dos mesmos, a permineralização, processo mais comum e mais fiel de preservação (Schopf 1975). Na permineralização a estrutura celular original é retida pela infiltração de minerais nos tecidos. Estes minerais reagem com os produtos da decomposição parcial das paredes celulares, não substituindo-os, mas produzindo compostos insolúveis ou de estrutura molecular mais simples. Sob este prisma, o estudo morfoanatômico de lenhos permineralizados permite inferências de ordem tafonômica e paleoecológica de grande importância para o conhecimento da flora pretérita.

Importantes trabalhos já foram publicados abordando a tafonomia e a paleoecologia de lenhos fósseis na Bacia do Paraná. Mussa *et al.* (1980), estudando ocorrências fossilíferas nos Municípios de Itapetininga, Tatuí, Cezário Lange, Porangaba, Laranjal Paulista, Piracicaba e Rio Claro (Formação Irati, Permiano Superior), Estado de São Paulo, investigaram características da anatomia ecológica de lenhos fósseis, as quais podem expressar relacionamento direto com o ciclo sedimentar inerente à formação. Andreis *et al.* (1982) apresentaram considerações paleoambientais com base no estado de preservação, a nível macroscópico, de troncos silicificados oriundos do Município de Mata (Formação Caturrita, Triássico Superior), Rio Grande do Sul. Mussa (1982a) num estudo taxonômico sobre as lignitaflores permianas da Bacia do Paraná nos Estados de São Paulo e Santa Catarina abordou aspectos tafonômicos, relacionando as texturas de silicificação dos lenhos com o ambiente de deposição. Mussa e Coimbra (1984) publicaram um trabalho relativo à aplicação de nova metodologia de estudo tafonômico de lenhos provenientes dos Municípios de Capivari, Rio Claro, Piracicaba, Porangaba, Laranjal Paulista, Tatuí, Itapetininga e Conchas (Formações Tatuí, Irati e Estrada Nova, Permiano Superior), São Paulo, e dos Municípios de Saete e Itaiópolis (Formação Rio Bonito, topo do Permiano Inferior), Santa

Catarina. Guerra-Sommer e Gamermann (1985) realizaram um estudo sobre a mineralogia de troncos fósseis da região de São Pedro do Sul (Formação Rosário do Sul *sensu* Gamermann 1973, Triássico Superior), Rio Grande do Sul. Pessoa (1985) estudou lenhos do Município de São Gabriel (Formação Irati, Permiano Superior), Rio Grande do Sul, analisando aspectos sistemáticos, anatômicos, mineralógicos e paleoecológicos. Mayer (1989) realizou uma avaliação paleoclimática, com base nos aspectos anatômicos de lenhos dos Municípios de Salete e Itaiópolis (Formação Rio Bonito, topo do Permiano Inferior), em Santa Catarina. Alves *et al.* (1993), em análises efetuadas em um fragmento de lenho permineralizado do Município de São Gabriel (Formação Irati, Permiano Superior), Rio Grande do Sul, observaram diferentes modos de preservação para o espécime. Bolzon (1993) num estudo sobre a lignitaeflora mesozóica nos Municípios de São Pedro do Sul, Mata e Santa Maria (Formações Rosário do Sul, Santa Maria e Caturrita *sensu* Andreis *et al.* 1982, Triássico Superior), Rio Grande do Sul, abordou aspectos tafonômicos, paleoecológicos e paleoclimáticos. Em 1994, Bolzon e Guerra-Sommer apresentaram considerações sobre a tafonomia desta associação. Em 1993, Minello, numa análise das “florestas petrificadas” da região de São Pedro do Sul e Mata (Formações Santa Maria e Caturrita *sensu* Andreis *et al.* 1982, Triássico Superior), Rio Grande do Sul, abordou os processos de fossilização e a análise morfológica destes lenhos. No ano seguinte (Minello 1994a, b), o autor publicou os resultados deste trabalho tecendo, ainda, considerações paleoambientais com base nas características anatômicas e mineralógicas do material analisado. Merlotti (1994) realizou um estudo sistemático de uma assembléia de lenhos do Município de Pouso Redondo (Formação Rio Bonito, topo do Permiano Inferior), Santa Catarina, tratando também de aspectos tafonômicos e paleoecológicos. Em 1999, a autora (Merlotti 1999a) descreveu um contramolde medular silicificado e um fragmento lenhoso, encontrados em conexão orgânica, oriundos do mesmo município, estabelecendo algumas inferências paleoecológicas. Guerra-Sommer e Scherer (2000), analisando as “florestas petrificadas” dos Municípios de Mata e São Pedro do Sul (Arenito Mata, Triássico), Rio Grande do Sul, observaram caracteres morfoanatômicos dos lenhos, inferindo algumas considerações paleoambientais.

O reduzido volume de publicações dedicado a aspectos tafonômicos e paleoecológicos, com base em fragmentos lenhosos, atesta a importância deste tipo de investigação, ainda insuficientemente explorado na Bacia do Paraná. Sendo assim, o presente trabalho representa uma importante contribuição ao conhecimento do paleoambiente deposicional da Formação Rio Bonito em Santa Catarina.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho objetiva interpretar o paleoambiente da Formação Rio Bonito (topo do Permiano Inferior, Bacia do Paraná) no Estado de Santa Catarina, com base no estudo tafonômico e paleoecológico de lenhos permineralizados provenientes de cinco afloramentos fossilíferos existentes ao longo da faixa de sedimentação desta formação.

### **2.2. Objetivos Específicos**

O estudo tafonômico visa determinar o ambiente de morte dos espécimes (natureza e grau de atuação dos agentes potencialmente conservativos e destrutivos no processo de preservação), através da morfologia, paleoanatomia e mineralogia.

O estudo paleoecológico objetiva estabelecer seu ambiente de vida através da aplicação dos princípios da anatomia ecológica à paleoanatomia.

A análise integrada destes dados, e seu confronto com os dados paleogeográficos da Bacia do Paraná durante o Permiano fornecerá, portanto, uma visão mais abrangente, do que a atualmente reconhecida, do ambiente de sedimentação desta unidade estratigráfica em Santa Catarina.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudo

O material em estudo é proveniente de afloramentos existentes em cinco municípios do Estado de Santa Catarina: Itaiópolis, Pouso Redondo, Witmarsum, Salete e Rancho Queimado (Mapa 1). Nestes municípios afloram sedimentos da Formação Rio Bonito (topo do Permiano Inferior) da Bacia do Paraná (Mapa 2).

No Município de Itaiópolis, localidade de Rio da Estiva (latitude 26°20'11"/ longitude 49°54'23"), encontra-se um afloramento as margens da BR-116. Itaiópolis integra a microrregião do Planalto Norte, a aproximadamente 353 km de Florianópolis pelas Rodovias SC-419 e BR-280 (Estampa 1, Figuras 1 e 2).

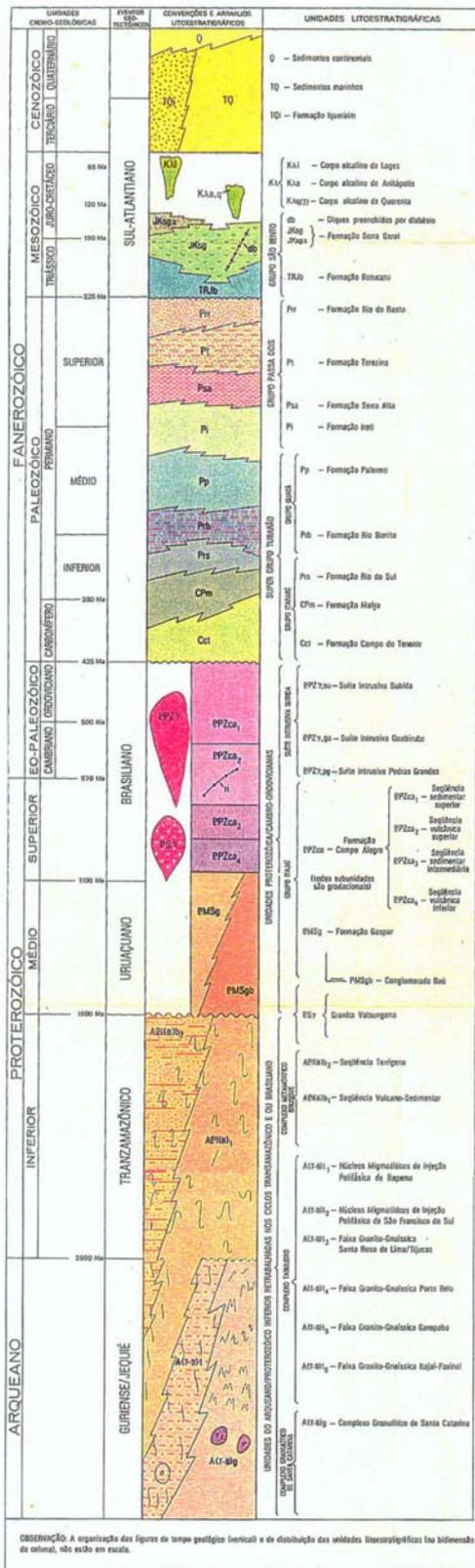
O Município de Pouso Redondo (latitude 27°15'29"/ longitude 49°56'02") faz parte da microrregião do Alto Vale do Itajaí e situa-se a cerca de 270 km da capital do Estado pela Rodovia BR-470. Neste município existem dois afloramentos situados no Distrito de Aterrado Torto, a 3 km ao sul da Rodovia BR-470 (Estampa 2, Figuras 1 e 2).

O afloramento do Município de Witmarsum (latitude 26°55'34"/ longitude 49°47'45") situa-se na localidade de Alto Rio Kräuel. Este município faz parte da mesma microrregião de Pouso Redondo, distante 262 km da capital do Estado pelas Rodovias SC-421 e BR-470 (Estampa 3, Figuras 1 e 2).

O Município de Salete (latitude 26°58'48"/ longitude 49°59'59") também integra a microrregião do Alto Vale do Itajaí, a aproximadamente 309 km de Florianópolis pelas Rodovias SC-422 e BR-470. O afloramento encontra-se à 4 km ao norte da cidade (Estampa 4, Figuras 1 e 2).

O Município de Rancho Queimado (latitude 27°41'94"/ longitude 49°10'25") integra a microrregião do Rio Itajaí do Sul e dista aproximadamente 95 km de Florianópolis pela Rodovia BR-282. O afloramento está situado na localidade de Chapadão Serra da Boa Vista, à 6,4 km, por estrada secundária, da Rodovia BR-282 (Estampa 5, Figuras 1 e 2).





Mapa 1 – Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina (DNPM/11º Distrito Regional 1986).

Mapa 2 – Mapa da Bacia do Paraná (ZALÁN *et al.* 1990).

### 3.2. Material Analisado

O material selecionado, correspondente a quinze amostras de lenhos permineralizados, foi coletado em seis trabalhos de campo realizados no período compreendido entre março de 1985 e maio de 1997.

Em Itaiópolis, na localidade de Rio da Estiva, foram coletadas três amostras (holótipos Pb 132/UFSC, Pb 133/UFSC e Pb 138/UFSC), as quais encontravam-se horizontalizadas e soterradas por arenito pouco consolidado, em uma área de extração de areia para construção civil .

No Município de Pouso Redondo, foram coletadas seis amostras, as quais encontravam-se horizontalizadas, na superfície do solo, em meio à pastagem e à plantação de fumo. Destas, três constituem-se em exemplares únicos (holótipo Pb 066/UFSC e parátipos Pb 097/UFSC e Pb 124/UFSC) e três fazem parte de séries-tipo, das quais foram selecionados os holótipos (Pb 005/UFSC, Pb 053/UFSC e Pb 064/UFSC).

Em Witmarsum foram coletadas duas amostras, encontradas em posição horizontal na superfície do solo, em meio a um terreno arado. Destas, uma corresponde a um exemplar único (parátipo Pb 008/UFSC) e a outra a uma seqüência longitudinal de dezesseis fragmentos interconectados (parátipo Pb 266a-p/UFSC), da qual foi selecionado um fragmento (Pb 266k/UFSC).

As duas amostras coletadas no Município de Salete (holótipos Pb 299/UFSC e Pb 300/UFSC) estavam dispostas horizontalmente, em local de extração de areia para construção civil.

No Município de Rancho Queimado foram coletadas duas amostras (holótipos Pb 087/UFSC e Pb 090/UFSC), encontradas em posição horizontal na superfície do solo, em meio à pastagem e em corte de estrada.

Os espécimes integram a Coleção Paleobotânica do Laboratório de Paleobotânica, Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina. As amostras provenientes das localidades de Pouso Redondo e Witmarsum correspondem a fragmentos eustélicos de lenhos permineralizados, não passíveis de vinculação a uma categoria taxonômica superior como família, ordem ou classe, constituindo-se, portanto, em morfogêneros. As oriundas de Itaiópolis, Salete e Rancho Queimado, por serem constituídas apenas de xilema secundário, foram informalmente designadas como morfogêneros acrescidos de inicial maiúscula.

Os dados correspondentes aos espécimes selecionados e suas respectivas designações taxonômicas encontram-se sumarizados na Tabela 1.

LOCALIDADE	DATA DA COLETA	ESPÉCIMES	DESIGNAÇÃO TAXONÔMICA
Itaiópolis	Mai/96	Pb132/UFSC	Morfogênero A
	Mai/96	Pb133/UFSC	Morfogênero B
	Mai/96	Pb138/UFSC	Morfogênero C
Pouso Redondo	Mar/85	Pb005/UFSC	<i>Retemedulloxylon reliquum</i> Merlotti, 1998a
	Jan/90	Pb053/UFSC	<i>Retemedulloxylon refertum</i> Merlotti, 1998a
	Dez/90	Pb064/UFSC	<i>Aterradoxylon solidum</i> Merlotti, 1999a
	Dez/90	Pb066/UFSC	<i>Mussaeoxylon seclusum</i> Merlotti, 1998b
	Mai/96	Pb097/UFSC	<i>Mussaeoxylon seclusum</i> Merlotti, 1998b
	Mai/96	Pb 124/UFSC	<i>Retemedulloxylon reliquum</i> Merlotti, 1998a
Witmarsun	Mar/85	Pb008/UFSC	<i>Retemedulloxylon reliquum</i> Merlotti, 1998a
	Nov/96	Pb266k/UFSC	<i>Retemedulloxylon reliquum</i> Merlotti, 1998a
Salette	Mai/97	Pb299/UFSC	Morfogênero D
	Mai/97	Pb300/UFSC	Morfogênero E
Rancho Queimado	Dez/95	Pb087/UFSC	Morfogênero F
	Dez/95	Pb090/UFSC	Morfogênero G

Tabela 1 - Espécimes selecionados para o estudo

### **3.3. Metodologia**

#### **3.3.1. Preparação do Material**

O material selecionado foi submetido à laminação petrográfica no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

As amostras referentes aos números Pb 005/UFSC e Pb 008/UFSC foram seccionadas transversalmente e laminadas, em 1985, tendo sido obtidas 25 lâminas. Em 1990, mais três amostras foram seccionadas transversalmente e laminadas, Pb 053/UFSC, Pb 064/UFSC e Pb 066/UFSC, resultando em 26 lâminas delgadas. Em setembro de 2000, os espécimes coletados entre dezembro de 1995 e maio de 1997 foram seccionados transversalmente no Laboratório de Laminação do Departamento de Geociências, Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina. Posteriormente, foram também laminados no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, resultando em 81 lâminas. Deste modo, ao final desta etapa, foram obtidas um total de 132 seções lâminas (Tabela 2).

Após a preparação das lâminas, estas foram enviadas ao Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos para análise mineralógica. De um total de 132 lâminas delgadas enviadas, as 46 mais representativas foram selecionadas para esta análise.

#### **3.3.2. Método de Estudo**

As 132 lâminas delgadas foram observadas em microscópio óptico Carl Zeiss-Jena, no Laboratório de Paleobotânica do Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina, para análise das características anatômicas.

Para medir os anéis de crescimento foi projetada imagem, com auxílio da câmara clara, acoplada ao microscópio óptico. A medida do diâmetro da imagem foi aferida com escala micrometrada. Foi usado o microscópio Carl Zeiss-Jena, modelo Loboal 4, no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Botânica, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina.

O registro fotomicrográfico das amostras foi realizado no Laboratório de Biologia Celular do Departamento de Biologia Celular, Embriologia e Genética, Centro de

Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina, com microscópio Olympus BH2, equipado com fotoautomático, e usando filme Kodak Plus-Xpan 135/25 ASA.

O registro fotomacrográfico do material foi realizado com filme Neopan 135/400 ASA.

Os afloramentos foram fotografados com filme Kodak Gold 100/135 ASA.

LOCALIDADE	AMOSTRAS	Nº DE SEÇÕES	Nº DE LÂMINAS
Itaiópolis	Pb 132/UFSC	3 tv, 3 tg, 2 rd	08
	Pb 133/UFSC	6 tv, 3 rd	09
	Pb 138/UFSC	3tv, 4 rd	07
Pouso Redondo	Pb 005/UFSC	3 tv, 2 tg, 8 rd	13
	Pb 053/UFSC	3tv, 2 tg, 9 rd	14
	Pb 064/UFSC	1 tv, 1 tg, 1 rd	03
	Pb 066/UFSC	1 tv, 3 tg, 5 rd	09
	Pb 097/UFSC	3 tv, 3 tg, 3 rd	09
	Pb 124/UFSC	6 tv, 2 tg, 3 rd	11
Witmarsun	Pb 008/UFSC	5 tv, 3 tg, 4 rd	12
	Pb 266k/UFSC	3 tv, 2 tg, 4 rd	09
Salette	Pb 299/UFSC	3tv, 2 tg, 3 rd	08
	Pb 300/UFSC	2 tv, 2 tg, 3 rd	07
Rancho Queimado	Pb 087/UFSC	3 tv, 2 tg, 2 rd	07
	Pb 090/UFSC	2 tv, 2 tg, 2 rd	06
<b>Total de Lâminas</b>			132

Tabela 2 - Relação das lâminas utilizadas no estudo

## 4. A FORMAÇÃO RIO BONITO EM SANTA CATARINA

### 4.1. Considerações Estratigráficas

Segundo Zalán *et al.* (1990), a Bacia do Paraná é uma vasta bacia intracratônica sul-americana desenvolvida completamente sobre a crosta continental e preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas, cobrindo cerca de 1.400.000 km<sup>2</sup>. Destes, 1.100.000 km<sup>2</sup> localizam-se em território brasileiro, 100.000 km<sup>2</sup> no Paraguai, 100.000 km<sup>2</sup> no Uruguai e 100.000 km<sup>2</sup> na Argentina (Mapa 2).

White (1908), pioneiro nos estudos sobre a Bacia do Paraná, estabeleceu a primeira classificação estratigráfica das camadas gondvânicas. Reuniu-as sob a designação de Sistema de Santa Catarina, sendo este o marco inicial para os trabalhos geológicos na bacia. Desde então, inúmeras classificações e importantes contribuições ao conhecimento da evolução estratigráfica da Bacia do Paraná têm sido realizadas.

Northfleet *et al.* (1969) apresentaram uma série de mapas estratigráficos e paleotectônicos e uma proposta de evolução tectonosedimentar para a bacia. A partir do trabalho de Schneider *et al.* (1974), o ordenamento estratigráfico da bacia tornou-se mais consistente, com a proposição de uma coluna estratigráfica abrangendo as áreas de Santa Catarina/Paraná, São Paulo, Goiás/Mato Grosso e Rio Grande do Sul. Zalán *et al.* (*op.cit.*) ampliaram o conhecimento sobre a bacia mostrando uma visão integrada de sua evolução estratigráfica e estrutural. Milani *et al.* (1994), num resumo acerca das grandes unidades litoestratigráficas, com representação e significado regionais, relaciona-as a megaestágios evolutivos da bacia. Castro *et al.* (1994) expõem detalhadamente a estratigrafia da Bacia do Paraná, na região de Lauro Müller a Bom Jardim da Serra, discutindo aspectos litoestratigráficos e paleoambientais relacionados às unidades gondvânicas aflorantes no segmento catarinense, compreendido nos limites do roteiro seguido por White (*op. cit.*), para o estabelecimento de sua coluna.

Dentre os inúmeros trabalhos publicados sobre a estratigrafia da Bacia do Paraná, o de Schneider *et al.* (1974) constitui-se no mais completo e amplamente utilizado, razão pela qual é aqui adotada a coluna litoestratigráfica proposta por estes autores (Tabela 3). Do mesmo modo, tendo em vista a amplitude da área de sedimentação da bacia e o caráter geral, ou estritamente local, dos trabalhos realizados até o presente, optou-se, na caracterização litoestratigráfica da Formação Rio Bonito, pelas sínteses apresentadas por Aboarrage e Lopes (1986, *apud* Castro *et al.* 1994) e Castro *et al.* (*op. cit.*) e embasadas em Schneider *et al.* (*op. cit.*), para as áreas leste e sul de Santa Catarina.

A Formação Rio Bonito corresponde a unidade basal do Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, distribuindo-se desde o Rio Grande do Sul até o nordeste de São Paulo (Schneider *et al.* (*op. cit.*)). Daemon e Quadros (1970), com base em dados palinológicos, situam esta formação no Permiano médio a superior (Kunguriano/ Kazaniano). Milani *et al.* (1994) indicam que, estratigraficamente, a mesma tem idade Artinskiana/Kunguriana (Eopermiano).

A subdivisão desta unidade, proposta por Medeiros e Thomaz Filho (1973) e formalizada por Schneider *et al.* (*op. cit.*), permanece válida para o flanco leste da bacia e compreende três membros: um inferior (Membro Triunfo), um intermediário (Membro Paraguaçu) e um superior (Membro Siderópolis).

O Membro Triunfo é composto essencialmente por arenitos que variam de finos a grossos com estratificações cruzadas de grande a pequeno porte e laminações cruzadas, assim como conglomerados compostos por areia grossa, grânulos e seixos de composição variável. Secundariamente, ocorrem pelitos cinza-escuros, carbonosos, maciços e pelitos com estratificação ondulada e lenticular.

No intervalo intermediário, Membro Paraguaçu, observa-se uma sedimentação predominantemente pelítica composta por siltitos e folhelhos cinza, intercalados com camadas de arenitos muito finos com laminação paralela e ondulada. A bioturbação é também freqüentemente encontrada, conferindo às rochas um caráter maciço.

O pacote superior, Membro Siderópolis, é constituído essencialmente por arenitos finos a muito finos, quartzosos, intercalados com camadas de siltitos arenosos cinza-claro e cinza-médio, por leitos e camadas de carvão e siltitos carbonosos. A laminação plano-paralela de pequeno e grande porte, truncada por ondas e bioturbação de grau variável, predominam neste intervalo litoestratigráfico. Ocorrem também pacotes lenticulares de arenitos médios a grossos, cinza-claros. Os siltitos encontrados são geralmente maciços,

cinza-escuro a pretos, carbonosos, com impressões de plantas, associados a camadas de carvão.

Segundo Matte (1995), a maior parte da bibliografia indica contatos normalmente gradacionais, localmente erosivos, da Formação Rio Bonito com a Formação Rio do Sul (Grupo Itararé) sotoposta, e concordantes com a Formação Palermo (Grupo Guatá) sobreposta.

CRONOESTRATIGRAFIA	LITOESTRATIGRAFIA				
	PARANÁ / SANTA CATARINA				
JURO-CRETÁCEO		GRUPO SÃO BENTO	Formação Bauru Formação Caiuá Formação Serra Geral Formação Botucatu Formação Pirambóia ?		
TRIÁSSICO					
PERMIANO		GRUPO PASSA DOIS	Formação Rio do Rasto	Membro Morro Pelado	
				Membro Serrinha	
			Formação Teresina		
			Formação Serra Alta		
		SUPER GRUPO TUBARÃO	GRUPO GUATÁ	Formação Irati	Membro Assistência
				Membro Taquaral	
	Formação Palermo				
	<i>Formação Rio Bonito</i>			Membro Siderópolis	
			Membro Paraguaçu		
			Membro Triunfo		
CARBONÍFERO SUPERIOR		GRUPO ITARARÉ	Formação Rio do Sul		
			Formação Mafra		
			Formação Campo do Tenente		
DEVONIANO	GRUPO PARANÁ		Formação Ponta Grossa		
			Formação Furnas		
Embasamento					

Tabela 3 – Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná – Estados do Paraná e Santa Catarina (*sensu* Schneider *et al.* 1974, adaptada)

## 4.2. Ambiente Depositional

O ambiente deposicional vigente durante a sedimentação permo-carbonífera da Bacia do Paraná indica, segundo vários autores, um caráter transgressivo como consequência da elevação do nível do mar, resultante do degelo da cobertura glacial que cobria o continente Gondwana (Zalán *et al.* 1990; Milani *et al.* 1994 e Castro *et al.* 1994). Este caráter transgressivo, no entanto, foi interrompido, temporariamente, no Artinskiano/Kunguriano, com a entrada das cunhas arenosas da Formação Rio Bonito. Um pulso tectônico da Orogenia Tardiherciniana originada na parte ocidental da América do Sul, segundo Zalán *et al.* (1986, *apud* Castro *et al.* (*op. cit.*)), é tido como responsável pela origem desta formação. A sedimentação na porção norte da bacia teria sido interrompida ocorrendo, assim, o soerguimento de áreas de borda nas margens leste e oeste. Como consequência, o mar Itararé foi invadido pelos deltas do domínio fluvial que caracterizam esta unidade estratigráfica.

Segundo Schneider *et al.* (1974), as características litológicas e sedimentares do intervalo basal da Formação Rio Bonito, Membro Triunfo, indicam um ambiente flúvio-deltaico para sua sedimentação. De acordo com Krebs e Menezes Filho (1984), provavelmente sob a influência de uma glaciação distante, houve a progradação dos clásticos grosseiros deste membro sobre as camadas marinhas do intervalo superior do Grupo Itararé.

Os depósitos do Membro Paraguaçu registram uma sedimentação em ambiente marinho transgressivo que recobriu os depósitos flúvio-deltaicos do Membro Triunfo (Schneider *et al.* (*op. cit.*)).

Medeiros e Thomaz Filho (1973) caracterizam o último período de sedimentação da Formação Rio Bonito, Membro Siderópolis, em ambiente transicional litorâneo no qual ocorreu um novo estágio progradante na bacia. Para Krebs e Menezes Filho (*op. cit.*) ocorreu a formação de um novo sistema deltaico, altamente destrutivo e dominado por ondas. Com o extensivo recobrimento da bacia, resultante do contínuo avanço da linha de costa, inicia-se, então, a sedimentação da Formação Palermo.

É interessante salientar a grande variação dos ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito, não apenas no que se refere à sua composição geológica, evidenciada pelas distintas características litológicas e sedimentares dos membros que a integram, mas também quanto à sua distribuição geográfica. A este respeito, Castro *et al.* (*op. cit.*) salientam que, enquanto em São Paulo perdurou o ambiente marinho a costeiro e, no Rio Grande do Sul,

ambiente continental litorâneo a transicional, em Santa Catarina e Paraná predominaram condições marinhas, flúvio-deltaicas e litorâneas.

### 4.3. Conteúdo Lignitaflorístico

Embora a Formação Rio Bonito em Santa Catarina apresente um grande potencial lignitaflorístico, poucos pesquisadores têm realizado estudos de cunho taxonômico nesta região. O conhecimento dos fragmentos lenhosos oriundos desta formação deve-se as investigações feitas por Mussa (1958,1982a,b e 1986a,b) e Merlotti (1994, 1998a,b e 1999a).

Em 1958, Mussa descreve um fragmento de lenho secundário denominado *Protophylocladoxylon dolianitti*, de Criciúma, procedente da mina de carvão Vendramini. Em 1982, a autora (Mussa 1982a), ao desenvolver estudos sobre as lignitafloras da Bacia do Paraná, registra, em um afloramento na localidade de Rio da Estiva, Município de Itaiópolis, os novos gêneros *Catarinapitys* (*C. bittancourtii*), *Solidoxylon* (*S. mafrense*) e *Paulistoxylon* (*P. formosum*) e as novas espécies *Myelontordoxylon catarinense*, *Abietopitys takedai*, *Damudoxylon delicatum* e *Taeniopitys estivense*. Neste mesmo ano (Mussa 1982b), determina uma nova forma do complexo *Vertebraria*, *Schopficalia peripaludica*, de mesma procedência. No ano de 1986 (Mussa 1986a,b), ocorre a publicação de *Catarinapitys bittancourtii*, e de *Paulistoxylon formosum* e o registro de dois fragmentos de lenho secundário similares a *P. formosum*, chamados *Paulistoxylon* sp. 1 e *Paulistoxylon* sp. 2, que apresentam medula substituída por molde arenítico do tipo *Artisia*.

Merlotti (1994), realiza um estudo sistemático de uma assembléia de lenhos do Município de Pouso Redondo (Formação Rio Bonito, topo do Permiano Inferior). Em 1998, Merlotti (1998a,b) descreve os novos gêneros *Retemedulloxylon* (*R. reliquum* e *R. refertum*) e *Mussaeoxylon* (*M. seclusum*) e, no ano seguinte (Merlotti 1999a,b), publica um novo gênero, *Aterradoxylon* (*A. solidum*), e a ocorrência de um contramolde medular conectado organicamente com *Retemedulloxylon*, procedentes do mesmo afloramento.

## 5. TAFONOMIA E PALEOECOLOGIA

A **tafonomia** (do grego: *tafos* = sepultamento; *nomos* = leis), termo originalmente descrito por Efremov (1940, *apud* Mendes 1988) como “estudo da transição dos restos orgânicos da biosfera para a litosfera”, refere-se, segundo Behrensmeier e Kidwell (1985), ao estudo dos processos de preservação e como eles afetam a informação no registro fóssil. Portanto, a tafonomia procura entender os processos que deram origem às assembléias fósseis de forma a reconstruir antigas comunidades e ambientes, tão precisamente quanto possível, através do exame minucioso do relacionamento entre os restos orgânicos e os sedimentos.

Seilacher (1970, *apud* Behrensmeier e Kidwell *op. cit.*), empregando adequadamente os termos **retrato de morte** (Todesbild) e **retrato de vida** (Lebensbild), demonstrou a íntima relação entre tafonomia e paleoecologia, salientando que a compreensão do retrato de vida só é possível a partir da identificação e descrição dos eventos tafonômicos que atuaram para formar o retrato de morte.

A história da preservação dos organismos, segundo Mendes (1988) divide-se em duas fases: **bioestratinomia** (Weigert 1919 *apud* Mendes (*op. cit.*)), fase mais curta que vai da morte do organismo até o seu sepultamento, e **fossildiagênese** (Müller 1963 *apud* Mendes (*op. cit.*)), fase mais longa que tem início com o sepultamento e estende-se até a data de coleta.

Os estudos tafonômicos tiveram um incremento nos anos 70 com os trabalhos do grupo de pesquisas de Seilacher na Universidade de Tübingen, Alemanha, mas foi somente na década de 80 que houve um aumento crescente no número de artigos publicados, tanto na literatura paleontológica internacional como na nacional. Segundo Simões e Holz (2000) estes estudos desenvolveram-se independentemente dentro das divisões tradicionais da paleontologia e, mais recentemente, na arqueologia e paleoantropologia. Behrensmeier e Kidwell (*op. cit.*) registraram que dos artigos publicados sobre tafonomia, cerca de 30% são relativos a vertebrados, 30% a invertebrados e 40% incluem outras sub-áreas, como, por exemplo, paleobotânica, paleopalínologia, micropaleontologia, icnologia, etc.

Esta reduzida utilização de dados paleobotânicos no estudo tafonômico deve-se, principalmente, à complexidade do registro de plantas fósseis, os quais demandam uma

habilidosa interpretação, e, embora existam similaridades na forma como animais e plantas são incorporados no registro fóssil, diferenças consideráveis entre ambos justificam seu tratamento em separado (Spicer 1989). As plantas, durante seu ciclo de vida, produzem um grande número de órgãos, dispersos diferentemente no ambiente e com potenciais extremamente diferentes em relação à fragmentação, transporte, deposição, preservação e retrabalhamento. Considerando-se que a maioria das assembléias de plantas fósseis é o resultado da acumulação de órgãos separados que sofreram algum tipo de transporte, evidencia-se o nível de dificuldade que caracteriza este tipo de interpretação (Diagrama 1). Scott e Collinson (1983), em um estudo detalhado sobre tafonomia de plantas, mostram que a acumulação de vegetais fósseis nos sedimentos é controlada por processos biológicos, como, por exemplo, predação, biodegradação, bioturbação; processos físicos, como fogo, inundações, erupções vulcânicas, transporte, erosão, abrasão, fragmentação, compactação e processos químicos, como, por exemplo, composição química dos tecidos, química do ambiente de deposição, dissolução, recristalização, etc. Salientam, ainda, que este material está sujeito a estes processos antes de entrar no sistema deposicional, durante o transporte, o sepultamento e após o sepultamento. Spicer (1991) destaca que a meta do estudo tafonômico é o entendimento dos processos de decomposição, os quais são variáveis segundo a espécie da planta, a natureza do órgão e, principalmente, o tipo de ambiente ao qual ela está exposta.

Alguns autores, com o intuito de avaliar os diferentes processos tafonômicos que ocorreram no passado e de interpretar o registro fóssil em termos de estrutura e composição de antigas comunidades, estudaram ambientes de sedimentação modernos análogos a ambientes deposicionais pretéritos. Scheihing e Pfefferkorn (1984) avaliaram os efeitos do transporte e deposição em partes preservadas de plantas terrestres, como folhas, caules e frutificações, do Delta Orinoco, Venezuela, e utilizaram os parâmetros obtidos como modelo para a incorporação de fragmentos vegetais em depósitos do Carbonífero Superior da América do Norte e Europa. Entre suas conclusões, observaram que as plantas são sepultadas próximas, mas não exatamente nos horizontes do solo em que viveram, sendo os processos de maior influência na preservação destas plantas o transbordamento do delta durante a metade do ano, e os depósitos de marés na metade seguinte. Observações efetuadas por Gastaldo (1989), no Delta Mobile, Holoceno do Alabama, Estados Unidos, evidenciaram que os diferentes ambientes deposicionais preservam diferentes assembléias de plantas e que os processos tafonômicos, responsáveis não só pelo depósito inicial, mas também pelas suas modificações subseqüentes, podem influenciar profundamente o caráter destas assembléias. As plantas preservadas, dependendo do ambiente de

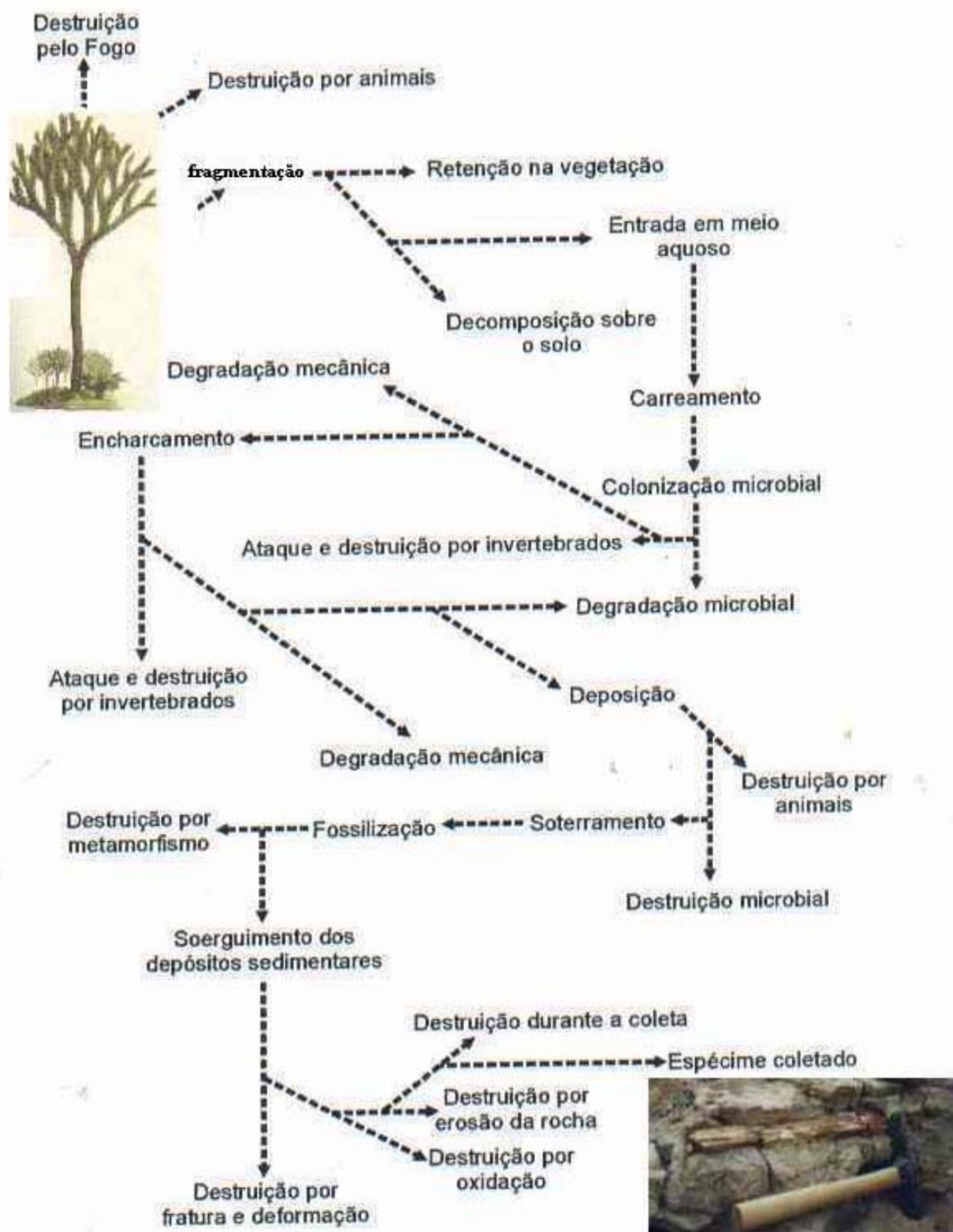


Diagrama 1 – Possíveis caminhos de um tronco até a fossilização (adaptado de Iannuzzi e Vieira 2001).

deposição, podem ou não refletir a comunidade vegetal original, sendo muito pequena a probabilidade de que todos os órgãos da mesma planta sejam preservados num depósito autóctone ou hipautóctone, exceção feita a um depósito sedimentar de grande magnitude.

Merlotti (1994, p. 122) cita que no estudo de uma comunidade fóssil “*a tafonomia deve preceder a paleoecologia e a ela relacionar-se*”. Isto se deve ao fato de que a paleoecologia e a tafonomia encontram-se intimamente associadas. Segundo Meyen (1987), a paleoecologia consiste no estabelecimento das relações do vegetal fóssil com seu ambiente de vida com base no estudo de seus restos e de sua incorporação na rocha.

Os modos mais comuns de preservação podem ser categorizados em compressões/impressões, permineralizações, preservação duripártica e preservação autigênica (Schopf 1975). Grande parte dos estudos tafonômicos com plantas baseia-se em folhas preservadas como compressões/impressões, uma vez que estas estruturas vegetativas constituem a parte mais abundante do corpo vegetal das plantas vasculares e são, em geral, preservadas sob este processo. Em seus estudos tafonômicos, Spicer (1989, 1991) deu grande atenção a estas estruturas devido não só a sua abundância, como também por sua utilidade em estudos bioestratigráficos e paleoclimáticos. Chaloner e Mc Elwain (1997) consideram que a utilização de dados de densidade e índice de estômatos em folhas fósseis seja de fundamental importância para as interpretações paleoclimáticas, pois podem fornecer uma medida aproximada dos níveis de CO<sub>2</sub> no passado. Seus resultados sobre o índice de estômatos em folha de plantas do Devoniano e Permiano coincidem com evidências de origem física sobre as grandes mudanças nos níveis globais de gás carbônico através destes períodos.

Os lenhos fósseis, assim como as folhas, também têm um grande potencial para registrar aspectos do ambiente nos quais cresceram e do ambiente de fossilização. Conforme Mussa e Coimbra (1984), dentre as demais partes fossilizadas da planta, só os fragmentos lenhosos oferecem resultados conjuntos à sedimentologia e à paleoecologia. Isto se deve não só a estrutura e composição de seus tecidos, mas a forma como são preservados. A permineralização, forma mais comum de preservação dos lenhos, consiste na infiltração e permeação precoce dos tecidos vegetais por águas saturadas de minerais e posterior interação química entre estes e os compostos liberados durante a desintegração parcial dos componentes celulares, formando uma matriz de suporte para os tecidos e permitindo a preservação de detalhes das características histológicas e anatômicas (Schopf 1975). Assim, o estudo morfoanatômico dos lenhos, aliado à anatomia ecológica e à análise mineralógica dos mesmos, tem permitido o estabelecimento de informações sobre aspectos tafonômicos e paleoecológicos.

Segundo Chapman (1994), apesar das inúmeras informações que podem ser extraídas dos lenhos, existem alguns problemas que devem ser considerados. Os troncos, menos densos que a água, permanecem por muito tempo flutuando, o que, segundo Spicer (1989), pode ocorrer por longo período de tempo e conduzir a errôneas interpretações climáticas. Outro problema seria a tentativa de identificar de que parte da árvore (galhos, ramos, tronco, raízes) o fragmento de lenho procede, o que nem sempre é possível. Creber e Chaloner (1984) salientam que cada uma tem suas características próprias (largura do anel de crescimento, número de células, desenvolvimento do lenho tardio, presença de falsos anéis), requerendo interpretações diferenciadas para resultados mais precisos. Considerando as informações que podem ser extraídas do estudo dos anéis de crescimento, o autor salienta a importância da observação das variações que ocorrem no desenvolvimento do anel de crescimento (Diagrama 2), pois os fatores que controlam este desenvolvimento são muito complexos, como, por exemplo, a quantidade de energia requerida de outras partes da planta, a energia acumulada no ano anterior ou, ainda, a produção de energia durante o ano em curso.

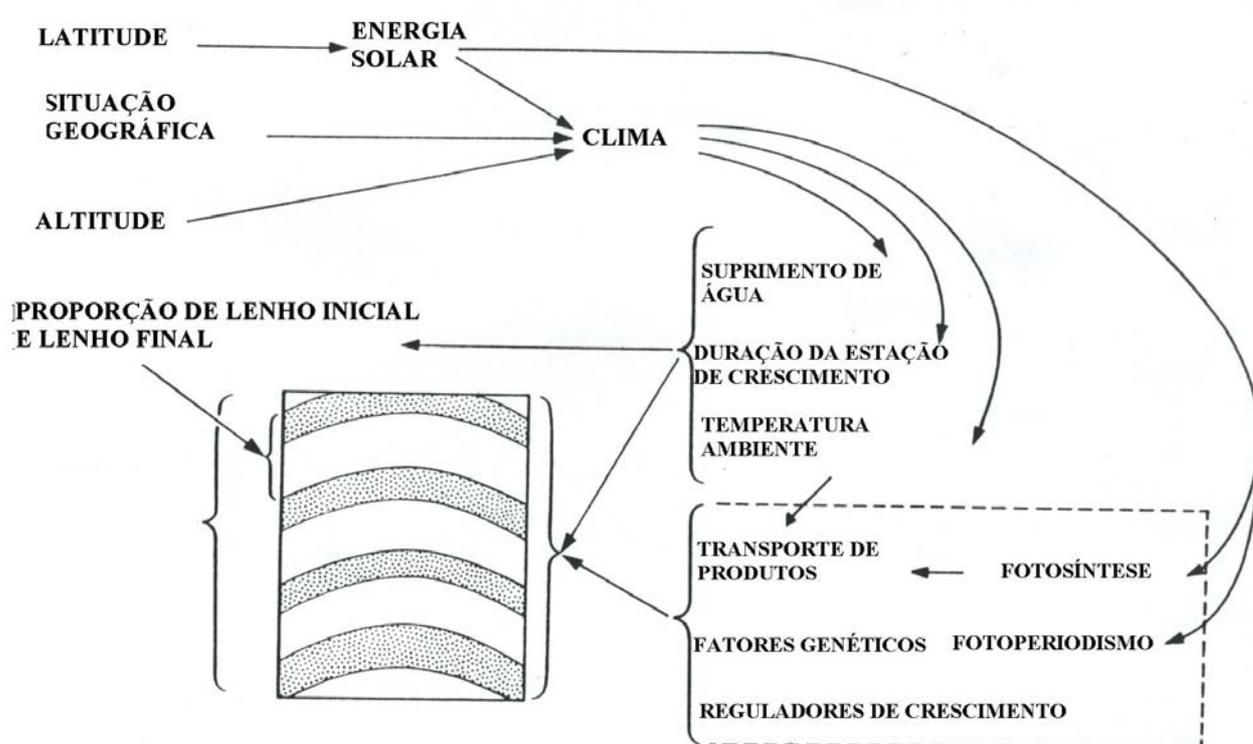


Diagrama 2 – Representação dos fatores que influenciam o crescimento do tronco numa árvore (Creber e Chaloner 1984).

## 5.1. Parâmetros Morfológicos

A observação das características morfológicas dos lenhos, associada à análise anatômica, permite a determinação do ambiente de morte dos mesmos através da avaliação da natureza e do grau de atuação dos agentes potencialmente conservativos e destrutivos no processo de preservação.

As plantas vasculares, comumente, crescem em áreas erosivas, o que, segundo Spicer (1991), acarreta, freqüentemente, o transporte de seus restos até o sítio deposicional. No caso específico dos troncos, o transporte pode ser muito longo. A aloctonia pode ser, então, traduzida por características morfológicas, tais como: fraturas, grande número de superfícies irregulares e angulosidades e presença total ou parcial dos tecidos periféricos do cilindro central, como os xilemáticos, floemáticos e corticais. Uma vez incorporadas ao ambiente deposicional estas estruturas podem, ainda, sofrer alterações como degradação, abrasão e fragmentação, além de compactação ou achatamento pela pressão dos sedimentos sobrepostos.

Apesar do grande número de informações que podem ser extraídas dos lenhos, ainda é reduzido o número de publicações que consideram a morfologia no estudo tafonômico, encontrando-se estes restritos à Bacia do Paraná. Andreis *et al.* (1982), com base no estado de preservação a nível macroscópico de troncos fósseis oriundos do Município de Mata (Formação Caturrita, Triássico Superior), no Rio Grande do Sul, fizeram algumas considerações paleoambientais. Constataram a presença de troncos fósseis “*in situ*” (com raízes) e transportados, sugerindo que na região houve condições para o desenvolvimento de solos hidromórficos, arenosos e arejados, com pouco húmus, os quais suportavam uma floresta plenamente iluminada pelo sol. Bolzon e Guerra-Sommer (1994), estudando a lignitaflorea mesozóica dos Municípios de São Pedro do Sul, Mata e Santa Maria (Formações Santa Maria e Caturrita *sensu* Andreis *et al.* 1982, Triássico Superior) no Rio Grande do Sul, efetuaram considerações sobre os eventos tafonômicos mais significativos que, provavelmente, ocorreram nas associações. Concluíram que a formação inicial das camadas de lenhos fósseis é devida, em grande parte, a eventos catastróficos de grande escala. O agente transportador teria sido a água e, após o processo de silicificação dos lenhos, a erosão dos sedimentos associados teria favorecido a dispersão destes. As grandes dimensões dos caules silicificados foram interpretadas como indicativas de um local de crescimento estável. A compactação observada na maioria destes exemplares ocorreu devido ao

estabelecimento de condições redutoras, antes da silicificação, as quais favoreceram também a preservação do grande volume de fragmentos lenhosos.

## 5.2. Parâmetros Anatômicos

A análise das características anatômicas, em conjunto com as características morfológicas, é imprescindível na avaliação dos eventos pré-deposicionais, como a morte, a decomposição e o transporte, dos eventos deposicionais e dos eventos pós-deposicionais, como o sepultamento e as alterações físico-químicas sofridas pelo lenho. Conforme Mussa (1982a), partindo-se do princípio de que o tempo de vida da planta, a sedimentação das respectivas seqüências e os eventos iniciais da fossilização transcorreram durante um mesmo ciclo deposicional, pode-se concluir que os fatores do ambiente que atuaram neste ciclo são os mesmos que, durante a vida da planta, interferiram em sua fisiologia e anatomia. De acordo com Merlotti (1994), inferências tafonômicas, com base em caracteres anatômicos dos lenhos, podem ser obtidas através da observação da presença de tecidos dilacerados e/ou distorcidos e do grau de preservação dos elementos celulares, os quais sugerem alterações pré-soterramento, como resultado do transporte ou efeito dos processos bióticos de decomposição. Eventos pós-deposicionais também podem ser avaliados. Algumas alterações, como a distorção do percurso normal dos traqueídeos, causadas pela compactação dos sedimentos, podem ser interpretadas como injúrias de ordem abiótica.

A aplicação dos princípios da anatomia ecológica às características anatômicas do lenho permite inferências de ordem paleoecológica. O local de vida, condições do substrato, disponibilidade hídrica e de oxigênio, além de oscilações na temperatura, são alguns dos parâmetros que podem ser avaliados. Segundo Mussa *et al.* (1978), Mussa (1986b) e Merlotti (1994), nos caules das plantas atuais, a lacunarização da medula e a presença de tecido esclerenquimático podem ser interpretadas, como recursos utilizados face a condições inadequadas de oxigenação das águas ou de suprimento das mesmas.

Considerando-se a morfologia adaptativa e a relação existente entre a distribuição de comunidades vegetais e zonas climáticas atuais, pode-se utilizar os lenhos fósseis também nas interpretações paleoclimáticas através do princípio do atualismo. Por apresentarem adaptações estruturais características a seu habitat, as plantas fósseis são consideradas indicadores paleoambientais particularmente sensíveis (Chaloner e McElwain

1997). A análise do padrão dos anéis de crescimento e suas diferentes peculiaridades morfo-anatômicas constituem-se em importantes caracteres na avaliação do paleoclima. Assim, árvores que cresceram sob um clima com flutuações sazonais fracas, como nos climas tropicais, geralmente mostram uma aparência menos distinta dos anéis de crescimento, enquanto árvores que cresceram sob um clima com flutuações sazonais acentuadas, características de climas temperados e frios, geralmente mostram anéis de crescimento perceptíveis e bem definidos. A presença de falsos anéis de crescimento, segundo Fahn (1985), parecem indicar mudanças irregulares nas condições ambientais.

O estudo dos anéis de crescimento em lenhos fósseis, de acordo com Chaloner e Creber (1973), pode oferecer uma base para deduções sobre paleoclima, e conseqüentemente, sobre paleolatidade e posição dos paleopólos. Para Meyen (1987), somente um número limitado de caracteres podem revelar uma restrição ecológica distinta. Entre eles, está a presença ou ausência de anéis de crescimento, parâmetro observável nos lenhos fósseis independente de qualquer identificação ou suposição de relacionamento entre táxons. Yao *et al.* (1994) cita que, embora seja difícil averiguar as condições climáticas sob as quais as árvores cresceram, é possível extrair algumas informações paleoambientais dos anéis de crescimento, quando combinadas com características litológicas dos depósitos sob as quais as árvores foram sepultadas. Utilizando dados fornecidos por anéis de crescimento em combinação com análises florísticas e litológicas de depósitos permianos do oeste de Henan, China, estes autores caracterizaram a evolução climática da região. A pronunciada modificação climática desencadeada no final do Neopermiano, ocasionada pelo deslocamento da placa do norte da China, em direção à zona árida do hemisfério norte, com a mudança de um clima tropical úmido para um clima árido, com deficiências periódicas no suprimento de água, estaria intimamente relacionada ao aparecimento de anéis de crescimento nos troncos permianos desta região.

Chaloner e Creber (1973) analisando anéis de crescimento em lenhos fósseis, observaram que a falta dos mesmos, nos lenhos do Paleozóico Superior euroamericano, contrasta com os lenhos do Mesozóico e Terciário da mesma área que, em geral, mostram claramente os anéis de crescimento. No Gondwana estes anéis também estão claramente definidos em lenhos do Permo-Triássico. Estes autores consideram estas observações consistentes com um cinturão tropical úmido atravessando a América do Norte e Europa, como sugerem as evidências paleomagnéticas. Em continuidade a estes estudos, Creber e Chaloner (1984) mostraram que no final do Paleozóico e no Mesozóico as árvores gondvânicas eram capazes de crescer próximo aos pólos, concluindo que um clima adequado

deve ter prevalecido em altas latitudes para o crescimento substancial das florestas. Chapman (1994), analisando efeitos paleoambientais refletidos nas características do desenvolvimento de lenhos fósseis, observou que, apesar dos anéis de crescimento apresentarem a história detalhada da vida da árvore que os produziu, a estrutura do lenho varia muito dentro de uma mesma árvore, dependendo da posição: galho, ramo, tronco, parte inferior do tronco ou raízes. A identificação do nível de onde procede o fragmento produzirá, segundo o autor, resultados mais precisos.

Nas últimas décadas, no Brasil, a Bacia do Paraná tem sido investigada intensivamente por diversos autores com o propósito de obter dados tanto paleoclimáticos, como paleoambientais, baseados na análise de caracteres anatômicos de lenhos fósseis. Mussa *et al.* (1980), em um estudo estratigráfico e paleoecológico sobre ocorrências fossilíferas nos Municípios de Itapetininga, Tatuí, Cezário Lange, Porangaba, Laranjal Paulista, Piracicaba e Rio Claro (Formação Irati, Permiano Superior) no Estado de São Paulo, investigaram características da anatomia ecológica de lenhos fósseis, as quais podem expressar relacionamento direto com o ciclo sedimentar inerente à formação. Oscilações freqüentes nas condições ambientais na área de deposição do Irati foram evidenciadas, tanto a nível sedimentar, quanto a nível anatômico. Observa-se nos lenhos a presença de caracteres anatômicos indicativos de recursos xeromórficos sugerindo condições de progressiva aridez ou condições inóspitas quanto ao suprimento de água no ambiente, em geral, consideradas salobras ou salinas. Mayer (1989), analisando amostras de lenhos dos Municípios de Itaiópolis e Salete (Formação Rio Bonito, topo do Permiano Inferior) em Santa Catarina, observou que os aspectos anatômicos dos anéis de crescimento refletem condições paleoclimáticas. Com base no crescimento lenhoso anual e em parâmetros de sensibilidade anual e sensibilidade média dos anéis, a autora considerou que a formação atravessou um tempo de gradação paleoclimática, passando de condições frias para mais quentes, com estações bem marcadas e período mais seco. Ao estudar a lignitaflorea mesozóica das Formações Santa Maria e Caturrita (*sensu* Andreis *et al.* 1982, Triássico Superior), no Rio Grande do Sul, Bolzon (1993) analisou a estrutura dos anéis de crescimento de um lenho proveniente da região do Município de Santa Maria. Verificou a existência de anéis de crescimento indistintos, indicando um clima quente e sazonalmente úmido, não obrigatoriamente anual ou cíclico. Merlotti (1994), investigou uma taflorea de lenhos provenientes de um afloramento no Município de Pouso Redondo, Santa Catarina, da Formação Rio Bonito (topo do Permiano Inferior) através da análise morfofuncional de caracteres anatômicos (presença de medula lacunarizada e de tecido esclerenquimático, e

amplitude e densidade dos anéis de crescimento). Esta análise, em conjunto com a interpretação do paleoambiente deposicional, levaram a autora a concluir que estes lenhos podem ter colonizado um ambiente mais elevado e não inundável de uma planície costeira, com um clima caracterizado por estações pouco marcadas e sujeito a períodos de estiagem curtos e frequentes. A autora (1999b), ao descrever um contramolde medular silicificado e um fragmento lenhoso, anatomicamente similar a *Retemedulloxylon*, encontrados em conexão orgânica e provenientes do mesmo afloramento, faz algumas inferências de ordem paleoecológica. Observa que a medula diafragmada, exibida por este gênero, é um recurso xeromórfico resultante da adaptação dos vegetais a condições desfavoráveis ao seu desenvolvimento. Guerra-Sommer e Scherer (2000), numa análise preliminar das “florestas petrificadas” dos Municípios de Mata e São Pedro do Sul (Arenito Mata, Triássico) no Rio Grande do Sul, observaram que alguns caracteres morfoanatômicos dos lenhos indicam eventos catastróficos de grande escala para o seu sepultamento. Um clima quente e sazonalmente úmido é revelado por anéis de crescimento indistintos, o que também é sugerido pelo processo de silicificação dos mesmos.

### **5.3. Parâmetros Mineralógicos**

Os conhecimentos atuais, embora avançados, não abrangem toda a complexidade dos fenômenos envolvidos nos processos de fossilização e, deste modo, o estudo mineralógico dos restos permite a compreensão dos eventos transcorridos no ambiente deposicional. Os espécimes lenhosos, em particular, refletem, no tipo de fossilização, as condições ambientais às quais se sujeitaram durante o processo (Schopf 1971; Mussa 1982a; Mussa e Coimbra 1984; Carson 1991 e Spicer 1991).

Como mencionado anteriormente, a permineralização é o modo mais comum de preservação dos lenhos, sendo a sílica considerada o mineral mais importante neste processo. Leo e Barghoorn (1976), estudando os aspectos biogeoquímicos relacionados aos lenhos fósseis, propuseram, através de experimentos de laboratório, um modelo de dois estágios para a silicificação, dependente da presença de material orgânico, no qual, primeiramente, ocorre a impregnação das células e, mais tarde, o preenchimento do lúmen. Segundo estes autores, a preferência pela sílica como agente permineralizante, e do lenho, como objeto da permineralização, sugere afinidades químicas entre estes dois materiais. Para

Siever (1957) a presença de matéria orgânica pode, realmente, estimular a deposição de sílica. Carson (1991) cita que uma certa degradação da matéria orgânica é necessária para permitir o início do processo, criando espaços vazios para a deposição de sílica e produzindo sítios ativos para as ligações entre os componentes orgânicos e inorgânicos. Diversas formas de sílica são identificadas nos lenhos silicificados, mas, segundo Arnold (1947), somente as variedades criptocristalinas e amorfas retêm os tecidos em sua forma original.

Muitos autores, com o intuito de relacionar a gênese de texturas nos lenhos silicificados ao seu ambiente de sedimentação, incluem em seus estudos anatômicos, também a análise mineralógica das amostras. Schopf (1971) pode ser considerado o primeiro pesquisador a investigar concretamente o estabelecimento das relações entre as texturas cristalinas dos lenhos e o ambiente de sedimentação. Estudando lenhos de um depósito de carvão permiano da Antártica, identificou três gerações de mineralizações por sílica. Conforme o autor, somente a primeira (calcedônia) foi responsável pela preservação da estrutura do tecido. As duas gerações seguintes (calcedônia e quartzo prismático microcristalino) tiveram apenas o caráter operacional na litificação e no endurecimento da amostra. Buurman (1972), utilizando-se da microscopia eletrônica de varredura, analisou a maneira como os diferentes tipos de soluções chegam a precipitar sobre as paredes celulares dos lenhos, colocando em destaque as relações entre as texturas e o ambiente de sedimentação. Em pesquisas na área do Monte St. Helens, Washington, Estados Unidos, Karowe e Jefferson (1987) analisaram troncos sepultados por erupções em diferentes épocas (1, 100, 500 e 36.000 anos) com o propósito de investigar os estágios iniciais de silicificação. Concluíram que a silicificação ocorre rapidamente na escala geológica de tempo: silicificação incipiente foi documentada após 100 anos do sepultamento e os lenhos sepultados por 36.000 anos apresentaram as paredes das células impregnadas por sílica. Para Carson (1991), apesar da silicificação acontecer nos estágios iniciais do sepultamento, ocorre a profundidades de 0 a 10 metros. A silicificação iniciada em sepultamentos em grandes profundidades é raramente documentada.

Depois de ocorrida a silicificação, Revuelta (1976) considera que os espécimes lenhosos podem ser examinados como um tipo especial de rocha silicosa, onde a predominância de algumas texturas sobre outras, por localidades ou por níveis estratigráficos, numa seqüência, darão informações sobre variações ocorridas no ambiente durante o ciclo deposicional. As oscilações na concentração de sílica em solução, a presença de outros íons no ambiente e as variações no nível de água na bacia deposicional são citadas por Folk e Pittmann (1972) e Revuelta (*op. cit.*) como os principais fatores que interferem nas condições

diagenéticas. Outros fatores não tão explícitos, como a temperatura, as condições de oxigenação da bacia e o conteúdo de matéria orgânica, também podem influenciar a diagênese.

Pesquisadores brasileiros também exploraram este assunto, principalmente na Bacia do Paraná. Num extenso estudo taxonômico sobre as lignitaflores permianas nos Estados de São Paulo e Santa Catarina, Mussa (1982a) abordou aspectos tafonômicos envolvendo, além dos estudos anatômicos, a análise mineralógica do material. A autora observou que as gerações cristalinas formadas sobre as paredes celulares durante a permineralização evidenciam e complementam as informações disponíveis sobre o ambiente de sedimentação das formações estudadas. Mussa e Coimbra (1984), ao analisarem amostras de lenhos provenientes dos Municípios de Capivari, Rio Claro, Piracicaba, Porangaba, Laranjal Paulista, Tatuí, Itapetininga e Conchas (Formações Tatuí, Irati e Estrada Nova, Permiano Superior), São Paulo, e dos Municípios de Salete e Itaiópolis (Formação Rio Bonito, topo do Permiano Inferior), Santa Catarina, desenvolveram uma metodologia para o estudo tafonômico de lignispécimes permianos, recomendando o enfoque destes sob vários prismas: a nível estatístico, tafonômico e anatômico, de modo a obter subsídios complementares à sedimentologia e à paleoecologia. Os autores observaram que a predominância de algumas texturas, sobre outras, oferece informações sobre as variações do ambiente. Numa análise mineralógica de um fragmento de tronco proveniente de São Pedro do Sul (Formação Rosário do Sul *sensu* Gamermann 1973, Triássico Superior), no Rio Grande do Sul, Guerra-Sommer e Gamermann (1985) observaram a permineralização do material por quartzo cristalino grosseiro a criptocristalino (98%), com raras ocorrências de calcedônia fibrosa preenchendo fraturas, e a presença de ferro sob a forma de limonita, além de cálcio e fósforo. Observaram, também, que diferenças no estágio de degradação das paredes celulares no início do processo de mineralização são agentes determinantes no resultado final da permineralização. Pessoa (1985), ao estudar lenhos provenientes do Município de São Gabriel (Formação Irati, Permiano Superior) no Estado do Rio Grande do Sul, analisou aspectos taxonômicos, anatômicos, mineralógicos e paleoecológicos. Segundo a autora, os lenhos foram permineralizados por minerais do grupo da sílica, principalmente na forma microcristalina (calcedônia) e cristalina (quartzo). A silicificação, neste caso, iniciou-se pela calcedônia, a qual evoluiu para quartzo, ocorrendo destruição parcial das estruturas anatômicas. Alves *et al.* (1993), em análises efetuadas em um fragmento de lenho permineralizado do Município de São Gabriel (Formação Irati, Permiano Superior), no Rio Grande do Sul observaram diferentes modos de preservação, sendo identificados estágios de

carbonificação, carbonificação-permineralizada e permineralização, principalmente por sílica e carbonato. Através destas evidências, concluíram que o lenho sofreu influência de diferentes ambientes durante o processo tafonômico. Minello (1993, 1994a,b), numa análise das “florestas petrificadas” da região de São Pedro do Sul e Mata (Formações Santa Maria e Caturrita *sensu* Andreis *et al.* 1982, Triássico Superior), Rio Grande do Sul, abordou os processos de fossilização e a análise morfológica destes lenhos. Observou que os lenhos foram permineralizados e diferentes minerais foram encontrados substituindo as estruturas orgânicas, sendo a sílica o mineral predominante e óxidos de ferro (hematita e goethita) e argilas (smectita e illita) os minerais secundários. O autor considera que a presença de argilo-minerais seja decorrente da ação dos derrames basálticos da Serra Geral, os quais devem ter fornecido calor para a ocorrência de distintas fases diagenéticas da sílica (sílica coloidal, opala A, opala CT, calcedônia e quartzo microcristalino).

Estudos recentes em outras bacias brasileiras também levaram em conta aspectos mineralógicos dos lenhos. Costa *et al.* (2001), em estudos mineralógicos e químicos realizados em troncos permianos silicificados da Bacia do Parnaíba (Formação Pedra de Fogo, Eo-mesopermiano), Município de Bielândia, Estado do Tocantins, observaram que o quartzo é o mineral predominante, apresentando-se microcristalino nos diferentes tecidos e macrocristalino nas cavidades. Os autores sugerem que a baixa cristalinidade dos minerais de sílica, com o domínio de texturas fibro-radiais e a presença de carbono orgânico, indicam que esta formação não sofreu grandes elevações de temperatura desde o Permiano. Costa e Moraes (2001), analisando troncos fossilizados encontrados na base de um perfil laterítico imaturo na Bacia do Amazonas (Formação Barreiras, Plio-Pleistoceno), Município de Belém, Estado do Pará, observaram que estes sofreram um processo de permineralização por goethita férrica. Segundo os autores, esta goethização leva a concluir que a fossilização ocorreu durante a formação do perfil laterítico imaturo. Consideram, ainda, que os troncos foram refossilizados, já que na rocha mãe deste perfil estes deveriam ocorrer piritizados como os pequenos galhos, folhas e mesmo frutos encontrados.

## 6. RESULTADOS

Visando a compreensão do processo tafonômico e da paleoecologia dos espécimes lenhosos analisados no trabalho, foram consideradas somente as características morfológicas e anatômicas que apresentam relevância para a interpretação paleoambiental da Formação Rio Bonito. Sendo assim, a análise morfo-anatômica e mineralógica do material conduziu aos seguintes resultados:

### 6.1. Amostras do Município de Itaiópolis

- Morfogênero A

Holótipo: Pb 132/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 6).

Origem: Rio da Estiva, Município de Itaiópolis, SC, Brasil, km 39 da Rodovia BR-116 (Coordenadas geográficas: latitude 26°19'756''/ longitude 49°59'645'')

Estratótipo: Membro Triunfo, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

#### Análise Morfológica

Fragmento silicificado e descorticado de lenho secundário, com comprimento de 27,0 cm e diâmetro médio de 11,7 cm (diâmetro maior = 13,5 cm; diâmetro menor = 10,0 cm). Longitudinalmente, o contorno do exemplar é aproximadamente retangular e sua superfície externa, de coloração esbranquiçada, bastante irregular (Estampa 6, Figura 1). Em seção transversal polida, de coloração cinza e com a região periférica de coloração branca, são visíveis anéis de crescimento (Estampa 6, Figura 2).

### Análise Anatômica

O exemplar não apresenta medula e xilema primário.

O xilema secundário, precariamente preservado, é homoxílico e revela anéis de crescimento verdadeiros definidos, com passagem acentuada do lenho inicial para o lenho final (Estampa 6, Figura 3). Não apresenta falsos anéis de crescimento. Não é possível observar o número de traqueídeos dos anéis de crescimento devido ao precário estado de conservação do fragmento (Estampa 6, Figuras 4 e 5). Salienta-se a profunda distorção do percurso normal dos traqueídeos (Estampa 6, Figura 6). O tecido encontra-se bastante deformado, com distorções e rupturas perpendiculares aos raios lenhosos.

### Análise Mineralógica

Transversalmente, as rupturas perpendiculares aos raios lenhosos apresentam-se preenchidas por calcedônia fibrorradiada e pirita, a qual ocorre em maior quantidade na forma de cristais aglomerados do que como cristais dispersos. Observam-se, ainda, veios de calcedônia fibrorradiada rompendo o xilema paralelamente aos raios lenhosos. Sobre o tecido xilemático ocorrem “manchas” de oxidação provenientes da pirita. Longitudinalmente, pode-se visualizar deformações (esmagamento) causadas por compactação e cristalização de calcedônia e pirita. Pequenos veios de calcedônia, “rosetas” de calcedônia e lentes com precipitação de megaquartzo ocorrem rompendo o xilema.

- Morfogênero B

Holótipo: Pb 133/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 7)

Origem: Rio da Estiva, Município de Itaiópolis, SC, Brasil, km 39 da Rodovia BR-116 (Coordenadas geográficas: latitude 26°19'756''/ longitude 49°59'645'')

Estratótipo: Membro Triunfo, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

### Análise Morfológica

Fragmento silicificado e descorticado de lenho secundário, com comprimento de 22,0 cm e diâmetro médio de 10,0 cm (diâmetro maior = 14,0 cm; diâmetro menor = 6,0 cm). O exemplar, transversalmente, tem um aspecto de meio cilindro, com contorno irregular devido ao fraturamento e à compactação (Estampa 7, Figura 1). Sua superfície externa tem coloração esbranquiçada. Em seção transversal polida, de coloração cinza clara e com a região periférica de coloração branca, não são observáveis anéis de crescimento (Estampa 7, Figura 2).

### Análise Anatômica

O exemplar não apresenta medula e xilema primário.

O xilema secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento verdadeiros definidos, com passagem acentuada do lenho inicial para o lenho final (Estampa 7, Figuras 3 e 4). Não apresenta falsos anéis de crescimento. Não é possível observar o número de traqueídeos dos anéis de crescimento devido ao precário estado de conservação do fragmento. O percurso normal dos traqueídeos apresenta-se acentuadamente distorcido. Salienta-se que, em uma única seção, a vista transversal e a radial combinam-se, evidenciando a profunda distorção sofrida pelo fragmento (Estampa 7, Figuras 5 e 6). As células encontram-se bastante compactadas e são claramente visíveis apenas em algumas regiões.

### Análise Mineralógica

O xilema secundário, transversalmente, apresenta deformações e diversas rupturas ocasionadas por aglomerações de cristais de pirita. Verifica-se uma intensa oxidação sobre as células, as quais estão preenchidas por calcedônia fibrogranular. Longitudinalmente, observa-se a ocorrência de rupturas no tecido originadas por “rosetas” de calcedônia microcristalina e fibrosa e por lentes de megaquartzo.

- Morfogênero C

Holótipo: Pb 138/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 8)

Origem: Rio da Estiva, Município de Itaiópolis, SC, Brasil, km 39 da Rodovia BR-116 (Coordenadas geográficas: latitude 26°19'756''/ longitude 49°59'645'')

Estratótipo: Membro Triunfo, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão,

## Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

### Análise Morfológica

Fragmento silicificado e descorticado de lenho secundário, com aspecto de meio cilindro em seção transversal. Seu comprimento é de 21,0 cm e diâmetro médio de 8,0 cm (diâmetro maior = 11,0 cm; diâmetro menor = 5,0 cm). A superfície externa, de coloração esbranquiçada, é bastante irregular e com angulosidades (Estampa 8, Figura 1). Em seção transversal polida, de coloração cinza clara e com a região periférica de coloração branca, são visíveis anéis de crescimento (Estampa 8, Figura 2).

### Análise Anatômica

O exemplar não apresenta medula e xilema primário.

O lenho secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento verdadeiros definidos. Observa-se a passagem acentuada do lenho inicial para o lenho final (Estampa 8, Figuras 3-5). Em algumas regiões pode-se observar células que se assemelham as de falsos anéis de crescimento, mas, aparentemente, correspondem ao achatamento das mesmas. Os anéis de crescimento apresentam de 150 a 167 traqueídeos com uma espessura média de 2,22 mm. O lenho inicial, composto, aproximadamente, por 148 a 164 traqueídeos, tem uma largura média de 2,11 mm. O lenho final, com 2 a 3 traqueídeos, corresponde, em média, a 0,11 mm. Destaca-se a grande distorção do percurso normal dos traqueídeos e o acentuado rompimento e compactação do tecido (Estampa 8, Figura 6).

### Análise Mineralógica

O xilema secundário apresenta-se bastante deformado e alterado devido à cristalização de pirita, calcedônia e microquartzo. Paralelamente aos raios lenhosos ocorrem veios preenchidos por óxidos que rompem o tecido. Cristais de pirita ocorrem dispersos e em aglomerados por todo o xilema, inclusive no interior dos traqueídeos.

## 6.2. Amostras do Município de Pouso Redondo

- *Retemedulloxylon reliquum* Merlotti, 1998a

Holótipo: Pb 005/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampas 9 e 10)

Origem: Aterrado Torto, Município de Pouso Redondo, Propriedade de Nildo Moura, SC, Brasil, 3 km ao sul do km 262 da BR-470 (Coordenadas geográficas: latitude 27°17'340''/ longitude 49°52'566'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

### Análise Morfológica

Fragmento lenhoso silicificado, descorticado, com forma aproximadamente cilíndrica. O comprimento é de 11,0 cm e o diâmetro médio de 11,5 cm (diâmetro maior = 12,0 cm; diâmetro menor = 11,0 cm). Superfície externa de coloração cinza-amarelada e contorno irregular, em vista do fraturamento sofrido pelo material (Estampa 9, Figura 1). A seção polida transversal, de coloração escura, revela perda parcial do lenho secundário em cerca de metade do seu diâmetro original, conferindo ao mesmo um aspecto de meio cilindro. Nesta são visíveis a medula e numerosos anéis de crescimentos sinuosos (Estampa 9, Figura 2).

### Análise Anatômica

A medula é grande (1,8 cm de diâmetro médio), com contorno elipsoidal alongado e homocelular, maciça a lacunosa-diafragmada. Em seção transversal, salientam-se, a presença de material escuro e de rompimentos do tecido parenquimático, produzindo vazios irregulares na região central (Estampa 9, Figura 3). Longitudinalmente, o corpo medular encontra-se danificado, exibindo espaços correspondentes à destruição do tecido.

O xilema primário é endárqueo e apresenta-se pouco preservado.

O xilema secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento bem definidos e sinuosos, com passagem brusca do lenho inicial para o lenho final. São visíveis também numerosos falsos anéis de crescimento (Estampa 9, Figura 4). Em seção transversal,

os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 83 a 140 traqueídeos com uma espessura média de 2,21 mm. O lenho inicial é composto, aproximadamente, em cada anel, por 81 a 136 traqueídeos que perfazem em média de 2,14 mm de largura e o lenho final, por 2 a 4 traqueídeos, com uma média de 0,07 mm de largura. Salientam-se a distorção do percurso normal dos traqueídeos, o achatamento, tanto de células do lenho inicial como do lenho final, e inúmeras rupturas no tecido (Estampa 9, Figuras 5 e 6).

#### Análise Mineralógica

A medula, transversalmente, apresenta células parenquimáticas preenchidas por calcedônia fibrorradiada e dela projetam-se veios de calcedônia fibrorradiada e granular que rompem o xilema. No interior da medula observam-se cristais de pirita, dispersos e aglomerados e nódulos com microquartzo. Radialmente, ocorre maior precipitação de calcedônia fibrorradiada associada a microquartzo e cristais de pirita (Estampa 10, Figura 1).

O xilema primário encontra-se rompido e com diversas deformações devido aos veios de calcedônia provenientes da medula.

Em seção transversal, observa-se que estes veios avançam pelo xilema secundário e diminuem em espessura a medida em que se afastam da medula (Estampa 10, Figuras 2 e 3). “Rosetas” de calcedônia microcristalina e microquartzo de diferentes tamanhos, associadas a pirita, produzem destruição dos raios e traqueídeos, os quais apresentam rupturas e deformações devido as precipitações de sílica ocorridas durante a fossilização. Longitudinalmente, pode-se observar que estas rupturas ocorrem também, além de presença de “rosetas” de calcedônia, pela formação de megaquartzo (Estampa 10, Figuras 4 e 5). Verificam-se veios de calcedônia fibrorradiada precipitada em rupturas existentes no lenho. Veios maiores, contendo microquartzo em suas laterais internas, são cortados, transversal e perpendicularmente, por pequenos veios de microquartzo. Tais veios, ocasionalmente associados com cristais de pirita dispersos, produzem rupturas no lenho (Estampa 10, Figura 6).

- *Retemedulloxylon refertum* Merlotti, 1998a

Holótipo: Pb 053/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampas 11 e 12)

Origem: Aterrado Torto, Município de Pouso Redondo, Propriedade de Nildo Moura, SC, Brasil, 3 km ao sul do km 262 da BR-470 (Coordenadas geográficas: latitude 27°17'340'' / longitude 49°52'566'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

#### Análise Morfológica

Fragmento silicificado de lenho, descorticado, aproximadamente cilíndrico. O exemplar tem 20,0 cm de comprimento e diâmetro médio de 18,7 cm (diâmetro maior = 22,5 cm; diâmetro menor = 15,0 cm). Superfície externa de coloração ocre a amarelo pálido, bastante irregular, com diversas angulosidades e perda de partes do lenho secundário (Estampa 11, Figura 1). Na seção transversal polida, de coloração escura, observam-se anéis de crescimento sinuosos e indistintos e uma grande medula central. Próximo a região medular destaca-se uma grande cavidade, e outras menores, situadas mais periféricamente (Estampa 11, Figura 2).

#### Análise Anatômica

A medula, acentuadamente ampla (3,8 cm de diâmetro) e bem preservada, tem contorno aproximadamente circular, é homocelular e lacunosa-diafragmada. Transversalmente, observa-se o rompimento dos diafragmas parenquimáticos (Estampa 11, Figura 3).

O xilema primário, endárqueo, em vista transversal apresenta-se pouco diferenciado do xilema secundário e rompido em várias regiões.

O xilema secundário, de constituição homoxílica, apresenta anéis de crescimento bem definidos, com passagem acentuada do lenho inicial para o lenho final, e falsos anéis de crescimento (Estampa 11, Figuras 4-6). Os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 82 a 154 traqueídeos com uma espessura média de 2,80 mm. O lenho inicial é composto, aproximadamente, em cada anel, por 80 a 151 traqueídeos que perfazem em média

de 2,72 mm de largura e o lenho final, por 2 a 3 traqueídeos, com uma média de 0,08 mm de largura. Salientam-se a reduzida distorção do percurso normal dos traqueídeos e áreas em que as células apresentam-se rompidas e compactadas (Estampa 12, Figura 1).

#### Análise Mineralógica

A medula, em vista transversal, apresenta células parenquimáticas preenchidas por calcedônia fibrogranular, fibrorradiada e microquartzo. Verifica-se a presença de piritita dispersa e em escassos aglomerados. Concentrações lenticulares de megaquartzo aparecem nas áreas com maior concentração de calcedônia fibrorradiada, de onde provem veios de calcedônia granular e fibrogranular que rompem o xilema secundário. Radialmente, não se verifica a presença de megaquartzo.

O xilema secundário apresenta diversas rupturas, principalmente na região próxima a medula, ocasionadas pelos veios de calcedônia granular e fibrogranular que ocorrem paralelo e perpendicularmente aos raios lenhosos, rompendo as células (Estampa 12, Figura 2). Em vista radial, os raios lenhosos e os traqueídeos apresentam-se deformados nas áreas onde ocorre a precipitação de calcedônia e megaquartzo (Estampa 12, Figura 3).

- *Aterradoxylon solidum* Merlotti, 1999a

Holótipo: Pb 064/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 13)

Origem: Aterrado Torto, Município de Pouso Redondo, Propriedade de Nildo Moura, SC, Brasil, 3 km ao sul do km 262 da BR-470 (Coordenadas geográficas: latitude 27°17'340''/ 49°52'566'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

#### Análise Morfológica

Fragmento lenhoso silicificado e descorticado, aproximadamente cilíndrico, com comprimento médio de 18,5 cm (comprimento maior = 20,0 cm; comprimento menor = 17,2 cm) e diâmetro médio de 8,3 cm (diâmetro maior = 10,6 cm; diâmetro menor = 6,0 cm). A superfície externa, de coloração grafite, gradando para o cinza, é irregular, com contorno

elíptico devido a compressão lateral sofrida pelo fragmento (Estampa 13, Figura 1). Em seção transversal polida, de coloração negra, é visível uma medula central elíptica, mas não é possível observar anéis de crescimento (Estampa 13, Figura 2).

#### Análise Anatômica

A medula, de tamanho médio (1,0 cm de diâmetro), tem contorno elíptico-lobulado e é heterocelular devido a presença de cavidades secretoras de origem lisígena, com conteúdo escuro, dispersas no tecido parenquimático (Estampa 13, Figura 3). As células parenquimáticas, transversalmente, apresentam-se colapsadas e deformadas por efeito da compactação. Longitudinalmente, observa-se a escassa e insuficiente preservação do tecido que, quando presente, encontra-se representado por acúmulos de células comprimidas.

O xilema primário, endárqueo, revela precária preservação e pouca diferenciação da medula, tanto transversalmente, quanto longitudinalmente.

O lenho secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento sinuosos que acompanham a lobulação medular (Estampa 13, Figura 4). Observa-se a passagem abrupta do lenho inicial para o lenho final (Estampa 13, Figura 5). O lenho inicial acha-se composto por um grande número de células, que perfazem 2,0 mm de extensão, e o lenho final por 8 a 12 traqueídeos, correspondentes a 0,02 mm de extensão. Destaca-se a presença de numerosos falsos anéis de crescimento de aspecto distorcido. Salienta-se, ainda, a acentuada alteração do percurso normal dos traqueídeos e o rompimento e a compactação do tecido.

#### Análise Mineralógica

A medula, transversalmente, apresenta células parenquimáticas preenchidas por calcedônia microcristalina, fibrorradiada e microquartzo. A maioria destas células está deformada por efeito de cristalização e por esforços de compactação. Cristais de pirita ocorrem associados à precipitações de calcedônia microgranular, localmente e de forma aglomerada ou dispersa por toda a medula. Radialmente, ocorrem cristais de pirita e microquartzo no interior das células.

O xilema secundário também encontra-se, transversalmente, bastante deformado por efeito de cristalização e por esforços de compactação. Cristais de pirita e “rosetas” de calcedônia, de diversos tamanhos, são encontrados no interior dos traqueídeos rompendo o tecido (Estampa 13, Figura 6). Longitudinalmente, observa-se a presença de megacristais de pirita e de cristais menores no interior dos traqueídeos e dos raios lenhosos e

de aglomerados do tipo “rosetas” de calcedônia e microquartzo, produzindo, da mesma forma, o rompimento do tecido.

- *Mussaeoxylon seclusum* Merlotti, 1998b

Holótipo: Pb 066/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampas 14 e 15)

Origem: Aterrado Torto, Município de Pouso Redondo, Propriedade de Nildo Moura, SC, Brasil, 3 km ao sul do km 262 da BR-470 (Coordenadas geográficas: latitude 27°17'340'' / longitude 49°52'566'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

#### Análise Morfológica

Fragmento silicificado de lenho, descorticado, aproximadamente cilíndrico. O comprimento médio é de 4,1 cm (comprimento maior = 4,8 cm; comprimento menor = 3,4 cm) e o diâmetro médio é de 3,3 cm (diâmetro maior = 4,2 cm; diâmetro menor = 2,4 cm). O fragmento foi comprimido lateralmente e sua superfície externa, de coloração ocre amarelada, é irregular, com perda parcial do lenho secundário (Estampa 14, Figura 1). Apresenta quatro cicatrizes foliares ou de ramos, com arranjo helicoidal. Em seção transversal polida, de coloração castanha escura, são visíveis anéis de crescimento regulares e a medula (Estampa 14, Figura 2).

#### Análise Anatômica

A medula, de tamanho médio (0,9 cm de diâmetro médio) e muito bem preservada, tem contorno elíptico alongado e é maciça e heterocelular (Estampa 14, Figura 3). Os esclereídeos, com lúmen reduzido e paredes celulares com grande espessura, são encontrados dispersos ou agrupados no parênquima medular (Estampa 14, Figura 4).

O xilema primário, endárqueo, apresenta-se, em vista transversal, muito distorcido e rompido.

O xilema secundário, de constituição homoxílica, apresenta anéis de crescimento definidos, com passagem abrupta do lenho inicial para o lenho final, e numerosos falsos anéis de crescimento (Estampa 14, Figuras 5 e 6). Apesar de seu precário estado de

preservação é possível observar, em seção transversal, que os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 95 a 110 traqueídeos com uma largura média de 1,95mm. O lenho inicial é composto, aproximadamente, em cada anel, por 92 a 106 traqueídeos que perfazem, em média, de 1,91 mm de largura. O lenho final, composto por 3 a 4 traqueídeos, corresponde a uma média de 0,04 mm de largura. Destaca-se a distorção do percurso normal dos traqueídeos e a presença do grande número de regiões rompidas, fragmentadas e distorcidas (Estampa 15, Figuras 1 e 2).

#### Análise Mineralógica

A medula apresenta células parenquimáticas e esclerenquimáticas preenchidas por calcedônia fibrorradiada e por microquartzo. Verifica-se, transversalmente, a presença de cristais de pirita dispersos e, radialmente, a presença dos mesmos também no interior das células.

O xilema secundário apresenta, independentemente da seção considerada, rupturas e deformações ocasionadas por veios e aglomerados de “rosetas” de calcedônia microgranular e microquartzo, que comprimem e deformam os traqueídeos e os raios lenhosos, e a presença de cristais de pirita dispersos e aglomerados no interior das células (Estampa 15, Figura 3). Longitudinalmente, observam-se, ainda, deformações locais causadas por precipitações de megaquartzo.

- *Mussaeoxydon seclusum* Merlotti, 1998b

Parátipo: Pb 097/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 16)

Origem: Aterrado Torto, Município de Pouso Redondo, Propriedade de Nildo Moura, SC, Brasil, 3 km ao sul do km 262 da BR-470 (Coordenadas geográficas: latitude 27°17'340''/ 49°52'566'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

### Análise Morfológica

Fragmento lenhoso silicificado e descorticado, com forma aproximadamente cilíndrica (Estampa 16, Figura 1). Tem comprimento médio de 3,3 cm (comprimento maior = 5,5 cm; comprimento menor = 1,2 cm) e diâmetro médio de 2,2 cm (diâmetro maior = 2,8 cm; diâmetro menor = 1,6 cm). Pode-se observar, transversalmente, perda considerável do xilema secundário. A superfície externa, de coloração ocre amarelada, é bastante irregular, mas com poucas angulosidades. Em seção transversal polida, de coloração acinzentada, são visíveis anéis de crescimento e a medula (Estampa 16, Figura 2).

### Análise Anatômica

A medula, pequena (0,45 cm de diâmetro médio) e muito bem preservada, tem contorno elipsoidal alongado e é maciça e heterocelular (Estampa 16, Figura 3). Os esclereídeos são encontrados dispersos ou agrupados e possuem lúmen reduzido e espessas paredes celulares.

O xilema primário endárqueo, apresenta-se, transversalmente, rompido em algumas áreas.

O xilema secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento definidos, com passagem acentuada do lenho inicial para o lenho final. São visíveis, também, falsos anéis de crescimento (Estampa 16, Figuras 4 e 5). Em seção transversal, os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 113 a 150 traqueídeos com uma espessura média de 2,64 mm. O lenho inicial é composto, aproximadamente, em cada anel, por 110 a 146 traqueídeos com uma amplitude média de 2,57 mm. O lenho final, composto por 3 a 4 traqueídeos, corresponde a uma largura média de 0,06 mm. Em geral, o tecido encontra-se bem preservado, com pouca distorção do percurso normal dos traqueídeos e com rompimentos e compactações ocasionais (Estampa 16, Figura 6).

### Análise Mineralógica

A medula apresenta, transversalmente e radialmente, células parenquimáticas e esclerenquimáticas preenchidas por calcedônia fibrorradiada, calcedônia granular e microquartzo, além de cristais de pirita dispersos. Apresenta uma leve oxidação em algumas áreas. No seu interior, é possível verificar, radialmente, a formação de nódulos de calcedônia radiada.

O xilema secundário, transversalmente e longitudinalmente, apresenta-se rompido por veios de calcedônia fibrorradiada e por lentes de calcedônia fibrogranular.

Cristais de pirita encontram-se dispersos pelo tecido. Observa-se uma leve oxidação em áreas restritas. Em vista tangencial, é possível visualizar as paredes das células “cobertas” por calcedônia fibrorradiada.

- *Retemedulloxylon reliquum* Merlotti, 1998a

Parátipo: Pb 124/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampas 17 e 18)

Origem: Aterrado Torto, Município de Pouso Redondo, Propriedade de Nildo Moura, SC, Brasil, 3 km ao sul do km 262 da BR-470 (Coordenadas geográficas: latitude 27°17'340'' / 49°52'566'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

#### Análise Morfológica

Fragmento silicificado de lenho, descorticado, aproximadamente cilíndrico, com comprimento médio de 14,2 cm (comprimento maior = 17,5 cm; comprimento menor = 11,0 cm) e diâmetro médio de 7,2 cm (diâmetro maior = 9,0 cm; diâmetro menor = 6,5 cm). O fragmento tem superfície externa irregular, ocre amarelada, com alguma angulosidade e pouca compactação, além de perda parcial do xilema secundário (Estampa 17, Figura 1). Em seção transversal polida, de coloração acinzentada, observam-se anéis de crescimento e a medula (Estampa 17, Figuras 2).

#### Análise Anatômica

A medula ampla (2,25 cm de diâmetro médio), tem contorno, aproximadamente, elipsoidal alongado, é homocelular, maciça a lacunosa-diafragmada. As células parenquimáticas encontram-se muito rompidas e compactadas e o tecido como um todo apresenta-se mal preservado (Estampa 17, Figura 3).

O xilema primário, endárqueo, apresenta-se muito rompido e pouco preservado.

O xilema secundário tem constituição homoxílica e apresenta anéis de crescimento definidos, com passagem acentuada do lenho inicial para o lenho final (Estampa

17, Figura 4). São visíveis também falsos anéis de crescimento (Estampa 17, Figura 5). Transversalmente, os anéis de crescimento verdadeiros apresentam 122 a 140 traqueídeos com uma espessura média de 3,29 mm. O lenho inicial, composto, em cada anel, por 120 a 137 traqueídeos, corresponde a uma largura média de 3,20 mm. O lenho final, é composto aproximadamente por 2 a 3 traqueídeos que perfazem, em média, 0,09 mm. Salienta-se a distorção do percurso normal dos traqueídeos (Estampa 17, Figura 6). Em algumas regiões as células apresentam-se bem preservadas conservando o contorno aproximadamente circular. O tecido encontra-se distorcido e compactado, principalmente na região mais próxima da medula.

#### Análise Mineralógica

A medula apresenta, transversalmente, células parenquimáticas preenchidas por calcedônia fibrorradiada, microquartzo e cristais de pirita dispersos e em aglomerados, com leves sinais de oxidação. Veios de calcedônia fibrorradiada e de megaquartzo irradiam-se da região medular. Longitudinalmente, deformações são bem visíveis devido as cristalizações de megaquartzo e de calcedônia fibrorradiada e granular fina.

O xilema primário, endárqueo, apresenta rompimentos causados pelos veios de calcedônia e megaquartzo que se desenvolvem a partir da medula.

O xilema secundário também exhibe rompimentos causados por estes veios (Estampa 18, Figuras 1 e 2). Longitudinalmente, cristalizações em “rosetas” localizadas deformam os traqueídeos e raios lenhosos.

### 6.3. Amostras do Município de Witmarsun

- *Retemedulloxylon reliquum* Merlotti, 1998a

Parátipo: Pb 008/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampas 19 e 20)

Origem: Alto Rio Kräuel, Município de Witmarsun, Propriedade de Inácio Hilleshein, SC, Brasil (Coordenadas geográficas: latitude 26°59'149''/longitude 49°55'392'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão,

## Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

### Análise Morfológica

Fragmento silicificado de lenho, descorticado, com contorno semi-quadrangular. Seu comprimento médio é de 17,0 cm (comprimento maior = 19,5 cm; comprimento menor = 14,5 cm) e o diâmetro médio de 14,0 cm (diâmetro maior = 17,0; diâmetro menor = 11,0). A superfície externa, de coloração ocre amarelada, apresenta uma leve compactação lateral (Estampa 19, Figura 1). Na seção transversal polida, castanha escura, são visíveis anéis de crescimento e uma grande cavidade central correspondente a região medular (Estampa 19, Figura 2).

### Análise Anatômica

A medula é grande (1,6 cm de diâmetro médio), com contorno elíptico alongado, homocelular, maciça a lacunosa-diafragmada (Estampa 19, Figura 3). O tecido parenquimático, acentuadamente mal preservado, está representado apenas na região periférica do corpo medular, dando lugar a uma grande cavidade central.

O xilema primário, endárqueo, apresenta-se bem preservado em algumas regiões.

O xilema secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento bem definidos (Estampa 19, Figura 4). A passagem do lenho inicial para o lenho final é brusca (Estampa 19, Figura 5). Apresenta falsos anéis de crescimento (Estampa 19, Figura 6). Os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 70 a 120 traqueídeos com uma largura média de 1,17 mm. O lenho inicial é composto, aproximadamente, em cada anel, por 68 a 117 traqueídeos que perfazem, em média, uma largura de 1,09 mm. O lenho final, composto por 2 a 3 traqueídeos, corresponde, em média, a 0,08 mm. Destaca-se a acentuada alteração do percurso normal dos traqueídeos e a acentuada distorção e compactação do tecido (Estampa 20, Figuras 1 e 2).

### Análise Mineralógica

Transversalmente, as células parenquimáticas da medula estão, em grande parte, preenchidas por calcedônia fibrorradiada (Estampa 20, Figura 3), megaquartzo e cristais de pirita. Longitudinalmente, observa-se que dela projetam-se veios de calcedônia fibrorradiada e granular e megaquartzo.

O xilema primário apresenta-se deformado pelos veios de megaquartzo provenientes da medula.

No xilema secundário, em seção transversal, observa-se que estes veios, que ocorrem paralelo ou transversalmente aos raios lenhosos, e a cristalização localizada de calcedônia rompem o xilema secundário. A maioria das células está deformada por efeito de cristalização e por esforços de compactação. Longitudinalmente, verifica-se a substituição das células, por calcedônia fibrorradiada, as quais apresentam algumas deformações causadas por cristalizações de calcedônia granular.

- *Retemedulloxylon reliquum* Merlotti, 1998a

Parátipo: Pb 266k/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampas 21 e 22)

Origem: Alto Rio Kräuel, Município de Witmarsum, Propriedade de Inácio Hilleshein, SC, Brasil (Coordenadas geográficas: latitude 26°59'149''/longitude 49°55'392'')

Estratótipo: Membro Paraguaçu, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

#### Análise Morfológica

Fragmento lenhoso silicificado e descorticado, com formato aproximadamente quadrangular (Estampa 21, Figura 1). O material faz parte de uma seqüência longitudinal de dezesseis fragmentos interconectados (Estampa 21, Figura 2). O comprimento médio é de 7,2 cm (comprimento maior = 9,5 cm; comprimento menor = 5,0 cm) e o diâmetro médio é de 13,5 cm (diâmetro maior = 15,5 cm; diâmetro menor = 11,6 cm). O material está bem preservado, apresentando uma leve compactação lateral e superfície externa irregular de coloração ocre amarelada. Em seção transversal polida, de coloração acinzentada com a região periférica mais clara, salientam-se anéis de crescimento pouco visíveis e a região medular.

#### Análise Anatômica

A medula, grande (1,5 cm de diâmetro médio) e razoavelmente bem preservada, tem contorno aproximadamente elíptico, é homocelular, maciça a lacunosa-

diafragmada (Estampa 21, Figura 3). O tecido parenquimático encontra-se acentuadamente rompido.

O xilema primário, endárqueo, também apresenta rupturas evidentes.

O xilema secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento definidos, com passagem acentuada do lenho inicial para o lenho final (Estampa 21, Figura 4). São visíveis também falsos anéis de crescimento (Estampa 21, Figuras 5 e 6). Os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 29 a 44 traqueídeos com uma espessura média de 0,89 mm. O lenho inicial é composto, aproximadamente, por 27 a 41 traqueídeos, tendo uma largura média de 0,85 mm. O lenho final, com 2 a 3 traqueídeos, corresponde a 0,04 mm. Os traqueídeos, cujo percurso normal está distorcido, têm aspecto denso, apresentando células achatadas e comprimidas (Estampa 22, Figuras 1 e 2).

#### Análise Mineralógica

A medula apresenta, transversalmente e longitudinalmente, grande quantidade de cristais de pirita isolados e em aglomerados circulares e de “rosetas” de calcedônia microgranular e fibrorradiada dispersas pelas células (Estampa 21, Figura 3). Alguns pontos apresentam sinais de leve oxidação.

O xilema secundário mostra, transversalmente, diversas rupturas produzidas pela cristalização de “rosetas” de calcedônia e microquartzo que deformam os raios lenhosos e os traqueídeos. Diferentemente da medula, no xilema a pirita ocorre, predominantemente, na forma de cristais isolados dispersos e apenas alguns aglomerados. Longitudinalmente, observa-se a presença ocasional de pirita em fraturas e cimentando “fragmentos” de calcedônia, sugerindo ser sua ocorrência posterior a da calcedônia. O tecido também apresenta nódulos e “rosetas” de calcedônia microcristalina e veios de calcedônia granular, os quais produzem rompimentos nos raios lenhosos.

#### 6.4. Amostras do Município de Salete

- Morfogênero D

Holótipo: Pb 299/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 23)

Origem: Município de Salete, SC, Brasil, 4 km ao norte da cidade (Coordenadas geográficas: latitude 26°56'896''/ longitude 49°59'852'')

Estratótipo: Limite do Membro Paraguaçu com o Membro Siderópolis, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

##### Análise Morfológica

Fragmento silicificado e descorticado de lenho secundário, com comprimento de 23,1 cm e diâmetro médio de 10,6 cm (diâmetro maior = 16 cm; diâmetro menor = 5,3 cm) (Estampa 23, Figura 1). Transversalmente, observa-se o formato aproximadamente trapezoidal, com superfície externa de coloração ocre amarelada, irregular e bastante angulosa. A seção transversal polida apresenta coloração cinza clara e não exibe anéis de crescimento visíveis (Estampa 23, Figura 2).

##### Análise Anatômica

O exemplar não apresenta medula e xilema primário.

O xilema secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento verdadeiros pouco definidos, com passagem muito suave do lenho inicial para o lenho final (Estampa 23, Figuras 3 e 4). Não apresenta falsos anéis de crescimento. É possível observar que os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 267 a 289 traqueídeos, com uma espessura média de 12,57 mm. O lenho inicial (Estampa 23, Figura 5), compõe-se por, aproximadamente, 265 a 285 traqueídeos que perfazem uma largura média de 12,43 mm. O lenho final, com 2 a 4 traqueídeos, corresponde, em média, a 0,14 mm. Verifica-se pouca distorção do percurso normal dos traqueídeos e boa preservação do tecido, o qual apresenta pouca compactação.

## Análise Mineralógica

O xilema secundário revela, transversalmente, deformações devido a presença de lentes e veios de megaquartzo circundados por calcedônia fibrorradiada (Estampa 23, Figura 6). Longitudinalmente, observa-se a presença de calcedônia granular.

- Morfogênero E

Holótipo: Pb 300/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 24)

Origem: Município de Salete, SC, Brasil, 4 km ao norte da cidade (Coordenadas geográficas: latitude 26°56'896''/ longitude 49°59'852'')

Estratótipo: Limite do Membro Paraguaçu com o Membro Siderópolis, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

## Análise Morfológica

Fragmento silicificado e descorticado de lenho secundário, com contorno aproximadamente triangular. Seu comprimento médio é de 8,9 cm (comprimento maior = 14,2 cm; comprimento menor = 3,7 cm) e o diâmetro médio de 14,2 cm (diâmetro maior = 16,0 cm; diâmetro menor = 12,5 cm). A superfície externa, de coloração castanha, é bastante irregular e tem diversas angulosidades (Estampa 24, Figura 1). Na seção transversal polida, de coloração cinza escura e com a região periférica amarelada, os anéis de crescimento são fracamente visíveis (Estampa 24, Figura 2).

## Análise Anatômica

O exemplar não apresenta medula e xilema primário.

O xilema secundário é homoxílico e apresenta anéis de crescimento verdadeiros pouco marcados, com passagem gradativa do lenho inicial para o lenho final (Estampa 24, Figuras 3 e 4). Não apresenta falsos anéis de crescimento. Os anéis de crescimento verdadeiros apresentam de 251 a 264 traqueídeos, com uma espessura média de 7,36 mm. O lenho inicial, composto, aproximadamente, por 249 a 261 traqueídeos, tem uma largura média de 7,24 mm. O lenho final, com 2 a 3 traqueídeos em cada anel, corresponde, em média, a 0,12 mm. O percurso normal dos traqueídeos revela pouca distorção e o tecido,

em geral, encontra-se bem preservado, apresentando algumas áreas compactadas e rompidas (Estampa 24, Figura 5).

#### Análise Mineralógica

O xilema secundário apresenta, transversalmente, deformações causadas por lentes e veios de megaquartzo (Estampa 24, Figura 6). Cristais de quartzo são circundados por calcedônia fibrorradiada e as lentes de megaquartzo por calcedônia microgranular. Verifica-se, longitudinalmente, a presença de cristais de pirita dispersos ao redor dos veios, sob os traqueídeos e no seu interior.

### 6.5. Amostras do Município de Rancho Queimado

- Morfogênero F

Holótipo: Pb 087/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 25)

Origem: Chapadão Serra da Boa Vista, Município de Rancho Queimado, Propriedade de Neri Schütz e Leonardo Schütz Neto, SC, Brasil, à 6,4 km, por estrada secundária da Rodovia BR-282 (Coordenadas geográficas: latitude 27°41'942"/longitude 49°10'257")

Estratótipo: Membro Siderópolis, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

#### Análise Morfológica

Fragmento silicificado e descorticado de lenho secundário, com comprimento de 25,5 cm e diâmetro médio de 9,7 cm (diâmetro maior = 11,0 cm; diâmetro menor = 8,5 cm). O fragmento, bastante quebradiço, encontra-se acentuadamente fraturado e sua superfície externa, de coloração ocre amarelada, apresenta um grande número de superfícies angulosas e irregulares (Estampa 25, Figura 1). Em seção transversal polida, de coloração cinza clara, não são observáveis anéis de crescimento (Estampa 25, Figura 2).

## Análise Anatômica

O exemplar não apresenta medula e xilema primário.

O xilema secundário é homoxílico e, aparentemente, não apresenta anéis de crescimento verdadeiros ou falsos (Estampa 25, Figura 3). Salienta-se a reduzida distorção do percurso normal dos traqueídeos e a boa preservação do tecido que, em geral, revela pouca compactação (Estampa 25, Figura 4).

## Análise Mineralógica

Transversalmente, os traqueídeos estão preenchidos por calcedônia fibrosa e microquartzo, encontrando-se alguns deformados por cristalizações em seu interior. Ocorrem cristais de pirita dispersos pelo tecido. É possível observar um grande veio de calcedônia fibrosa, com 0,05 mm de espessura, rompendo o xilema, paralelamente aos raios, e deformando as células mais próximas. Longitudinalmente, observa-se a presença de calcedônia fibrorradiada no interior das células.

- Morfogênero G

Holótipo: Pb 090/UFSC, Departamento de Botânica, Laboratório de Paleobotânica, CCB, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), SC, Brasil (Estampa 26)

Origem: Chapadão Serra da Boa Vista, Município de Rancho Queimado, Propriedade de Neri Schütz e Leonardo Schütz Neto, SC, Brasil, à 6,4 km, por estrada secundária, da Rodovia BR-282 (Coordenadas geográficas: latitude 27°41'942"/longitude 49°10'257")

Estratótipo: Membro Siderópolis, Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, Supergrupo Tubarão, Bacia do Paraná

Idade: Topo do Permiano Inferior

## Análise Morfológica

Fragmento silicificado e descorticado de lenho secundário, aproximadamente cilíndrico, com comprimento médio de 21,5 cm (comprimento maior = 23,0 cm; comprimento menor = 20,0 cm) e diâmetro médio de 12,7 cm (diâmetro maior = 14,0 cm; diâmetro menor = 11,5 cm). A superfície externa, de coloração amarela esbranquiçada, bastante irregular,

apresenta angulosidades e pouca compactação (Estampa 26, Figura 1). Apresenta duas cicatrizes de ramos. Em seção transversal polida, de coloração cinza clara, não são visíveis anéis de crescimento (Estampa 26, Figura 2).

#### Análise Anatômica

O exemplar não apresenta medula e xilema primário.

O xilema secundário, bem preservado, é homoxílico e apresenta anéis de crescimento verdadeiros pouco definidos, com passagem suave do lenho inicial para o lenho final (Estampa 26, Figuras 3 e 4). Não apresenta falsos anéis de crescimento. Devido a grande extensão do lenho inicial não é possível observar o número de traqueídeos presentes. O lenho final com 4 traqueídeos, tem largura média de 0,25 mm. O percurso normal dos traqueídeos apresenta-se pouco distorcido (Estampa 26, Figura 5) e o tecido exhibe rompimentos em algumas regiões (Estampa 26, Figura 6).

#### Análise Mineralógica

Verifica-se, transversalmente, a ocorrência de cristais de pirita dentro e sob os raios lenhosos, os quais tem suas células preenchidas por calcedônia. Observa-se uma ruptura no xilema ocasionada por um veio de calcedônia fibrogranular. Longitudinalmente, a estrutura do lenho está bem preservada, completamente preenchida por calcedônia e microquartzo. Salienta-se a ocorrência de um veio de calcedônia fibrosa rompendo o xilema.

## 7. DISCUSSÃO

Considerando-se que os lenhos analisados são oriundos de municípios onde afloram sedimentos pertencentes aos três membros da Formação Rio Bonito – Itaiópolis (Rio da Estiva) correspondente ao Membro Triunfo, Pouso Redondo (Aterrado Torto) e Witmarsun (Alto Rio Kraüel) ao Membro Paraguaçu, Salete ao limite do Membro Paraguaçu com o Membro Siderópolis e Rancho Queimado (Chapadão Serra da Boa Vista) ao Membro Siderópolis – informações tafonômicas e paleoecológicas extraídas destes lenhos, associadas à paleogeografia, subsidiam a interpretação paleoambiental da referida formação.

Algumas características morfológicas, como a disposição horizontalizada na superfície do solo nos afloramentos, o fraturamento, a compactação com achatamento do diâmetro original e a irregularidade superficial, são comuns a todos os espécimes lenhosos analisados, independentemente de sua procedência. Com exceção da disposição nos afloramentos, as outras características morfológicas apresentam alguma variabilidade, em maior ou menor grau, conforme o afloramento considerado. Assim, os espécimes procedentes de Pouso Redondo e Witmarsun apresentam o menor grau de fraturamento, compactação e irregularidade superficial. Já os espécimes oriundos de Itaiópolis, Salete e Rancho Queimado, encontram-se mais compactados e deformados superficialmente, exibindo, morfológicamente, uma qualidade preservacional inferior a dos afloramentos anteriormente citados.

Os espécimes dos cinco afloramentos não encontravam-se em seus habitats originais ou em posição de vida, sugerindo tratar-se de material alóctone, sujeito ao transporte pré-soterramento, cuja intensidade foi menor nas localidades de Pouso Redondo e Witmarsun e mais acentuada nas localidades de Itaiópolis, Salete e Rancho Queimado. As alterações pré-soterramento, resultantes do transporte, são evidenciadas pelo grande número de superfícies angulosas e irregulares e pelo grau de fraturamento. Grande parte das assembléias de plantas fósseis resultam da acumulação de órgãos separados que sofreram algum tipo de transporte do local de crescimento para o local de depósito. Spicer (1989) considera que os lenhos podem ser transportados por grandes distâncias e por longos períodos, sendo submetidos a alguns ciclos de depósitos e remobilização antes do sepultamento final. Este autor afirma ainda que, durante longos períodos de imersão em água,

a ação microbiana enfraquece consideravelmente os tecidos e os torna susceptíveis, não só a ação de consumidores e decompositores, mas também à degradação mecânica.

Outra alteração verificada nos lenhos, como a forte compressão, com achatamento do diâmetro original, pode ser interpretada como injúria de ordem abiótica, resultante da compactação dos sedimentos, relacionando-se a eventos pós-deposicionais. Após o soterramento, as plantas sofrem algum grau de compactação ou achatamento, quando sobre elas é depositado sedimento adicional. Segundo Spicer (1991), a única exceção a isso é quando a mineralização ocorre quase imediatamente e antes que ocorra uma carga significativa de sedimentos.

A análise anatômica dos espécimes lenhosos corrobora os resultados da análise morfológica a respeito dos efeitos do transporte: alterações pré-soterramento são evidenciadas pela presença de corpo medular nos espécimes de Pouso Redondo e Witmarsum, diferentemente dos espécimes oriundos de Itaiópolis, Salete e Rancho Queimado, compostos, exclusivamente, por xilema secundário. Outra modificação observada, como produto dos processos bióticos de decomposição ou de injúrias de ordem abiótica produzidas pela compactação dos sedimentos, é o estado de preservação dos elementos celulares. Apesar de terem sofrido acentuado transporte antes do soterramento, os exemplares oriundos de Salete e Rancho Queimado apresentam xilema secundário com células mais íntegras e bem preservadas e com pouca distorção do percurso normal dos traqueídeos (Estampa 24, Figura 5; Estampa 25, Figura 4; Estampa 26, Figura 5). Os exemplares oriundos de Itaiópolis foram os mais insuficientemente preservados, revelando elementos celulares em estado precário de preservação e acentuada distorção do percurso normal dos traqueídeos, provavelmente, devido ao achatamento produzido pela compactação dos sedimentos (Estampa 6, Figura 6, Estampa 7, Figuras 5 e 6; Estampa 8, Figura 6). Spicer (*op. cit.*) cita que, em escala microscópica, a compactação leva a destruição de detalhes celulares, uma vez que há perda de água e as paredes celulares opostas são impelidas a um contato.

Ainda que os espécimes estudados sejam elementos alóctones, em relação ao ambiente do qual procedem, suas características anatômicas revelam importantes informações em relação ao paleoambiente onde a planta se desenvolveu. Segundo Mussa (1982a), a medula e o corpo primário dos lenhos são entidades que, por sua natureza, retêm mais feições expressivas da filogenia. Já o corpo secundário reflete tendências ou linhas de especialização, quase sempre expressando a ordem das influências ambientais. Neste sentido, os espécimes provenientes de Pouso Redondo e Witmarsum apresentam medulas com características que podem ser consideradas respostas ecológicas destas plantas a determinadas condições

ambientais. Deste modo, a lacunarização da medula, apresentada pelos exemplares de *Retemedulloxylon reliquum* (Pb 005/UFSC, Pb 124/UFSC, Pb 008/UFSC e Pb 266k/UFSC) e *Retemedulloxylon refertum* (Pb 053/UFSC), por analogia com plantas modernas, pode ser interpretada como recurso utilizado por estas plantas face a condições ambientais desfavoráveis ao seu desenvolvimento (Estampa 9, Figura 3; Estampa 11, Figura 3; Estampa 17, Figura 3; Estampa 19, Figura 3; Estampa 21, Figura 3). Eames e Mc Daniels (1925), Mussa (1986b) e Merlotti (1994) indicam que, em ambientes aquáticos, esta lacunarização pode representar funcionalmente um padrão estrutural para armazenamento de ar ou de águas pouco oxigenadas, ou para armazenamento de água, quando manifesta em ambientes áridos, constituindo, neste caso, um recurso xeromórfico. Da mesma forma, a presença de tecido esclerenquimático, como observado na medula dos espécimes de *Mussaeoxyylon seclusum* (Pb 066/UFSC e Pb 097/UFSC) (Estampa 14, Figuras 3 e 4; Estampa 16, Figura 3), segundo Fahn (1985), tem, principalmente, função mecânica, o que para Merlotti (*op. cit.*) representa uma adaptação à inconsistência do substrato, uma vez que este tecido confere maior rigidez e estabilidade ao corpo da planta.

As características dos anéis de crescimento observadas no corpo lenhoso secundário dos espécimes estudados podem ser relacionadas com flutuações de temperatura ou disponibilidade de água, oferecendo bases para deduções paleoclimáticas. Segundo Fahn (*op. cit.*), a atividade periódica do câmbio vascular é responsável pela formação destes anéis devido a uma grande variação no período e intensidade de sua atividade, resultante da ação de diferentes fatores internos e externos. Creber e Chaloner (1984) afirmam que o clima, produto da latitude, altitude, intensidade luminosa e situação geográfica do local de crescimento, determina o suprimento de água da planta, a temperatura do ambiente e a duração da estação de crescimento (Figura 5). Todos estes efeitos, que interagem com os processos fisiológicos da árvore, tornam-se impressos no lenho. Chapman (1994) menciona que nas estações mais frias e secas a atividade cambial cessa por algum tempo durante cada ano, destacando-se como uma zona de células mais estreitas e com paredes mais espessas, o lenho final. O reinício da atividade produz células grandes e com paredes mais finas, o lenho inicial. Para Chaloner e Creber (1984), o início da formação do lenho inicial e a subsequente mudança para a produção de lenho final são controlados, principalmente, pela duração dos dias, o fotoperíodo. Assim, o início do crescimento de um anel, em uma árvore de ambiente temperado, é, até certo ponto, programado por uma indução na duração dos dias, enquanto a quantidade de células do lenho inicial e do lenho final é controlada pelo ambiente ao qual a árvore está exposta.

Os exemplares oriundos de Itaiópolis, provenientes do intervalo inferior da Formação Rio Bonito, Membro Triunfo, apresentam anéis de crescimento verdadeiros definidos, com aspecto denso, e não revelam falsos anéis de crescimento. Apesar do precário estado de preservação, é possível observar que estes anéis têm uma amplitude média e transição acentuada do lenho inicial para o lenho final (Estampa 6, Figura 5; Estampa 7, Figura 4; Estampa 8, Figura 5). Mayer (1989), analisando amostras de lenho provenientes de Itaiópolis e Salete, observou anéis de crescimento mais conspícuos e estreitos nos primeiros, e características menos acentuadas, em anéis mais amplos, nos últimos. A autora interpreta a sazonalidade, evidenciada pelos anéis de crescimento, mais como função de uma variação da umidade, onde a pluviosidade é maior na estação de crescimento e reduzida na estação de dormência, do que da variação de temperaturas.

Foram observados, nitidamente, anéis de crescimento bem definidos e mais estreitos, com uma transição brusca do lenho inicial para o lenho final, nos espécimes provenientes de Pouso Redondo e Witmarsun, oriundos do intervalo médio da Formação Rio Bonito, Membro Paraguaçu (Estampa 9, Figura 4; Estampa 11, Figura 5; Estampa 13, Figura 5; Estampa 14, Figura 6; Estampa 16, Figura 5; Estampa 17, Figura 5; Estampa 19, Figura 5; Estampa 21, Figura 5). A presença destes anéis de crescimento bem marcados sugerem variações climáticas cíclicas. Para Chaloner e McElwain (1997) árvores que se desenvolvem sob um clima estacional, úmido ou seco e/ou quente ou frio, apresentam anéis de crescimento distintos. No Gondwana, segundo Chaloner e Creber (1973,1984) e Creber e Chaloner (1984), lenhos do Permiano apresentam anéis de crescimento claramente definidos. Entre os exemplares das duas localidades, os de Witmarsun apresentam os anéis mais estreitos com médias de 1,17 a 0,89 mm de espessura. A espessura dos anéis pode variar de um ano para o outro de acordo com mudanças na luminosidade, temperatura e disponibilidade de água. Larcher (1986) afirma que condições desfavoráveis na época propícia ao crescimento, principalmente de falta d'água, resultam em anéis de crescimento mais estreitos. Isto é evidenciado por outra característica particular dos espécimes provenientes de Pouso Redondo e Witmarsun, a presença de falsos anéis de crescimento. Um período de seca pode impedir o aumento no diâmetro radial dos traqueídeos na zona de expansão das células. Se este período é seguido por um período de chuvas, células maiores irão novamente se desenvolver e o efeito observado no lenho são os falsos anéis de crescimento (Creber e Chaloner *op. cit.*). Para estes autores, um longo período de seca, no início da estação favorável ao crescimento, seguido de um período de grande pluviosidade, resulta em anéis de crescimento com amplitudes menores e com grande quantidade de falsos anéis de crescimento no lenho inicial. Chapman (1994)

registra que falsos anéis de crescimento podem ser formados durante períodos alternados de umidade do solo e falta de água durante uma estação de crescimento. Sendo assim, a avaliação conjunta das características apresentadas pelos lenhos oriundos de Pouso Redondo e Witmarsun sugere a presença de um clima sazonal, sujeito a períodos de estiagem longos, durante o início da estação de crescimento, e maior suprimento de água no final desta estação, conforme evidenciado pela presença de anéis de crescimento definidos e, em média, mais estreitos, e de numerosos falsos anéis de crescimento, além da presença de lacunarização medular e sistema esclerenquimático.

Os lenhos de Salete, pertencentes ao limite do intervalo médio, Paraguaçu, com o superior, Siderópolis, têm anéis de crescimento verdadeiros pouco distintos e amplos e não apresentam falsos anéis de crescimento (Estampa 23, Figura 4; Estampa 24, Figura 4). Os espécimes de Rancho Queimado, pertencentes a este último membro, são semelhantes aos de Salete. Um deles, morfogênero F (Pb 087/UFSC), não apresenta anéis de crescimento (Estampa 25, Figura 3), o outro, entretanto, morfogênero G (Pb 090/UFSC), apresenta anel de crescimento com lenho inicial extremamente extenso, com passagem suave deste para o lenho final, e não exhibe, também, falsos anéis de crescimento (Estampa 26, Figura 4). Segundo Chaloner e McElwain (1997), sob condições favoráveis ao crescimento, como em períodos com precipitação adequada, formam-se anéis amplos. Espécimes com tais características, ou sem anéis de crescimento, sugerem estações de crescimento prolongadas, com grande suprimento de água, em um clima mais regular e com menor sazonalidade.

Evidências paleogeográficas indicam que ao longo do Paleozóico, colisões sucessivas das placas continentais culminaram, entre o Carbonífero Superior e o Permiano Superior (250 Ma), com a formação do supercontinente Pangea. No final da Era, os mares rasos que cobriam os continentes durante a maior parte deste intervalo retraíram-se para as margens, caracterizando o Permiano como um período de emergência continental (Scotese *et al.* 1979). Dados baseados na distribuição de litofácies climaticamente sensíveis apontam que no intervalo compreendido entre o Carbonífero Inferior e o Permiano Inferior, o Pólo Sul, localizado no Carbonífero Inferior em posição próxima a costa sul da África (50°S 45°E) deslocou-se para leste posicionando-se, aproximadamente, no centro da Antártica (25°S 65°E) (Scotese e Barret 1990). Tal deslocamento produziu acentuadas mudanças, com climas passando de muito uniformes no Carbonífero para altamente diferenciados no Permiano. De acordo com Scotese *et al.* (*op. cit.*) e Zigler *et al.* (1979), durante este intervalo as regiões polares do Gondwana eram cobertas por gelo. Entretanto, no final do Permiano, o Pangea moveu-se para o norte em direção ao Equador e o continente gondvânico situou-se em

latitudes mais baixas ocupando um cinturão climático de natureza sazonal. Os climas, inicialmente frios, tornaram-se mais quentes e úmidos e as capas de gelo, então restritas a áreas de grandes altitudes, foram substituídas por pântanos e turfeiras (Scotese e McKerrow 1990). López-Gamundi (1997), com base na cronorrelação de depósitos glaciais gondvânicos das bacias do sul da América do Sul, indica que a principal fase de sedimentação com influência glacial, a qual está documentada na Bacia do Paraná, iniciou-se no Carbonífero Superior (Westephaliano – Stephaniano) e declinou no final do Permiano Inferior (Artinskiano – Kunguriano), quando condições glaciais locais persistiram apenas em depressões incisas ao longo da margem leste da bacia. Mudanças climáticas durante a transição glacial-pós-glacial caracterizaram-se pelo aumento na umidade e temperatura, resultando em condições frias para temperadas úmidas. Tais condições conduziram ao desenvolvimento de áreas pantanosas e subsequente formação de carvão nos subcontinentes gondvânicos.

As observações efetuadas nos anéis de crescimento dos lenhos analisados corroboram a natureza climática sazonal e o melhoramento do clima, com passagem de condições frias para temperadas úmidas, indicadas pelas evidências paleogeográficas e paleoclimáticas do Permiano da Bacia do Paraná. Todos os espécimes exibem anéis de crescimento definidos característicos de climas sazonais, e com adequado suprimento de água, sugerindo aumento de temperatura e umidade durante a transição Carbonífero-Permiano. Conforme evidenciado pelo padrão estrutural dos anéis de crescimento, observa-se sazonalidade acentuada nos lenhos de Itaiópolis (Membro Triunfo) e de Pouso Redondo e Witmarsum (Membro Paraguaçu), com passagem marcada do lenho inicial para o lenho final, além da presença de falsos anéis de crescimentos nos últimos. Sazonalidade menos acentuada, com passagem suave de um para o outro tipo de lenho, é observada nos lenhos de Salete (Membro Paraguaçu/Siderópolis) e de Rancho Queimado (Membro Siderópolis). Tais fatos sugerem variações climáticas acentuadas com índices de pluviosidade altos durante a deposição do intervalo inferior da Formação Rio Bonito, variações climáticas mais acentuadas, com alternância de períodos de estiagem longos e períodos mais curtos de pluviosidade no intervalo médio da formação, e presença de climas mais regulares e com índices de pluviosidade maiores e mais longos durante a deposição do intervalo superior da referida formação.

A análise mineralógica indica que os espécimes lenhosos apresentaram uma predominância de processos de silicificação durante a fossilização, associada a piritização e, posteriormente, a oxidação. A ruptura inicial do lenho, aparentemente, favoreceu a penetração

e percolação de soluções ricas em sílica, principalmente através da medula. Isto é evidenciado por veios e lentes preenchidos por diferentes formas de sílica rompendo o xilema a partir das regiões medulares na maioria dos lenhos analisados. As primeiras precipitações de sílica, calcedônia granular e localmente fibrosa, foram responsáveis pela preservação das estruturas celulares. Sucederam-se processos de precipitação preenchendo espaços e processos de recristalização. Esta seqüência de gerações cristalinas são semelhantes as descritas por Schopf (1971) em seus estudos com lenhos de um depósito de carvão permiano da Antártica. O autor identificou três gerações de mineralizações por sílica, onde somente a primeira (calcedônia) foi responsável pela preservação da estrutura do tecido. As duas outras gerações (calcedônia e quartzo microcristalino) tiveram caráter operacional na litificação e no endurecimento da amostra.

A seqüência de texturas cristalinas observadas sugerem uma sucessão de estágios diagenéticos e de fossilização que são reconhecidos de acordo com as condições geoquímicas dominantes durante os mesmos. Num primeiro estágio, sob condições alcalinas, devem ter ocorrido as precipitações iniciais de calcedônia granular e localmente fibrosa. O segundo estágio, de condições alcalinas passando a ácidas devido a condições redutoras e baixa relativa do pH, está associado aos primeiros eventos de deformação provocada pela compactação, gerando microfraturas e abrindo caminho para a percolação de fluidos. O aumento da precipitação e da concentração de sílica, favorecendo a precipitação de sílica microcristalina, é propiciado pelo abaixamento relativo do pH associado a atividade de microorganismos e isolamento, devido ao aumento do soterramento. Nesta etapa ocorre a precipitação de calcedônia microgranular, quartzo microcristalino e pirita. Com a passagem de condições ácidas redutoras à oxidantes, caracteriza-se um terceiro estágio, onde a precipitação de megaquartzo está associada a uma menor concentração de sílica, com precipitação mais lenta. A oxidação de pirita com precipitação localizada de óxidos de ferro está associada a fases de abertura do sistema geoquímico, com penetração de fluidos oxidantes, ou à fase de intemperismo atual.

A seqüência de fases cristalinas observadas nos espécimes lenhosos, sugerindo três estágios sucessivos de fossilização, indica, portanto, para a Formação Rio Bonito condições ambientais alcalinas passando a redutoras e, finalmente, a oxidantes. As texturas exibidas pelos exemplares de Itaiópolis (Membro Triunfo), de Pouso Redondo e Witmarsun (Membro Paraguaçu) e de Salete (limite dos membros Paraguaçu e Siderópolis), que evidenciam condições geoquímicas iniciais de elevada concentração de sílica em solução e com alta velocidade de precipitação passando a menor saturação em sílica e maior lentidão de

precipitação, sugerem para estes intervalos a presença de ambientes sub-aquosos de águas rasas, sujeitos a períodos curtos de cheias seguidos de períodos mais amplos de lâminas finas de águas (Mussa e Coimbra 1984). Tais dados são compatíveis com a interpretação de Schneider *et al.* (1974) sobre os ambientes deposicionais do Membro Triunfo, composto por sedimentos flúvio-deltaicos, e do Membro Paraguaçu, caracterizado por depósitos transgressivos em ambiente marinho de plataforma rasa. As texturas apresentadas pelos exemplares de Rancho Queimado (Membro Siderópolis) são resultantes da alta velocidade de precipitação em ambientes de elevada concentração de sílica em solução. Este fato, associado a condições redutoras como último estágio de fossilização, sugere, como indicado por Medeiros e Thomaz Filho (1973), a existência de um ambiente transicional litorâneo, com ocorrência de mangues, pequenas lagoas e pântanos, onde podem ter existido lâminas finas de águas enriquecidas com sílica, sem oscilações importantes de nível que determinassem uma diminuição considerável desta concentração.

Salienta-se que vários fatores característicos do registro fóssil vegetal dificultam a interpretação da sua história ambiental e deposicional. As assembléias vegetais são, comumente, compostas por restos desconectados, transportados e retrabalhados, e deste modo, o ambiente em que foram preservadas, normalmente, não reflete os ambientes nos quais as plantas se desenvolveram. A análise morfofuncional de plantas fósseis, por comparação com formas atuais, deve ser realizada com cautela pois a multifuncionalidade, segundo Meyen (1987), causa sérias dificuldades na definição do significado funcional das estruturas morfológicas. Deve-se considerar que à medida que espécies mais antigas são analisadas, aumentam as possibilidades de diferenciação morfofuncional em relação às formas atuais. Para este autor, apenas um número limitado de caracteres manifesta uma restrição ecológica distinta, entre eles, a presença ou ausência de anéis de crescimento. Entretanto, nem todas as plantas podem ser consideradas úteis como indicadores paleoclimáticos, já que algumas formas podem ser muito tolerantes quanto às condições ambientais. Sendo assim, tendo em vista o conjunto complexo de fatores envolvidos na análise de assembléias lignitaflorísticas, a interpretação paleoambiental apresentada é especulativa.

## 8. CONCLUSÕES

A análise integrada dos dados obtidos no presente estudo permite o estabelecimento das seguintes conclusões:

- Os espécimes lenhosos analisados caracterizam-se pela aloctonia, evidenciada pela fragmentação do material resultante do acentuado transporte sofrido durante o processo tafonômico.
- Na área de estudo, correspondente à sedimentação da Formação Rio Bonito, as condições ambientais foram mais favoráveis ao processo de fossilização nas localidades de Pouso Redondo e Witmarsun (Membro Paraguaçu) do que nas localidades de Itaiópolis (Membro Triunfo), Salete (limite dos membros Paraguaçu e Siderópolis) e Rancho Queimado (Membro Siderópolis), tendo em vista a ocorrência, nas duas primeiras localidades citadas, de espécimes integralmente preservados e que exibem menor grau de fraturamento, compactação e irregularidade superficial.
- A presença de anéis de crescimento definidos e amplos nos lenhos de Itaiópolis, correspondentes ao Membro Triunfo, sugerem para o terço inferior da Formação Rio Bonito variações climáticas acentuadas com alto índice de pluviosidade durante a estação de crescimento.
- A presença de anéis de crescimento definidos e estreitos e de numerosos falsos anéis de crescimento nos lenhos de Pouso Redondo e Witmarsun, oriundos do Membro Paraguaçu, indicam para este intervalo da referida formação um clima sazonal acentuado caracterizado pela alternância de períodos longos de estiagem, durante a estação de crescimento, com períodos mais curtos, de grande pluviosidade, no final desta estação.
- A presença de anéis de crescimento amplos ou ausentes nos lenhos de Salete, provenientes do limite dos membros Paraguaçu e Siderópolis, e de Rancho Queimado, do

Membro Siderópolis, sugere para o terço superior da formação a presença de um clima mais regular com menor sazonalidade, com estações de crescimento prolongadas e grande suprimento de água.

- Os resultados da análise dos anéis de crescimento dos lenhos, ao indicarem um padrão estrutural bem definido, característico de climas sazonais e com adequado suprimento de água, corroboram a natureza climática sazonal e o melhoramento do clima, com passagem de condições frias para temperadas úmidas, indicadas pelas evidências paleogeográficas e paleoclimáticas do Permiano da Bacia do Paraná.
- As amostras de lenhos analisadas apresentam, conforme os resultados fornecidos pela petrologia sedimentar, a predominância de silicificação durante a fossilização associada a piritização e, posteriormente, a oxidação.
- A seqüência de fases cristalinas observadas nos espécimes lenhosos, sugerindo três estágios sucessivos de fossilização, indica gradação de condições ambientais na Formação Rio Bonito, as quais foram inicialmente alcalinas, passando a redutoras e, mais tardiamente, a oxidantes.
- Os resultados da análise mineralógica dos espécimes são compatíveis com a interpretação dos diferentes ambientes deposicionais que caracterizam a Formação Rio Bonito, indicando a presença de ambientes sub-aquosos de águas rasas nos intervalos correspondentes aos Membros Triunfo (depósitos flúvio-deltaicos) e Paraguaçu (depósitos transgressivos em ambiente marinho de plataforma rasa) e de ambientes com condições redutoras no intervalo correspondente ao Membro Siderópolis (mangues costeiros, pântanos e pequenas lagoas em ambiente transicional, litorâneo).

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. S. R.; GUERRA-SOMMER, M.; JABLONSKY, A. & NILTZAREK, G. L. 1993. Interpretação tafonômica a partir de processos distintos de fossilização em um plano lenhoso da Formação Irati, Bacia do Paraná, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13, São Leopoldo, 1993. *Resumo das Comunicações*, SBP, p. 101.
- ANDREIS, R. R.; LAVINA, E. L.; MINTARDO, D. K.; TEIXEIRA, A. M. S. 1982. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior), Município de Mata, RS, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG, v.4, p. 1284–1295.
- ARNOLD, C.A. 1947. *An Introduction to paleobotany*. New York, Mc Graw-Hill. 433 p.
- BEHRENSMEYER, A. K. & KIDWELL, S. M. 1985. Taphonomy's contribution to paleobiology. *Paleobiology*, **11**(1): 105-119.
- BOLZON, R.T. 1993. *A Lignitaoflora Mesozóica do Rio Grande do Sul (Brasil): métodos de estudo e considerações sobre tafonomia, paleoecologia e paleoclimatologia*. Rio Grande do Sul. 142 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- BOLZON, R. T. & GUERRA-SOMMER, M. 1994. Considerações sobre a tafonomia da lignitaoflora mesozóica do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, **17**(39/1): 109–115.
- BUURMAN, P. 1972. Mineralization of fossil wood. *Scripta geologica*, **12**: 1–43.
- CARSON, G. A. 1991. Silicification of fossils. In: Allison, P. A. & Briggs, D. E. G. (eds.) *Taphonomy releasing the data locked in the fossil record. Topics in Geobiology*. New York, Plenum Press, **9**: 455–499.
- CASTRO, J. C.; BORTOLUZZI, C. A.; KREBS, A. S.; CARUSO JÚNIOR, F. 1994. Coluna White: Estratigrafia da Bacia do Paraná no Sul do Estado de Santa Catarina – Brasil. In: *Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina*, 4. Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, Florianópolis, 67 p.
- CHALONER, W. G. & CREBER, G. T. 1973. Growth Rings in Fossil Woods as Evidence of Past Climates. In: Tarling, D. H. & Runcorn, S. K. (eds.). *Implications of continental drift to the Earth Sciences*. London, Academic, p. 425-437.
- CHALONER, W. G. & CREBER, G. T. 1984. Climatic indications from growth rings in fossil woods. In: Brenchley, P. J. (ed.). *Fossils e Climate*. John Wiley & Sons, p. 49-74.

- CHALONER, W. G. & McELWAIN, J. 1997. The fossil plant record and global climatic change. *Review of Paleobotany and Palynology*, **95**: 73-82.
- CHAPMAN, J. L. 1994. Distinguishing internal developmental characteristics from external paleoenvironmental effects in fossil wood. *Review of Paleobotany and Palynology*, **81**: 19-32.
- COSTA, M. L. & MORAES, M. S. 2001. Troncos fossilizados em perfil laterítico imaturo: goethita como mineral permineralizante. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17, Rio Branco, 2001. *Boletim de Resumos*, SBP, p.75.
- COSTA, M. L.; MARTINS, R. A.; MORAES, M. S. 2001. Os troncos de vegetais silicificados do Permiano da Bacia do Parnaíba: aspectos mineralógicos e químicos e sua importância ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 17, Rio Branco, 2001. *Boletim de Resumos*, SBP, p.74.
- CREBER, G. T. & CHALONER, W. G. 1984. Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. *Botanical Review*, **50**: 357- 448.
- DAEMON, R. F. & QUADROS, L. P. 1970. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24, Brasília, 1970. *Anais...* Brasília, SBG, p. 359 – 412.
- EAMES, A. J. & MC DANIELS, L. H. 1925. *An Introduction to Plant Anatomy*. 2<sup>a</sup> ed. New York, Mc Graw-Hill, p. 155-157.
- FAHN, A. 1985. *Anatomia Vegetal*. Madrid, Pirâmide. 599 p.
- FOLK, R. & PITTMAN, J. 1972. Length-slow chalcedony: a new testament for vanished evaporites. *Journal of Sedimentary Petrology*, **41**: 1045 – 1058.
- GAMERMANN, N. 1973. Formação Rosário do Sul. *Pesquisas*, **2**(1): 5-35.
- GASTALDO, R. A. 1989. Preliminary observations on phytotaphonomic assemblages in a subtropical / temperate holocene bayhead delta: Mobile Delta, Gulf Coastal Plain, Alabama. *Review of Paleobotany and Palynology*, **58**: 61-83.
- GOLDBERG, K. & GARCIA, A. J. V. 1996. Stratigraphic correlation and paleoclimatic inferences from diagenetic and taphonomic analysis of neocretaceous dinosaur bones in Bauru Group (Paraná Basin), Brazil. In: Meléndez, H.G.; Sancho, M.F.B; Urresti, I. P. (eds.). *Comunicación de la II Reunión de Taphonomía y Fossilización*, Institución Fernando El Católico Zaragoza. Espanha, p. 135 – 140.
- GUERRA-SOMMER, M. & GAMERMANN, N. 1985. Mineralogia dos troncos fósseis da região de São Pedro do Sul, Triássico, Rio Grande do Sul. *Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral / Divisão de Geologia e Mineralogia*, **27** (2): 597 – 603 (Série Geologia).

- GUERRA-SOMMER, M. & SCHERER, C.M.S. 2000. Florestas petrificadas meso-Neotriássicas do Arenito Mata no Estado do Rio Grande do Sul: análise preliminar do contexto geológico, tafonômico e bioestratigráfico. In: REUNIÃO DE PALEOBOTÂNICOS E PALINÓLOGOS, 10, São Paulo, 2000. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 5 (nº especial): 117-120.
- IANUZZI, R. & VIEIRA, C. E. L. 2001. *Paleobotânica* – Série Didática (Apostila). Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 11p.
- KAROWE, A. L. & JEFFERSON, T. H. 1987. Burial of trees by eruptions of Mount St Helens, Washington: implications for the interpretation of fossil forests. *Geological Magazine*, 124: 191-204.
- KREBS, A. S. J. & MENEZES FILHO, N. R. 1984. *Projeto mapeamento geológico para carvão, Área de Taió-Rio do Sul, SC.* In: PROGRAMA NACIONAL DE PROSPECÇÃO PARA CARVÃO, LINHITA E TURFA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL/ CPRM, 154 p. (Relatório Final).
- LARCHER, W. 1986. *Ecofisiologia Vegetal*. São Paulo, Editora Pedagógica Universitária, 319p.
- LEO, R. F. & BARGHOORN, E. S. 1976. Silicification of wood. *Botanical Museum Leaflets*, 25(1): 1-47.
- LÓPEZ-GAMUNDI, O. R. 1997. Glacial-Postglacial transition in the Late Paleozoic basins of Southern South America. In: Martins, L. P. (ed.). *Late Glacial and Post Glacial Environments Changes: Quaternary, Carboniferous-Permian and Proterozoic*. Oxford University Press, New York, p.147-168.
- MAPA GEOLÓGICO DE SANTA CATARINA – Escala 1:500.000. 1986. DNPM, 11º Distrito Regional, Superintendência de Tecnologia Minas e Energia, Coordenação de Recursos Minerais, Florianópolis.
- MATTE, R. R. 1995. *Estratigrafia de seqüências da Formação Rio Bonito (Permiano), Bacia do Paraná, no Sudeste de Santa Catarina*. Rio Grande do Sul, 100 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- MAYER, L. M. 1989. Aspectos paleoclimáticos refletidos em espécimes lenhosos gondwânicos do Brasil. *Boletim do Instituto de Geociências-USP*, 7: 88 – 99.
- MEDEIROS, R. A. & THOMAZ FILHO, A. 1973. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27, Aracaju, 1973. *Anais...* Aracaju, SBG, v.3, p. 3 –12.
- MENDES, J.C. 1988. *Paleontologia Básica*. São Paulo, EDUSP. 347 pp.

- MERLOTTI, S. 1994. *Lignitafoflora do Município de Pouso Redondo, SC, Formação Rio Bonito, Subgrupo Tubarão, Bacia do Paraná, Brasil: Considerações taxonômicas, filogenéticas, tafonômicas, paleoecológicas e bioestratigráficas*. Rio de Janeiro, 154 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- MERLOTTI, S. 1998a. *Retemedulloxylon*, novo lenho fóssil com medula diafragmada da Formação Rio Bonito, Estado de Santa Catarina, Brasil. *Acta Geologica Leopoldensia*, **21** (46/47): 27 – 44.
- MERLOTTI, S. 1998b. *Mussaeoxylon*, novo táxon gimnospérmico do Gondvana Brasileiro. *Acta Geologica Leopoldensia*, **21**(46/47): 45 – 54.
- MERLOTTI, S. 1999a. Contramolde medular em conexão orgânica com fragmento lenhoso de *Retemedulloxylon* da Formação Rio Bonito (Eopermiano da Bacia do Paraná), Santa Catarina, Brasil. *Pesquisas*, **26** (2): 73 – 78.
- MERLOTTI, S. 1999b. Um novo lenho gimnospérmico da Formação Rio Bonito, SC, Brasil - *Ateradoxylon solidum* gen. et sp. nov. *Pesquisas*, **26** (2): 79 – 89.
- MEYEN, S. V. 1987. *Fundamentals of paleobotany*. New York, Chapman and Hall. 482p.
- MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B. & SCHNEIDER, R.L. 1994. *Bacia do Paraná*. Boletim de Geociências da Petrobrás, **8** (1): 69 – 82.
- MINELLO, L. F. 1993. *As florestas petrificadas da região de São Pedro do Sul e Mata, RS: introdução ao estudo dos processos de fossilização e análise morfológica; Legislação pertinente e análise do desenvolvimento da consciência preservacionista*. Rio Grande do Sul, 484 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- MINELLO, L. F. 1994a. As “Florestas Petrificadas” da região de São Pedro do Sul e Mata, RS. II – Processo de fossilização e composição mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13, São Leopoldo, 1993. *Acta Geologica Leopoldensia*, **17**(39/1): 57-73.
- MINELLO, L. F. 1994b. As “Florestas Petrificadas” da região de São Pedro do Sul e Mata, RS. III – Análise morfológica megascópica, afinidades e Considerações paleoambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 13, São Leopoldo, 1993. *Acta Geologica Leopoldensia*, **17**(39/1): 75 – 91.
- MUSSA, D. 1958. Conífera fóssil do Carbonífero Superior de Santa Catarina. *Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral / Divisão de Geologia e Mineralogia*, **182**: 1 – 22.
- MUSSA, D. 1982a. *Lignitafofloras permianas da Bacia do Paraná, Brasil (Estados de São Paulo e Santa Catarina)*. São Paulo, 463 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).

- MUSSA, D. 1982b. Nova forma do complexo *Vertebraria* nos argilitos carbonosos da Formação Rio Bonito, Santa Catarina, Brasil. *Boletim do Instituto de Geociências – USP*, **13**: 66 – 74.
- MUSSA, D. 1986a. As formas gondvânicas do grupo solenóide e sua distribuição estratigráfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **58** (1): 61 – 88.
- MUSSA, D. 1986b. Eustelos gondvânicos de medulas diafragmadas e sua posição estratigráfica. *Boletim do Instituto de Geociências – USP*, **17**: 11 – 26.
- MUSSA, D.; CARVALHO, R. G. & SAAD, A. R. 1978. Medula do tipo *Artisia* na Formação Irati (Permiano), Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Geociências – USP*, **9**: 114-117.
- MUSSA, D.; CARVALHO, R.G. & SANTOS, P.R. 1980. Estudo estratigráfico e paleoecológico em ocorrências fossilíferas da Formação Irati, Estado de São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Geociências-USP*, **11**: 142-148.
- MUSSA, D. & COIMBRA, A. M. 1984. Método de estudo tafonômico aplicado a ligniespécimes Permianos da Bacia do Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **56**(1): 85 – 101.
- NORTHFLEET, A.; MEDEIROS, R. A. Z. & MÜHLMANN, H. 1969. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. *Boletim Técnico da Petrobrás*, **12** (3): 291-346.
- PESSÔA, R.H.C. 1985. Madeiras gimnospérmicas no Irati do Rio Grande do Sul: observações sobre anatomia, sistemática e paleoecologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8, *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos...* Brasília, DNPM, Geologia, 27, v. 2, p. 623 – 639.
- REVUELTA, M. A. 1976. Texturas de las rocas silíceas inorgánicas en ambiente continental y significado genetico. *Estudios Geológicos*, **32**: 371 – 383.
- SCHEIHING, M. H. & PFEFFERKORN, H. W. 1984. The taphonomy of land plants in the Orinoco Delta: a model for the incorporation of plant parts in clastic sediments of late Carboniferous age of Euroamerica. *Review of Paleobotany and Palynology*, **41**: 205-240.
- SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A., DAEMON, R. F; NOGUEIRA, A. A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. *Anais...*Porto Alegre, SBG, p. 41 – 66.
- SCHOPF, J.M. 1971. Notes on plant tissue preservatio and mineralization in Permian deposit of peat from Antarctica. *American Journal of Science*, **271**: 522-543.
- SCHOPF, J. M. 1975. Modes of fossil preservation. *Review of Paleobotany and Palynology*, **20**: 27-53.

- SCOTESE, C.R. & BARRET, S.F. 1990. Gondwana's movement over the South Pole during the Paleozoic: evidence from lithological indicators of climate. In: McKerrow, W.S. & Scotese, C. R. (eds.), *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*. Geological Society London Memoir, **12**: 75-85.
- SCOTESE, C. R. & MCKERROW, W. S. 1990. Revised world maps and introduction. In: McKerrow, W.S. & Scotese, C.R.(eds.), *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*. Geological Society London Memoir, **12**: 1-21.
- SCOTESE, C. R.; BAMBACH, R. ; BARTON, R. ; VAN DER VOO, R. & ZIEGLER, A. 1979. Paleozoic base maps. *Journal of Geology*, **87**(3): 217-277.
- SCOTT, A. & COLLINSON, M. 1983. Investigating fossil plant beds. *Geology teaching*, **7**(4): 114-122.
- SIEVER, R. 1957. The silica budget in the sedimentary cycle. *The American Mineralogist*, **42**: 821- 841.
- SIMÕES, G. M. & HOLZ, M. 2000. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: Carvalho, S. I. (ed.). *Paleontologia*. Rio de Janeiro, Interciência. p. 19-45.
- SPICER, R. A. 1989. The formation and interpretation of plant fossil assemblages. *Advances in Botanical Research*, **16**: 95-191.
- SPICER, R. A. 1991. Plant taphonomic processes. In: Allinson, P. A. & Briggs, D. E. G. (eds.). *Taphonomy releasing the data locked in the fossil record. Topics in Geobiology*. New York, Plenum Press, **9**: 71-113.
- WHITE, I. C. 1908. Relatório sobre as Coals Measures e rochas associadas do sul do Brasil. *Comissão de Estudos das Minas de Carvão Pedra do Brasil*. Relatório Final, Rio de Janeiro, p. 1 – 201.
- YAO, Z.; LIU, L. & ZHANG, S. 1994. Permian wood from western Henan, China: implications for palaeoclimatological interpretations. *Review of Paleobotany and Palynology*, **80**: 277-290.
- ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. 1990. Bacia do Paraná. In: Raja Gabaglia, G. P. & Milani, E. J. (coords.) *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. Petrobrás, Rio de Janeiro, p. 135 – 168.
- ZIGLER, A.M.; SCOTESE, C.R.; MCKERROW, W.S.; JOHNSON, M.E.; BAMBACH, R.K. 1979. Paleozoic Paleogeography. *American Review of Earth Planet Science*, **7**: 473 – 502.

# **ESTAMPAS**