

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

Cristine Trevisan

**FÓSSEIS DE PTERIDÓFITAS DAS ILHAS KING GEORGE
E NELSON:**

afinidade taxonômica e importância no contexto deposicional e do
clima nas áreas setentrionais da Península Antártica

CRISTINE TREVISAN

São Leopoldo

2011

FÓSSEIS DE PTERIDÓFITAS DAS ILHAS KING GEORGE E

NELSON:

afinidade taxonômica e importância no contexto deposicional e do clima nas
áreas setentrionais da Península Antártica

Seminário final apresentado como requisito final para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos-UNISINOS, área de concentração Geologia Sedimentar.

Orientador: Profa. Dra. Tânia L. Dutra

Banca examinadora:

Dr. Roberto Iannuzzi – UFRGS

Dra. Nelsa Cardoso – PUC-RS

São Leopoldo

2011

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas que contribuíram para a sua execução:

Em primeiro lugar à professora e grande amiga Dra. Tânia Lindner Dutra pela orientação, incentivo, dedicação, paciência e perseverança ao longo desses anos todos. Com ela tive o exemplo do que é ser uma excelente pesquisadora e também um ser humano encantador, sempre em busca do conhecimento e mostrando que sempre temos algo novo para aprender todo dia.

Ao professor Dr. Roberto Iannuzzi pelas valiosas explicações e discussões no decorrer do trabalho.

Aos meus pais Pedro e Justina Trevisan pelo incentivo aos estudos.

Ao colega e amigo ao longo dos anos Thièrs Wilberger por ter me iniciado no meio acadêmico e ser responsável pelo amor que tenho hoje a ciência.

Aos colegas Bibiana Bastos, Ronaldo Barboni, Fabrício Ferreira, Diana Oliveira e Ana Maria Velho pelo apoio, conversas esclarecedoras e incentivadoras durante toda a execução deste trabalho.

Quero agradecer também ao colega Alex Duarte e a Luiz Flávio Lopes (UFRGS) pelo registro fotográfico do material.

A amiga Vanessa Gallardo pela revisão do texto do artigo em inglês.

Ao secretário do PPGeo Juliano Schmidt pela paciência e compreensão durante este período.

Ao LaViGaea (Laboratório de História da Vida e da Terra) pelo suporte e empréstimo do material de estudo.

Ao PROSUP-CAPES pelo auxílio financeiro durante o mestrado.

RESUMO

Fósseis de pteridófitas são conhecidos para a Antártica desde o final da Era Paleozóica, mas se tornam mais abundantes nas áreas da península, onde se situam as ilhas King George e Nelson, foco deste trabalho, apenas a partir do Mesozóico. Compostas por litologias predominantemente vulcânicas (fluxos e queda de cinzas), ou geradas por seu retrabalhamento, os restos relacionados às Filicales são encontrados em níveis correspondentes ao final do Cretáceo e Paleógeno e se concentram na ilha King George, a mais bem conhecida, nas áreas mais ao sul (Península Fildes). O conjunto da taoflora dos níveis mais antigos (Campaniano/Maastrichtiano) mostra muitas pteridófitas, acompanhadas de coníferas podocarpáceas e araucariáceas e angiospermas com características primitivas, dominadas por formas relacionadas com *Nothofagus*. Nas sucessões mais jovens, do Paleoceno Superior e Eoceno, embora a composição não se modifique qualitativamente, há uma modernização da flora, com o aparecimento de uma maior variedade de coníferas podocarpáceas e, entre as angiospermas, morfotipos foliares já comparáveis aos de famílias atuais (em especial, Sapindaceae, Aquifoliaceae, Lauraceae, Myrtaceae e, mais uma vez, uma grande abundância de representantes das Nothofagaceae). Para a ilha Nelson, onde uma única localidade fossilífera, o Rip Point, é aqui comunicada de modo inédito, o estudo das associações fósseis de plantas demonstrou uma deposição que se reveste de grande importância por sua correlação com aquela dos níveis mais antigos da ilha King George. Concentrada em dois níveis de tufos, entre lavas e conglomerados, a taoflora do mais inferior contém, como macrorresto exclusivo, frondes com morfologias comparáveis àquelas descritas para o gênero *Coniopteris* (Brongniart) Harris, cuja presença entre os fósseis é praticamente restrita ao Mesozóico. A preservação das impressões de pinas e pínulas permitiram a identificação de uma nova espécie, *C. antarctica*. A análise do material palinológico mostrou, contudo, que a vegetação reunia também raras coníferas (podocarpáceas e araucariáceas) e tipos angiospérmicos primitivos, entre os quais, grupos polínicos ancestrais de *Nothofagus*. Este conjunto, além de apoiar uma idade entre o final do Campaniano e/ou Maastrichtiano basal para a deposição do Rip Point, sugere a presença de condições climáticas temperadas e úmidas para as áreas do norte da Península Antártica neste intervalo. Seus acompanhantes confirmam ainda o papel que a vegetação pretérita da Antártica teve na origem dos biomas que hoje se desenvolvem nas latitudes médias a altas e de clima oceânico do Hemisfério Sul.

Palavras-chave: Pteridófitas, Península Antártica, *Coniopteris*, Dicksoniaceae, Mesozóico.

ABSTRACT

Pteridophyta fossils from Antarctica known since the end of Paleozoic Era. During the Mesozoic they become more abundant in areas of the King George and Nelson islands, object of this study, located at the Antarctic Peninsula. On King George Island the volcanic rocks dominates the successions and the fossil assemblages concentrates in levels originated by ash flow and fall processes, or for its reworking, in a time span that includes the end of Cretaceous and Paleogene. There, the pteridophytic remains dominate at southern areas (Fildes Peninsula) and in the older Cretaceous levels. This older assemblages (Campanian / Maastrichtian) shows many and well preserved ferns, accompanied by araucaria and podocarp conifers, and primitive angiosperms dominated by *Nothofagus*. In the Upper Paleocene and Eocene successions, although the unchanged general composition, the flora shows more modern character with the appearance of many new conifer types mainly within the Podocarpaceae, and the angiosperms remains are represented by leaf morphotypes comparable to those found in extant families (mainly Sapindaceae, Aquifoliaceae, Lauraceae, Myrtaceae, and once again, abundant Nothofagaceae). On Nelson island, is find a single known fossiliferous locality (Rip Point), presented for the first time in this study. The fossil plant deposition brings the attention of its correlation to the older levels from the neighbouring King George island. The plant fossils at Rip Point concentrate in two levels of tuffitic rocks, between lava and conglomerate deposits, the lower one exclusively by its macrofloristic remains and restricted to fern frond fragments, exhibiting morphologies comparable to *Coniopteris* (Brongniart) Harris, a genus largely confined to the Mesozoic. The well preserved impressions and morphology of pinnae and pinnules allows the description of a new species, *C. antarctica*. Instead, the pollen analysis made in the same beds showed that the associated vegetation contains rare conifers representatives (podocarps and araucaria) and primitive angiosperms that include ancestral type of pollen grains from *Nothofagus*. This fossil assemblage, besides supports the late Campanian and /or basal Maastrichtian age to the Point Rip basal levels, allows inferring a wet and temperate climatic condition to the northern areas of Antarctic Peninsula during this time interval. Its composition also help to confirm the role of ancient Antarctic biomes in the origin of the vegetation that grow today in the high and middle latitudes, under oceanic climates, of the South Hemisphere.

Keywords: Pteridophyta, Antarctic Península, *Coniopteris*, Dicksoniaceae, Mesozoic.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Breve história das pteridófitas.....	2
2. OBJETIVOS.....	8
3. TAXONOMIA E AFINIDADES AMBIENTAIS DAS PTERIDÓFITAS AUSTRAS MODERNAS.....	9
4. REGISTRO PRÉVIO DE PTERIDÓFITAS NA ANTÁRTICA.....	10
4.1. Registro de pteridófitas na ilha King George.....	13
4.2. Pontal Half Three.....	17
4.3. Baía Skua (ou Pontal Winkle).....	18
4.4. Pontal Price.....	20
4.5. Baía Rocky (ex- Pontal Suffield ou bacia dos Tanques).....	21
4.6. Morro dos Fósseis (Fossil Hill).....	24
4.7. Baía Admiralty.....	28
4.8. Registro de pteridófitas da Ilha Nelson.....	29
5. CONCLUSÕES.....	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Paisagem do final do Devoniano.....2
- Figura 2** - *Pseudosporonochus nodosus* Leclercq & Banks 1962, forma *fern-like* do Devoniano Médio.....3
- Figura 3** - *Cladoxylon scoparium* Delevoryas, Devoniano Médio.....4
- Figura 4** - *Rhacophyton ceratangium* Andrews & Phillips, Devoniano Superior.....4
- Figura 5** - Padrão básico de uma pteridófita, representado em *Polystichum lonchitis* (Linnaeus) Roth, pteridófita da família moderna Dryopteridaceae.....6
- Figura 6** - Mapa das áreas do norte da Península Antártica e as principais localidades abordadas.....12
- Figura 7** - Mapa das ilhas King George e Nelson.....15
- Figura 8** - Ilhas Nelson (Rip Point) e King George (Península Fildes).....16
- Figura 9** - Unidades estratigráficas das ilhas Seymour (subacia de James Ross) e King George (Península /Fildes e Baía Admiralty).....17
- Figura 10** - *Thyrsopteris shenii* Zhou Zhiyan & Li Haomin (amostra coleção MHGEO ANTF PW 7II, Baía Skua).....19
- Figura 11** - cf. *Dryopteris seymourensis* Dusén (ANTF 04Ba), da Baía Rocky.....23

- Figura 12** - Segmento de última ordem dos níveis basais da Baía Rocky, com afinidade com certos tipos de *Asplenium* modernos (ANTF 19A).....23
- Figura 13** - Fragmento de pina triangular (ANTF 35 039), provavelmente de terceira ordem.....25
- Figura 14** - *Gleichenia* sp. Fragmento de fronde, com ráquis espessa e da qual divergem segmentos dispostos em ângulos regulares e mantendo distâncias uniformes (ANTF 35 239-6).....26
- Figura 15** - Distribuição global das espécies de *Coniopteris*.....31

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do Mesozóico as pteridófitas constituíram um componente importante das floras fósseis das áreas da Península Antártica, ampliando sua participação nas assembléias até a parte média do Cretáceo. O heterocronismo de chegada das angiospermas e outros grupos orgânicos às altas latitudes, ocorrida alguns milhões de anos após seu aparecimento nos trópicos (Axelrod, 1959; Askin, 1989; Case, 1989), e os climas frios e úmidos aí vigentes (Dettmann, 1989; Francis, 1991), permitiram a manutenção das filicíneas em áreas antárticas até o final do período, numa proporção de cerca de 30% da vegetação. A partir do início do Cenozóico, embora se mantenham presentes, mudam seus elementos e, as formas arborescentes, hoje reunidas nas Cyatheales, tornam-se especialmente abundantes (Collinson, 2001; 2002).

Para Copeland (1939) as terras da Antártica teriam constituído o centro de origem para muitos grupos de pteridófitas e sua ligação com os outros continentes teria permitido o livre trânsito de muitas famílias através do Gondwana. Mesmo que seu papel como centro de origem hoje não tenha muita sustentação, sua função de “corredor” de dispersão tem sido apoiada pelos estudos palinológicos mais recentes (Mohr & Lazarus, 1994).

Os estudos permitiram ainda a identificação de uma espécie nova do gênero *Coniopteris* para níveis também pela primeira vez abordados de modo sistemático, na ilha Nelson, arquipélago das Shetland do Sul. *Coniopteris* foi uma das formas de pteridófitas mais abundantes e de mais ampla distribuição durante o Mesozóico, extinguindo entre o final do Cretáceo e o início do Cenozóico.

1.1. Breve história das pteridófitas

As pteridófitas podem ter tido sua origem entre o conjunto de formas primitivas de plantas (*fern-like*) surgidas no Devoniano (Stewart & Rothwell, 1993). Como os anfíbios entre os animais, foram às primeiras plantas vasculares a habitar as regiões de transição entre a água e terra (Fig. 1).

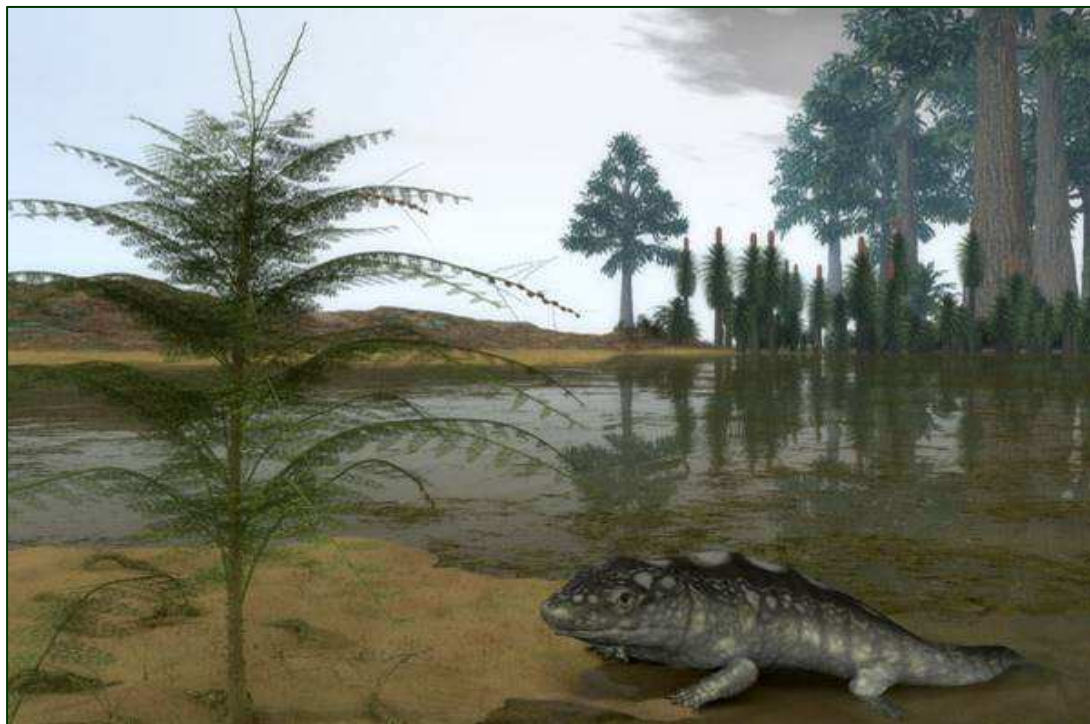


Figura 1. Paisagem do final do Devoniano. O anfíbio primitivo *Ichthyostega* chega às áreas costeiras e de planícies de inundação cobertas por *Rhacophyton ceratangium*, uma das formas ancestrais propostas para a origem das pteridófitas (primeiro plano e fundo). Ao fundo, árvores grandes de *Archaeopteris* e licopsidas (fundo, próximo à água), completam a paisagem (reconstituição de Walter Myers para o depósito de Red Hill, Pensilvânia, USA, em <http://www.arcadiastreet.com>).

Estas formas ancestrais possuíam morfologia simples e porte pequeno, consistindo basicamente de folhas grandes e compostas (as frondes), capazes de realizar fotossíntese e originadas de um rizoma com raízes adventícias. No início do Carbonífero, já eram um importante elemento da vegetação terrestre (Galtier & Scott, 1985, Stewart & Rothwell, 1993).

Entre os grupos devonianos que poderiam ter originado as pteridófitas verdadeiras ou Euphyllophytina estão as Cladoxylales (Banks, 1964), do Devoniano Inferior, e as Stauropteridales e Zygopteridales, do Devoniano Superior (Stewart & Rothwell, 1993). Estes três grupos, que se extinguem antes do final do Paleozóico, mostram as fases iniciais de evolução do megáfilo a partir de telomas estéreis e férteis, como hipotetizado por Lignier (1908), e mais tarde expresso na teoria do teloma (Zimmerman, 1959). Taylor *et al.* (2009) reafirmam esta visão e sugerem ainda que, na falta de folhas planadas e traços foliares nos estelos, estas formas do Devoniano ainda não eram pteridófitas *sensu stricto*.

As Cladoxylales são representadas pelos gêneros *Pseudosporochnus nodosus* (Fig. 2), cuja pré-fronde se originava de um ramo primordial de arranjo oposto, posteriormente aplainado e bilateralmente simétrico e por *Cladoxylon scoparium* Delevoryas (Devoniano Médio), que desde o início se caracterizava por ramos helicoidais (Fig. 3). A análise destes fósseis mostra que as frondes das pteridófitas (megáfilos) evoluíram de um padrão primitivo de ramificação tridimensional, já característico das plantas mais primitivas conhecidas, as Trimerófitas e Rhiniófitas (Stewart & Rothwell, 1993).

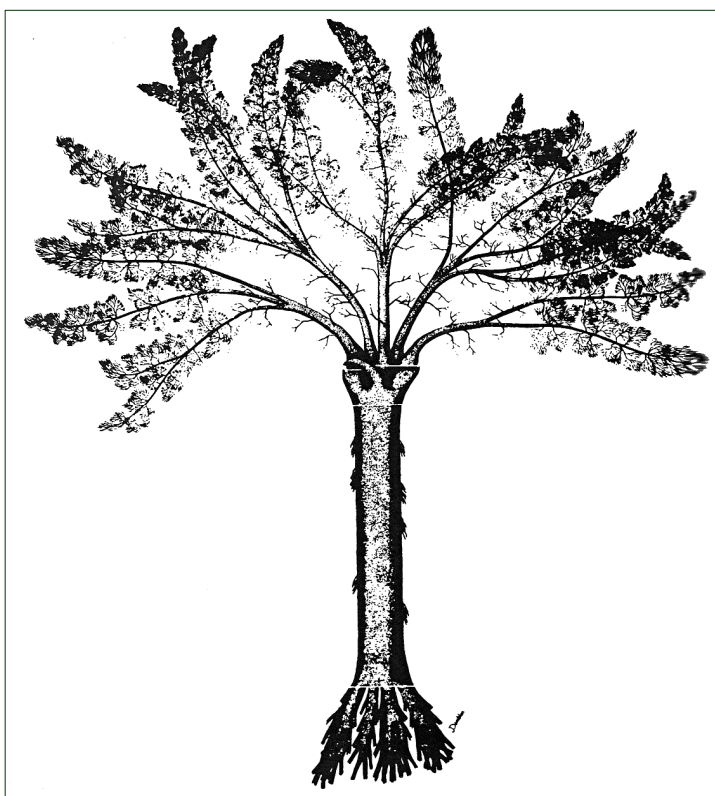


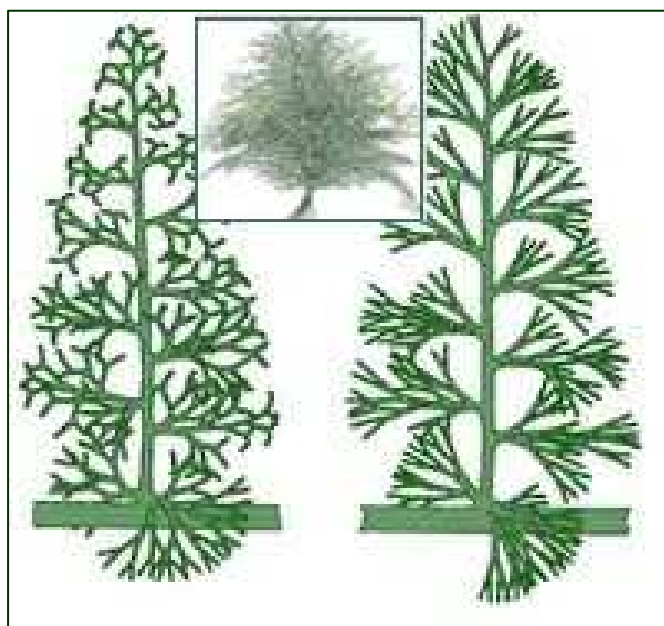
Figura 2. *Pseudosporochnus nodosus* Leclercq & Banks 1962, forma *fern-like* do Devoniano Médio, com cerca de 3 m de altura. Sua inserção entre as Filicopsida é ainda motivo de controvérsia e poderia pertencer a um complexo de plantas vasculares primitivas, da qual também poderiam ter se originado as esfenófitas e algumas outras pteridófitas (retirada de Stewart & Rothwell, 1993).

As Zygoteridales, as quais caracterizam o final do Devoniano, e são abundantes no Carbonífero, são representadas pelo gênero *Rhacophyton*, que portava uma fronde estéril quatro vezes ramificada, semelhante a das Stauropteridales. Estes dois grupos possuíam um xilema secundário, característica desconhecida em pteridófitas modernas, o que fez Andrews & Phillips (1968) considerar *Rhacophyton* uma progimnosperma, embora contivesse tecidos vasculares tipicamente pteridofíticos. A espécie mais conhecida é *R. ceratangium*, com aproximadamente 1,5 m de altura (Fig. 4).



Figura 4. *Rhacophyton ceratangium* Andrews & Phillips, Devoniano Superior. Com *Archaeopteris* e *Ellesmeris*, eram os principais elementos nas áreas de planície de inundação e pântanos. Possuíam dois tipos básicos de pinas: alternas e bisseriadas, como nos fetos modernos, e quadrisseriadas, sem comparativos modernos (de Dennis C. Murphy, 2002, em <http://www.devoniantimes.org>, 2005)

Figura 3. *Cladoxylon scoparium* Delevoryas, Devoniano Médio. Reconstituição das frondes que deviam alcançar no máximo 35 cm. Os ramos férteis e estéreis se originavam de modo espiralado, a partir do ramo principal (retirada de Delevoryas, 1962)



Para DiMichele *et al.* (2001) e DiMichele & Phillips (2002), as Trimerophytas estariam envolvidas na origem dos verdadeiros fetos e estes só teriam surgido após a extinção

do Devoniano. Em seu enfoque ecológico, salientam que já era possível distinguir dois tipos nas formas ancestrais no Carbonífero, os pequenos e prostrados, representados pelas Filicales iniciais e zigopterídeas, e as formas grandes das Marattiales, dotadas de caules bem desenvolvidos. As Marattiales seriam representadas especialmente por *Psaronius* Cotta, o abundante feto arborescente de porte significativo, que carregava folhas do tipo *Pecopteris*, ambas as formas características dos pântanos do Carbonífero e Permiano Inferior (Stewart & Rothwell, 1993). Outro de seus representantes é *Ellesmeris sphenopteroides* Hill, Scheckler & Basinger, identificada para o Devoniano do Ártico, cuja ecologia é mal compreendida mas, demonstra afinidade pelos climas mais frios desde o início da evolução do grupo (Hill *et al.*, 1997). Para DiMichele & Phillips (2002) seria a forma mais antiga conhecida de uma Filicopsida já estabelecida. Tratava-se de indivíduos homosporados eusporangiados, ou seja, onde os esporângios se originam de várias células e contém muitos esporos, sem ânulo. Nestas pteridófitas a liberação dos esporos ocorria por uma fenda longitudinal ou por um poro apical. Atualmente, além das Marattiales, as Ophioglossales mostram este tipo de esporângio e, por isto, são consideradas famílias primitivas de pteridófitas.

O padrão básico de caracteres que permite distinguir as pteridófitas dos outros grupos de plantas basais permanece até hoje característico do grupo (Fig. 5), consistindo em: i) reprodução por esporos (homosporados e heterosporados, mais evoluídos), ii) origem das folhas a partir de ramos modificados, iii) ocorrência de eixos caulinares (estelo) do tipo mesarco, iv) falta de crescimento secundário, mas com abundante esclerênquima, e v) a localização dos esporângios na face abaxial e/ou na extremidade ou margem das pínulas (Delevoryas, 1962; Esaú, 1976; Stewart & Rothwell, 1993). Para Stewart & Rothwell (1993), este conjunto de elementos atestaria o caráter polifilético da origem das Filicopsida.

A partir do início do Carbonífero as pteridófitas, ainda mescladas com suas ancestrais *fern-like*, se adaptaram a distintas condições ambientais, em geral como formas oportunistas em ambientes perturbados (Remy & Remy, 1977; DiMichele & Phillips, 2002).

Figure 5. Padrão básico de uma pteridófita, representado em *Polystichum lonchitis* (Linnaeus) Roth, pteridófita da família moderna Dryopteridaceae. Trata-se de uma forma terrestre, com venação circinada, frondes com soros abaxiais e raízes adventícias saindo do rizoma (retirado de <http://hardyfernlibrary.com/ferns/listspecies.cfm?auto=62>)



Rhacophyton ceratangium colonizou os pântanos e zonas costeiras de solos mais drenados, originando finas camadas de carvão (Scheckler, 1986). Outras formas cresciam nos ambientes mais secos, submetidos ao fogo (Rex & Scott, 1987). Para Scott & Galtier (1985) os incêndios exerceram um importante papel na história inicial dos fetos, e ainda hoje esta condição pode ser avaliada quando se analisa a recolonização de áreas sujeitas a vulcanismo (Burnham & Spicer, 1986; Retallack, 1992). Na metade do Carbonífero Médio as Marattiales (*Psaronius* e *Pecopteris*), se espalham pelas latitudes tropicais, onde se manteriam até o final do Permiano Inferior como as formas mais importantes nos ambientes de pântano e terras úmidas, associadas às pteridospermas, licófitas e às primeiras coníferas.

As samambaias, como são hoje conhecidas, só se tornam importantes no Mesozóico, embora tenham iniciado sua diversificação ainda no Permiano e, quase extinguido no final do período (Tidwell & Ash, 1994). Tipos arborescentes leptosporangiados e heterosporados

modernos (Filicales *sensu stricto*, Marsileales e Salviniiales) serão seus mais importantes representantes (Skog, 2001; DiMichele & Phillips, 2002).

A partir do Triássico dois clados se estabelecem, Matoniaceae-Dipteridaceae-Schizeaceae, e Cyatheaceae-Dicksoniaceae (Skog, 2001). Para Stewart & Rothwell (1993), são o resultado do segundo grande episódio de radiação evolutiva das Filicales ocorrido no final do Carbonífero, ou Permiano Inferior. Sua terceira radiação irá coincidir com o aparecimento das Polypodiaceae, no final do Cretáceo.

Ao longo do Cenozóico, famílias como Marattiaceae, Matoniaceae e Dipteridaceae, antes dominantes, quase desaparecem, e as Dicksoniaceae, Lophosoriaceae, Gleicheniaceae e Osmundaceae passam a preponderar nas assembléias (McIver & Basinger, 1993; Macphail *et al.*, 1994).

Como veremos, esta história global do grupo está muito bem documentada nas áreas austrais do Continente Antártico.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho busca levantar e comparar o registro fóssil de pteridófitas nos níveis vulcânicos das ilhas King George e Nelson, norte da Península Antártica, visando:

- i) o levantamento de sua distribuição pretérita,
- ii) as inferências paleoclimáticas e paleoambientais daí resultantes,
- iii) a correlação e idade dos depósitos e,

A identificação de uma nova forma de Dicksoniaceae para a ilha Nelson motivou ainda sua descrição e o estabelecimento das afinidades daí decorrentes (artigo anexo).

3. TAXONOMIA E AFINIDADES AMBIENTAIS DAS PTERIDÓFITAS AUSTRALS MODERNAS

A moderna classificação das pteridófitas é um tema complexo. Após mais de dois séculos de investigações a inclusão de gêneros e espécies em seus clados é ainda controversa, e até bem pouco tempo, baseada apenas nas semelhanças entre frondes estéreis e férteis (Tryon & Tryon, 1982). A comparação destes dados com as novas propostas filogenéticas, trouxe um grande avanço nesta abordagem e demonstrou o importante papel que os fósseis podem ter na resolução destes problemas, embora igualmente polêmicos (Smith *et al.*, 2006).

Ao contrário dos estudos no registro, as análises moleculares têm defendido uma origem monofilética para as pteridófitas, reunidas entre as Monilófitas (Judd *et al.*, 2002; Pryer & Smith, 2007). Para Smith *et al.* (2006), contudo, a Infradivisão Monilophyta (das Euphyllophytas) não foi ainda validada no Código de Nomenclatura e o termo deve ser utilizado com cautela.

Atualmente as pteridófitas compreendem quatro classes de traqueófitas: Psilotopsida, Equisetopsida, Marattiopsida e Polypodiopsida, com cerca de 9 000 espécies (Smith *et al.*, 2006). A última delas contém as formas arborescentes (Cyatheales) e as famílias acima comentadas, de grande distribuição pretérita na Antártica (Skog, 2001).

Hoje as Filicales são um grupo diversificado, de ampla distribuição geográfica e ambiental, que cresce desde áreas próximas ao nível do mar, até as de altitude, em latitudes árticas às subantárticas, e mesmo em locais subdesérticos (Tryon & Tryon, 1982; Page 1972), embora prefiram os ambientes úmidos de clima ameno, tropical ou subtropical (Kubitzki, 1990). Observando a distribuição das samambaias na Nova Zelândia, Brownsey (2001) propõe sua relação direta com a temperatura e os índices pluviométricos, e que o maior número de espécies endêmicas se concentra nas áreas planas entre as montanhas.

Esta observação tem correlação positiva com o registro fóssil do Mesozóico, em geral caracterizado por altas temperaturas globais. Neste intervalo as pteridófitas arborescentes,

dirigem-se para as altas latitudes (Gleicheniaceae, Dryopteridaceae e Dicksoniaceae) ou altitudes (Cyatheaceae), onde estavam as áreas úmidas. Mas características xeromórficas, sugestivas de adaptação à seca, substratos pobres, ou a ambientes estressantes, também ocorrem entre as formas do grupo. Podem refletir também a presença de fogo, quando brotos perenes abaixo do solo, associados a presença de escamas ou tricomas no rizoma, auxiliam na sobrevivência (Rodrigues *et al.*, 2004).

Alguns estudos botânicos, infelizmente ainda poucos e restritos, tem investigado os processos de reconquista da vegetação após os processos eruptivos em áreas submetidas a vulcanismo, bem como sua preservação (Burnham & Spicer, 1986; Halpern *et al.*, 1990, Thornton *et al.*, 2001). Demonstraram que as pteridófitas (e.g. *Pityrogramma*) são os colonizadores primários destes ambientes abertos e úmidos da encosta dos vulcões. Nisto são favorecidas por um conjunto de características, como a grande produtividade de esporos, a dispersão promovida pelas frondes férteis, e a rápida regeneração a partir de rizomas parcialmente soterrados pelas cinzas (Spicer *et al.*, 1985). Daí foi possível inferir que os efeitos dos eventos eruptivos sobre a vegetação dependem do tempo de sua duração, da relação com a estação de crescimento das plantas, com a composição prévia dos biomas e com o clima na região (Spicer, 1991).

4. REGISTRO PRÉVIO DE PTERIDÓFITAS NA ANTÁRTICA

A presença das pteridófitas entre os fósseis da Antártica atesta o papel das terras austrais (à época ainda não tão ao sul, como mostram as reconstituições paleogeográficas) na história do grupo, cujos representantes aí se desenvolveram desde seu primeiro aparecimento.

Restos de Filicales foram identificados nas floras de *Glossopteris* do final do Permiano (Galtier & Taylor, 1994), e entre as de *Dicroidium*, do Triássico, à semelhança

dos outros continentes gondwânicos (Bose *et al.*, 1990; Taylor & Taylor, 1990; Cantrill *et al.*, 1995; McLoughlin *et al.*, 1997). O testemunho desta história inicial está armazenado nas rochas do Continente Antártico (nas montanhas Transantárticas e Ellsworth, e na Terra de Vitória), e se estende até o limite Triássico-Jurássico, onde são representados majoritariamente por Dipteridaceae e Marattiaceae (Millay & Taylor, 1990; Xuanli Yao *et al.*, 1994; Bomfleur *et al.*, 2007; 2010). Nas áreas de clima mais oceânico da Península Antártica, estes dois grupos também são abundantes, acompanhados por Dicksoniaceae, Cyatheaceae, Lophosoriaceae e Osmundaceae, nas macro e microfloras.

Entre o Jurássico e o Cretáceo as pteridófitas já estavam distribuídas por vários setores da Península, desde a Terra de Graham (Hope e Botany Bay, Gee, 1989; Rees 1990; Morel *et al.*, 1994; Rees & Cleal, 2004; Cantrill & Hunter, 2005), às ilhas do contexto de *fore-arc* ocidentais, iniciando por Alexander 70° S (Cantrill, 1995; Cantrill & Nichols, 1996; Cantrill & Nagalingum, 2005), passando por Snow e Livingston (Torres *et al.*, 1997; Césari, 2006), e chegando até os depósitos setentrionais das Shetland do Sul, objeto da presente abordagem (Fig. 6).

Sua distribuição acompanha as áreas que durante grande parte do Mesozóico estiveram sujeitas a soerguimentos e à formação do arco tectônico da Península, resultante dos processos de subducção da margem do Pacífico (Del Valle & Rinaldi, 1993; Willan & Hunter, 2005).

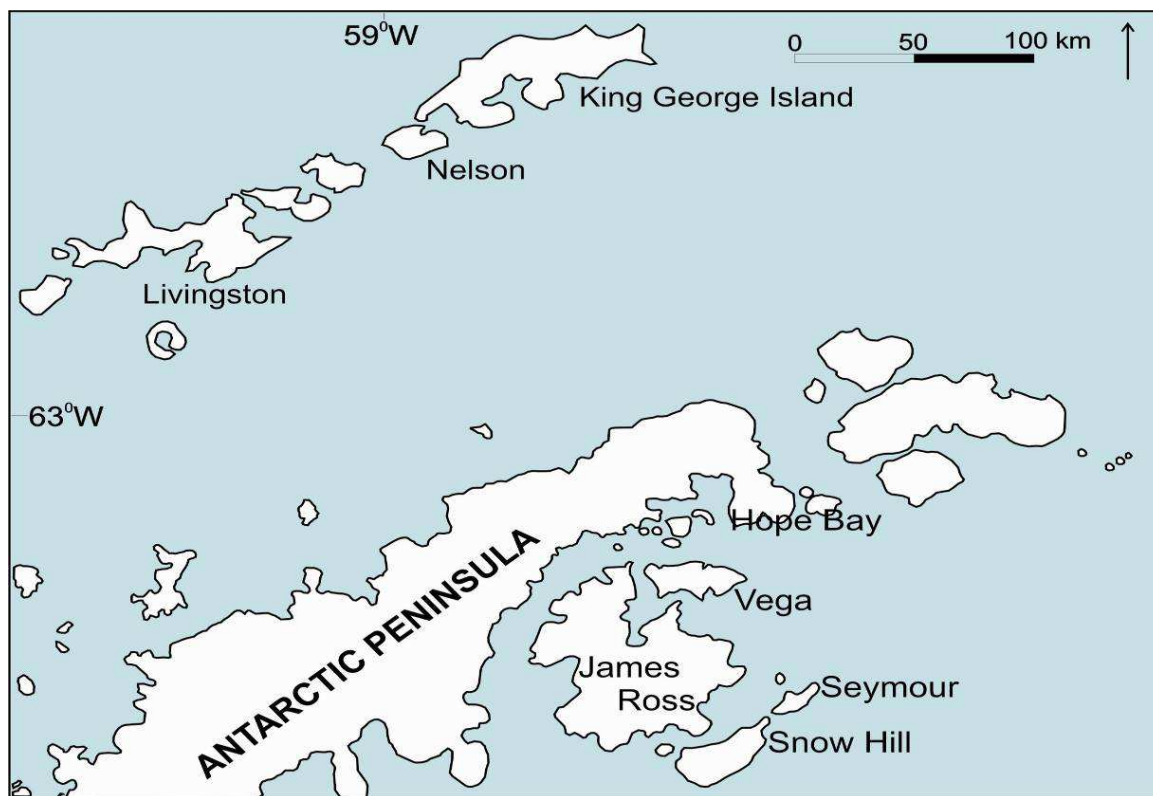


Figura 6: Mapa das áreas do norte da Península Antártica e as principais localidades aqui abordadas, a porção continental no centro (Terra de Graham) e as ilhas orientais (retroarco) e ocidentais (antearco).

Nas regiões mais protegidas de retroarco (Subacia de James Ross) o grupo é mais raro, ou pela menor umidade atmosférica, ou pela condição alóctone dos restos de planta neste setor, ocasionada pela invasão de águas marinhas a partir da porção média do Jurássico, quando se inicia a formação do Mar de Weddel (Case, 1988; Hunter *et al.*, 2006; Crame *et al.*, 2006; Cunha *et al.*, 2008). Mas as pteridófitas retornam no Cenozóico à ilha Seymour, como demonstra o pioneiro trabalho de Dusén (1908). O artigo anexo oferece uma análise mais aprofundada destas ocorrências.

No final do Cretáceo com a chegada das angiospermas, as pteridófitas já caracterizam o estrato inferior das florestas de *Nothofagus*, junto com coníferas podocarpáceas e araucariáceas, um conjunto que atravessa o tempo até o Eoceno Médio em áreas da Península (Doktor *et al.*, 1996; Dutra, 1997; Dutra, 2001; 2004). Os mesmos

elementos formam até hoje uma associação típica das floras patagônica, da Nova Zelândia e Austrália (Truswell, 1991a; 1991b), apoiando a proposta de Skottsberg (1949) sobre o papel da Antártica como centro de dispersão dos elementos que hoje compõem os biomas austrais.

No final do Eoceno, com as primeiras evidências da presença de gelo nas áreas da Península, atestadas pelos programas de testemunho do fundo oceânico (DeepSeaDrilling Project – DSDP, CIRUS-1 e MSSTS, Barker, 1982) e depósitos continentais (Birkenmajer *et al.*, 2005), o registro paleobotânico se encerra. As pteridófitas embora hoje distribuídas mundialmente, não retornaram às terras antárticas, único continente moderno em que estão ausentes (Kubitzki, 1990). Muitos de seus elementos, como as Cyatheaceae, Dicksoniaceae (*Dicksonia* e *Lophosoria sensu* Smith *et al.*, 2006), Culcitaceae e Thyrsopteridaceae, continuam sendo parte importante da vegetação das ilhas oceânicas de origem vulcânica do Hemisfério Sul.

4.1. Registro de Pteridófitas na ilha King George

A deposição na ilha King George (61°50'- 62°15'S; 57°30'- 59°00'W), extremo norocidental da Península Antártica, se caracteriza por uma grande quantidade de fósseis de plantas e, à semelhança das outras ilhas ocidentais da Península já comentadas, constituem seu quase exclusivo registro de vida.

As ocorrências paleobotânicas conhecidas estão concentradas em duas principais áreas da ilha, a península Fildes e a baía Admiralty, mais por serem aquelas mais acessíveis durante o verão, pelo derretimento do gelo (Fig. 7). Em ambas ocorrem preferencialmente, associadas à litologias de origem vulcânica e em associações compostas ainda por gimnospermas e uma grande variedade de angiospermas dominadas por

Nothofagus (Zastawniak, 1981; 1994; Torres, 1990; Dutra, 2001; 2004; Boardman & Dutra 2005; Fontes & Dutra, 2010).

A primeira referência à presença de fósseis na ilha King George deve-se a Orlando (1964) e Barton (1965), para restos de plantas encontrados no Morro dos Fósseis (*Fossil Hill*), na Península Fildes, extremo sudoeste da ilha. A partir daí a ilha foi visitada por pesquisadores de diferentes países e muitas outras ocorrências (macro e microflora) foram objeto de estudo, embora alguns tenham se limitado apenas à comunicação de sua presença.

O arcabouço geológico da ilha foi previamente conhecido pelos trabalhos geológicos dos ingleses (Hawkes, 1961; Bibby, 1961; Barton, 1965; Smellie *et al.*, 1984), depois aprofundado por Birkenmajer (1981; 1988), para a região da baía Admiralty, e por Shen Yanbin (1994), na Península Fildes. Até o momento, no entanto, não existe uma proposta formal de correlação geológica entre estes dois setores, a não ser aquela preliminarmente proposta por Smellie *et al.* (1984).

Nos trabalhos subsequentes foi estabelecida uma gênese em um ambiente de *fore-arc*, responsável pelo intenso vulcanismo basáltico e andesítico presente. Para Birkenmajer *et al.* (1986) um arco de ilhas ou *hot spot* superimposto determinaria o gradativo rejuvenescimento da deposição nas ilhas ocidentais, de sul para norte, iniciando na ilha Alexander, a 70° S. Uma análise mais detalhada dos aspectos geológicos e do registro fóssil nas áreas antárticas foi recentemente apresentada por Dutra & Jasper (2010).

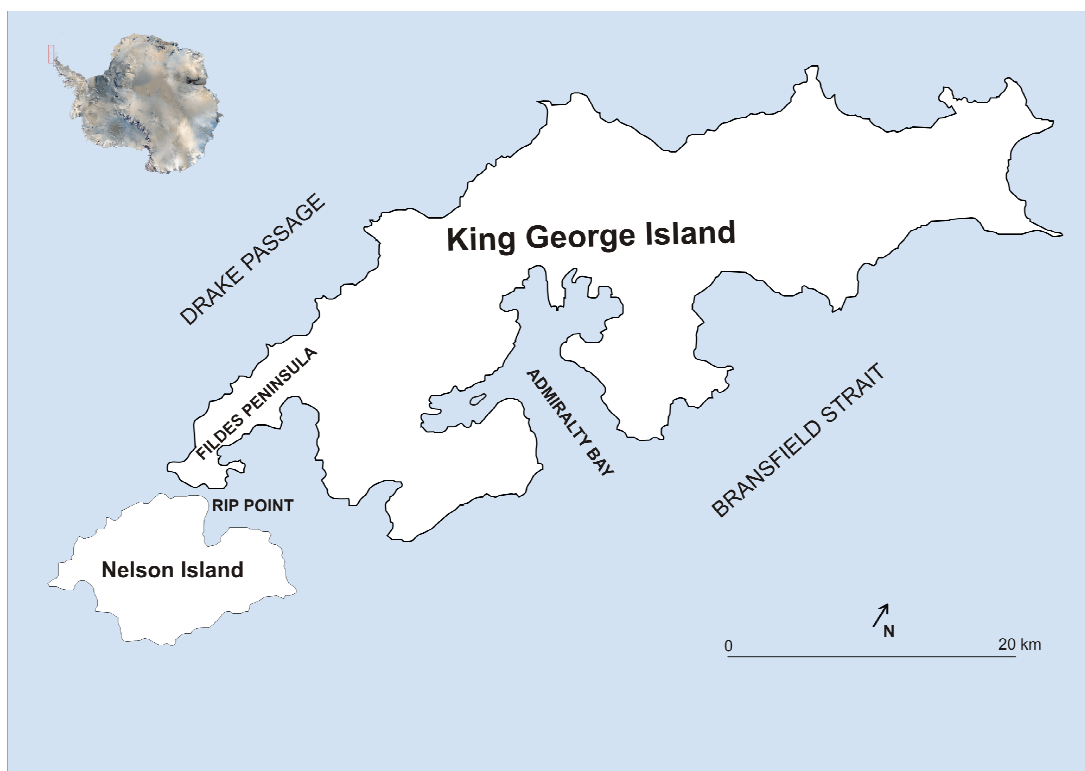


Figura 7. Mapa das ilhas King George e Nelson e as principais áreas onde foram identificados associações de restos de plantas (setas).

As litologias que englobam a maior parte dos fósseis correspondem a tufos de distintas granulometrias e, com muito menor expressão, tufitos com evidências de retrabalhamento pela água (Birkenmajer, 1981; 2001). Os inúmeros depósitos de lavas que constituem parte significativa das áreas expostas sugerem que a atividade vulcânica era intensa e partia de *vents* próximos (Smellie *et al.*, 1984; ShenYanbin, 1994).

Na ilha King George, as taofloras dividem-se entre aquelas datadas como neocretácicas e as correspondentes ao limite Paleoceno-Eoceno, Eoceno Médio e, provavelmente, Oligoceno Superior (Birkenmajer, 2001; Dutra, 2004; Anelli *et al.*, 2006; Quaglio *et al.*, 2008).

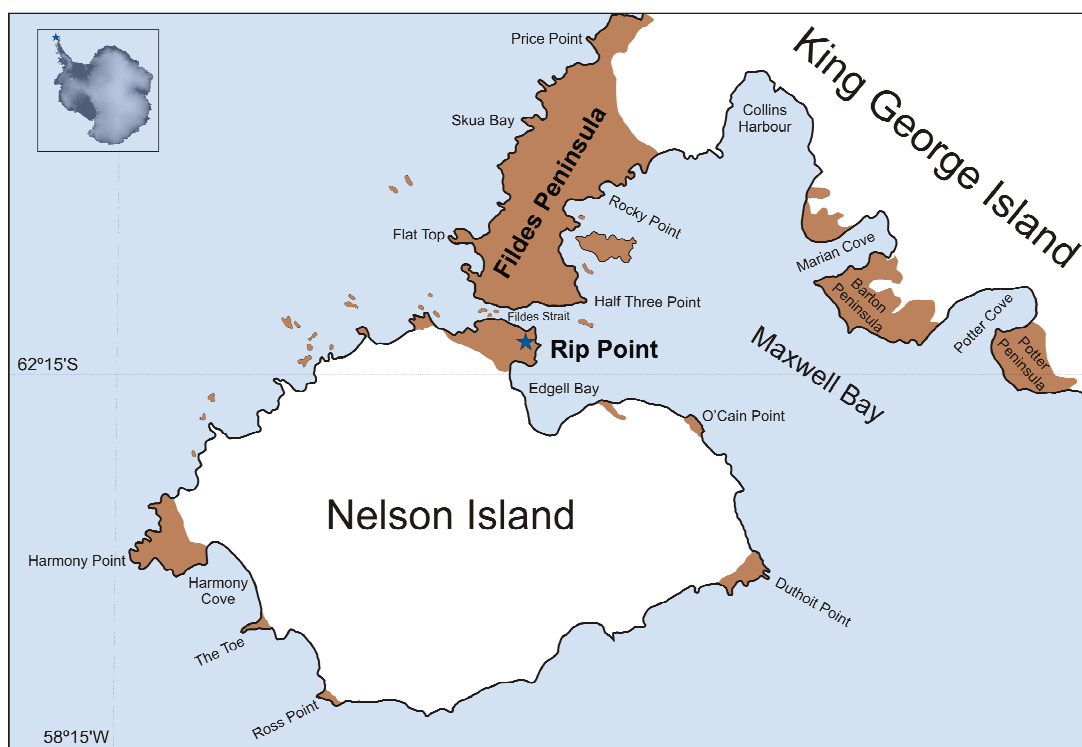


Figura 8. Ilhas Nelson (Rip Point) e King George (Península Fildes) e os principais locais com tafloflora.

Os trabalhos prévios demonstram que as pteridófitas ocorrem ao longo de toda a sucessão, estando ausentes apenas nos níveis correspondentes ao Eoceno Superior, onde também estão registradas as primeiras evidências da chegada do frio à região (Birkenmajer *et al.*, 2005). Mas, são mais abundantes nos níveis correspondentes ao final do Cretáceo (Zhou Zhiyan & Li Haomin, 1994a; Dutra, 1997; 2001), localizados preferencialmente no sul da ilha (Figs. 8 e 9), como o Pontal Half Three (Shen Yanbin, 1994), Price e Baía Skua (Dutra, 1997; Dutra & Batten, 2000). A investigação aqui desenvolvida mostra que também o Pontal Rip, na ilha Nelson, contém níveis desta idade.

relação ao visto na microflora, com apenas um segmento de pina associado a *Sphenopteris* sp. por Zhou Zhiyan & Li Haomin (1994a).

Sinopse da flora do Pontal Half Three (Formação Half Three Point)

Palinomorfos:

94.5% de esporos: 81.5 formas de pteridófitas + 12 % de fungos + 1% de briófitas

4.5% de grãos de pólen: 1.5 % de coníferas + 3% de angiospermas

Macrofósseis: 15 exemplares

4.5% de pteridófitas + 54.5 % de coníferas + 41% de angiospermas (Formas de *Nothofagus* dos subgêneros *Fuscospora* e *Lophozonia*, com folhas microfílicas e decíduas são dominantes).

Vegetação análoga moderna: Floresta úmida mista de coníferas e angiospermas, com fetos no sotobosque e mata de galeria (*Microphyll Mossy* ou *Fern forest* de Webb, 1959, hoje na N.Zelândia).

Clima: subtropical úmido (Cao Liu, 1992) e frio (Dutra, 1997).

Idade: rocha total nos tufitos de 71. 3 Ma rocha (Wang Yinxi & Shen Yanbin, 1994), Campan. –Maastrich.

4.3. Baía Skua (ou Pontal Winkle)

Aí as floras são conhecidas apenas a partir dos macrofósseis, ao contrário do anteriormente examinado e do Pontal Price, a seguir, onde os restos estão quase totalmente limitados a palinomorfos. Na Baía Skua, uma idade de 57.7 Ma foi obtida nas lavas que recobrem os níveis fossilíferos (Soliani Jr *et al.*, 1988), sugerindo uma deposição ocorrida entre o final do Cretáceo e o Paleoceno.

Na tafloflora as pteridófitas dominam, com morfologias similares àquelas que, em camadas mesozóicas, seriam associadas ao gênero *Coniopteris* sp., aqui identificado para a ilha Nelson (artigo anexo).

Rohn *et al.* (1994a, não publicado) associaram estas formas inicialmente a *Phyllocladus*, dado o aspecto coriáceo e a similaridade com as folhas (filocladus) destas coníferas podocarpáceas.

Em trabalhos subsequentes, mas igualmente inéditos, de Torres (1990) e Dutra (1997), as impressões foram relacionadas à forma moderna *Thyrsopteris elegans*, atualmente exclusiva do arquipélago de Juan Fernandez (Chile). Mas tipos de morfologia similar, identificados para níveis um pouco mais jovens do Morro dos Fósseis, na mesma Península Fildes (Formação Fossil Hill de Shen Yanbin, 1994), permitiram a Zhou Zhiyan

& Li Haomin (1994b) determinar uma nova espécie *T. shenii*, segundo os autores representativas das Dicksoniaceae.

Dada a idade mais jovem desta deposição esta nomenclatura seria menos adequada e a comparação com formas modernas já é possível (Fig. 10).

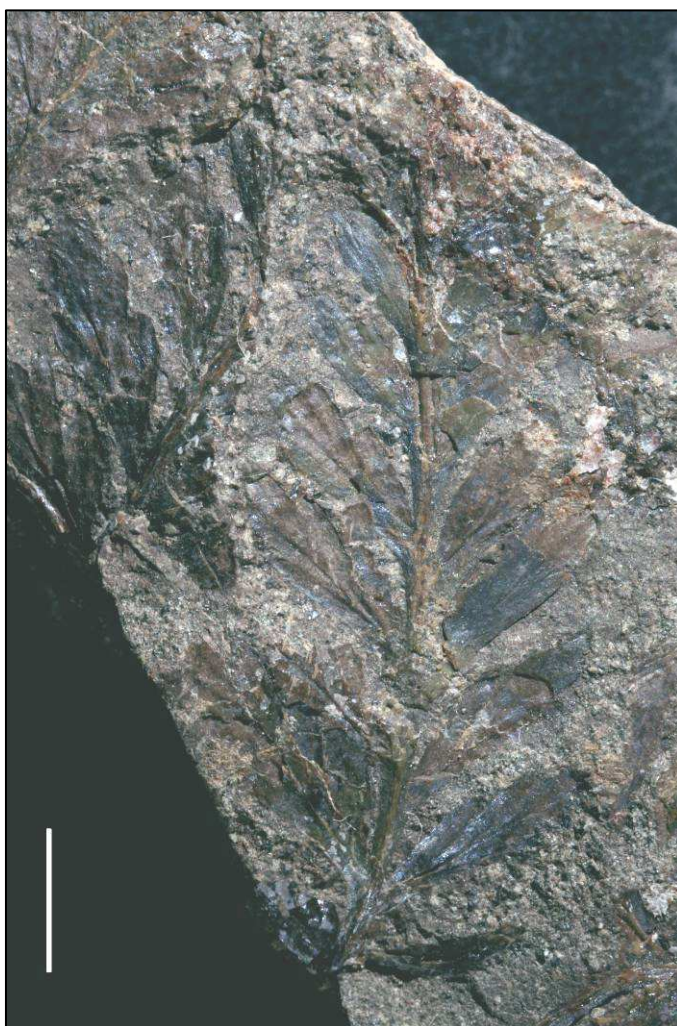


Figura 10. *Thyrsopteris shenii* Zhou Zhiyan & Li Haomin (amostra coleção MHGEO ANTF PW 7II, Baía Skua). Segmento de pina de última ordem, assimétrica, com pínulas de inserção oposta a alterna, com lobos pouco dissecados e venação esfenopteróide, poucas vezes bifurcada e ramificada. Estas características inserem-se no âmbito das variações das espécies do gênero *Coniopteris* e, entre as floras da ilha King George foram associadas ao gênero *Thyrsopteris*. Escala 5 mm.

Rohn *et al.* (1994a) ainda propuseram a presença de formas duvidosas de *Osmunda* sp., e Dutra (1997), de *Culcita* sp., para a associação. Estão acompanhadas de raras coníferas podocarpáceas e angiospermas de difícil atribuição sistemática, pelo caráter incompleto da preservação. Algumas sugerem tratar-se de novos elementos, ainda inéditos, como a forma af. *Monimiophyllum antarcticum* Birkenmajer & Zastawniak, 1989 (Aquifoliaceae ou Saxifragaceae?). A presença de *Nothofagus*, comum em outras

assembléias da ilha, é aqui bastante rara (Rösler *et al.*, 1985). Entre as angiospermas estão representados morfotipos sapindofílicos, cinamomofílicos, laurofílicos e platanofílicos (Dutra, 1997). A paleoflora mostra uma distribuição distinta para cada um dos cinco níveis identificados no perfil, com as pteridófitas tornando-se mais abundantes nos níveis de topo.

Sinopse da tafoflora da baía Skua (ainda sem relações estratigráficas definidas)

Macrofósseis :

Nível III (inferior):

25.75% de pteridófitas + 74.2% de angiospermas

Nível IV (superior): 88% de pteridófitas + 2% de coníferas + 10% de angiospermas

Vegetação: do entorno dos corpos de água das áreas baixas, floresta relativamente densa (CNVF, de Webb, 1959) ou floresta úmida subtropical, clima oceânico, mesotérmico (Wolfe, 1980). Angiospermas de folhas coriáceas e microfílicas, dominadas por formas de venação broquidodrómica (laurofílicas), com ou sem nervuras intramarginais e padrão fechado de nervação (Magnolídeas). *Nothofagus* praticamente ausente e coníferas raras nos macrofósseis.

Clima: subtropical a temperado (indicações de frio) oceânico.

Idade: ? Cretáceo superior - Paleoceno

4.4. Pontal Price

A deposição do Pontal Price, localizada um pouco mais a norte da Baía Skua, mas ainda na margem da Península Fildes voltada para o Drake, o conjunto de litologias e de fósseis é muito similar àquele visto para o Pontal Half Three e parece conter igualmente níveis correspondentes ao final do Cretáceo (Figs. 8 e 9).

A deficiente preservação dos macrorrestos fez com que fossem tentadas análises palinológicas do material associado aos níveis de carvão (*charcoal* e *coal*) aí aflorantes. Estas análises mostraram associações similares àquelas identificadas para o Pontal Half Three, permitindo a proposta de que este local se insira entre os que expõem níveis da Formação Half Three Point (Shen Yanbin, 1994).

Quatro distintos níveis foram amostrados e evidenciaram a presença dominante das pteridófitas, com formas de *Leiotriletes*, *Cyathidites*, *Cyatheacidites* (Cyatheaceae/Dicksoniaceae), *Osmundacites*, *Baculatisporites* (Osmundaceae), *Klukisporites*, *Verrucosisporites* e *Laevigatosporites*, o último associado às Schizeaceae (Dutra *et al.*, 1996). A presença de *Klukisporites* confirma a idade pré-Cenozóica e sustenta o caráter mais antigo da deposição em relação à da Baía Skua e Morro dos Fósseis, as outras duas áreas fossilíferas

na Península Fildes. *Kuklisporites* está presente em muitas floras de idade cretácica da Península Antártica (Cao Liu, 1994; Dutra & Batten, 2000; Césari *et al.*, 2001).

Os poucos macrorrestos presentes foram abordados preliminarmente por Czajkowski e Rösler (1986) e Rohn *et al.* (1994a, não publicado) e evidenciam a presença equilibrada entre filicales, coníferas e angiospermas, estas mais uma vez representadas por formas primitivas, com tipos laurofílicos, protofílicos, mirtofílicos e *Nothofagus* sp. aff. *N. cretacea* Zastawniak, 1994, forma inicialmente identificada para níveis do Monte Zamek, na baía Admiralty.

Sinopse da tafoflora do Pontal Price (Formação Half Three Point de Shen Yanbin (1994))

Macrofósseis :

30% de fetos + 40% de coníferas + 30% de angiospermas primitivas

18 amostras (7 taxa): 28 folhas , 3 ramos de coníferas, 4 pinas, 1 fruto

Palinomorfos

4% de algas, fungos, briófitas e licófitas + 28% de pteridófitas + 18% de coníferas + 50% de angiospermas

Vegetação: Floresta úmida de fetos, coníferas e angiospermas mesofílicas, ligada a corpos de água e áreas altas no entorno

Clima: subtropical a temperado, oceânico

Idade: Cretáceo Superior

4.5. Baía Rocky (ex- Pontal Suffield ou bacia dos tanques)

Entre as localidades atribuídas ao Cenozóico basal, a Baía Rocky, ou Pontal Suffield como era previamente conhecida (Fig. 8), chama a atenção em relação aqueles atribuídos ao final do Cretáceo, pela maior concentração de restos de pteridófitas, mas representadas apenas por segmentos de pinas isoladas. Uma idade de 44 Ma (Eoceno Médio) foi obtida numa área próxima (Pontal Suffield), por Pankhurst & Smellie (1983) e é aqui apenas utilizada para balizar a deposição, embora tenha tido bom suporte nas informações provenientes da tafoflora.

Zhou Zhian & Li Haomin (1994b), identificaram aí frondes estéreis de *Gleichenia* e da mesma *Thyrsopteris shenii*, vista para a Baía Skua, com segmentos com lobos destacados e frondes dimórficas, as férteis com soros terminais, acompanhada de *Alsophila antarctica* (Cyatheaceae). Na microflora dominam os esporos de *Cyatheidites*

(Dicksoniaceae, segundo os autores), acompanhados de tipos relacionados às Lophosoriaceae e Gleicheniaceae (Torres, 1990; Torres & Méon, 1990; Zhou Zhian & Li Haomin, 1994b). É este o caso da forma figurada na Figura 11, que divide aspectos comuns àqueles descritos para níveis do Eoceno da ilha Seymour, como *Dryopteris seymourensis* (Dusén, 1908; Tafel 4:4 e 19). Este morfotipo foi igualmente identificado por Li Haomin & Shen Yanbin (1990) e Czajkowski & Rösler (1986) para o local a seguir comentado, o Morro dos Fósseis (Shen Yanbin, 1994).

O segundo exemplar que merece destaque mostra pínulas alongadas e de margens lisas (Fig. 12), que também já haviam sido figuradas e comentadas em trabalhos prévios. Em geral, foram associadas ao gênero *Asplenium* (Rohn *et al.*, 1994b, não publicado), em níveis deste mesmo local, ou a *Pecopteris* sp. (Dusén), para a ilha Seymour (Dusén 1908; Taf. 4:17).

Fragmentos relacionados a *Lophosoria antarctica* também estão presentes nesta associação (Torres, 1990; Torres & Méon, 1993; Cao Liu, 1994).

Na microflora as pteridófitas são igualmente abundantes, com representantes de Cyatheaceae, Osmundaceae, Gleicheniaceae e Polypodiaceae. Estão acompanhadas por podocarpaceas, araucariáceas e angiospermas dominadas por *Nothofagus* (Lyra, 1986; Palma-Hedt, 1987; Torres, 1990; Dutra *et al.*, 1996).

Sinopse da flora da Baía Rocky (?Formação Fossil Hill)

Macrofósseis:

15% de pteridófitas (Cyatheaceae/Lophosoriaceae + Dicksoniaceae + Osmundaceae) + 60% de coníferas Podocarpaceae + 25% de angiospermas (*Nothofagus* sp. + sapindofílicas + laurofílicas + platanofílicas)

Palinomorfos:

12% de algas + 29% de fungos + 37.4% de pteridófitas (Cyatheaceas + Polypodiáceas) + 7% de gimnospermas (Podocarpaceae e Cupressaceae) + 14.6% de angiospermas

Vegetação: Restos alóctones de uma vegetação de angiospermas de folhas estreitas e alongadas e /ou pequenas, coriáceas e *Nothofagus* com hábitos decíduos, misturados a elementos da áreas baixas, que viviam junto aos corpos de água (*Festuca*, *Phyllocladus*, *Podocarpus* e fetos). Demonstra maior frio e queda na umidade atmosférica, mas solos alagados. Vulcões próximos, provavelmente com gelo alpino e ambientes marginais.

Clima: temperado úmido em grande parte do ano, mas sujeito a estação de seca e/ou frio. Temperatura média anual baixa, avaliada a partir do pequeno tamanho das folhas de angiospermas.

Idade: Eoceno Inferior – Médio?



Figura 11. cf. *Dryopteris seymourensis* Dusén (ANTF 04Ba), da Baía Rocky. Mostra parte de um segmento com ráquis destacada e pínulas dispostas de modo alternado. Base decorrente e venação simples, sugerindo uma veia média poucas vezes ramificada e livre, que termina nos poucos lobos concentrados na parte apical. Escala 2 mm.

Figura 12. Segmento de última ordem dos níveis basais da Baía Rocky, com afinidade com certos tipos de *Asplenium* modernos (ANTF 19A), como por exemplo, *A. bulbiferum* G. Forst. da Nova Zelândia e Austrália, caracterizado por eixo sinuoso e espesso. As pínulas são estreitas e de margem lisa, com forma lanceolada e ápice oblongo. Veia média de curso basiscópico, sem ramificações visíveis, exceto na lâmina mais basal e desenvolvida, que mostra uma bifurcação basal. Escala 5 mm



4.6. Morro dos Fósseis (*Fossil Hill*)

A sucessão do Morro dos Fósseis é uma das mais conhecidas em áreas da Península Antártica e na ilha King George, pela abundância de restos de flora aí identificados desde os primeiros trabalhos realizados na ilha. A semelhança composicional das tafofloras com as identificadas para a Formação La Meseta, na Subacia de James Ross (Dusén, 1908; Marensi *et al.*, 1998) e os dados absolutos de idade obtidos por Pankhurst & Smellie (1983), de 58-59Ma, e por Li Haomin (1994), de 52Ma, permitiram incluir os estratos na Formação Fossil Hill (Shen Yanbin, 1994), com idades entre o final do Paleoceno, ou mais provavelmente, Eoceno basal, como mais tarde proposto por Hunt & Poole (2003) e Dutra (2004).

O primeiro registro de pteridófitas para o local foram frondes estéreis atribuídas a *Dicksonia patagonica* Berry, por Troncoso (1986). Mas o conjunto dos fósseis mostra que as pteridófitas não eram muito numerosas, sendo sobrepujadas entre os macrorrestos pelas angiospermas, e coníferas podocarpáceas e cupressáceas (Rösler *et al.*, 1985; Rohn *et al.*, 1987; Torres, 1990).

O único dos intervalos correspondentes ao Cenozóico que preservou pinas mais completas, inclusive com material fértil, similares àqueles comuns nos níveis mais antigos da Península Antártica.

Um bom exemplo disto é *Thyrsopteris shenii* Zhou & Li (Zhou Zhian & Li Haomin, 1994), com frondes terciárias férteis e estéreis. Para Torres & Méon (2006) formas associadas à *Gleichenia*, *Thyrsopteris*, *Asplenium* e *Davallia*, constituiriam os principais elementos nesta macroflora e para a ilha King George em geral, no início do Paleógeno, embora igualmente destaquem sua menor expressão entre os macrofósseis.

A Figura 13 mostra um elemento ainda inédito para este local, com pínulas de disposição aberta e melhor organizada, eventualmente também encontradas isoladas. Neste caso, mostram caracteres morfológicos muito similares aos identificados também a partir

de material fragmentado, por Dusén (1908, Taf. 4:13-14) na ilha Seymour, e atribuídas a *Asplenium antarcticum*.

Por comparação, Czajkowski & Rösler (1986, Figs. 23-28 e 43) atribuíram tipos similares a esta mesma espécie em material proveniente do Morro dos Fósseis. A ausência de frondes férteis dificulta a confirmação desta afinidade e mesmo com formas modernas de pteridófitas.



Figura 13. Fragmento de pina triangular (ANTF 35 039), provavelmente de terceira ordem, ráquis levemente sinuosa (na parte preservada) e com sulco. Pínulas alternas a opostas, de disposição aparentemente catadrômica, com poucos lobos destacados. Venação não visível. Escala 10 mm

Um segundo tipo (Fig. 14), foi atribuído a *Gleichenia* Smith (Czajkowski & Rösler, 1986); Zhou Zhian & Li Haomin, 1994).

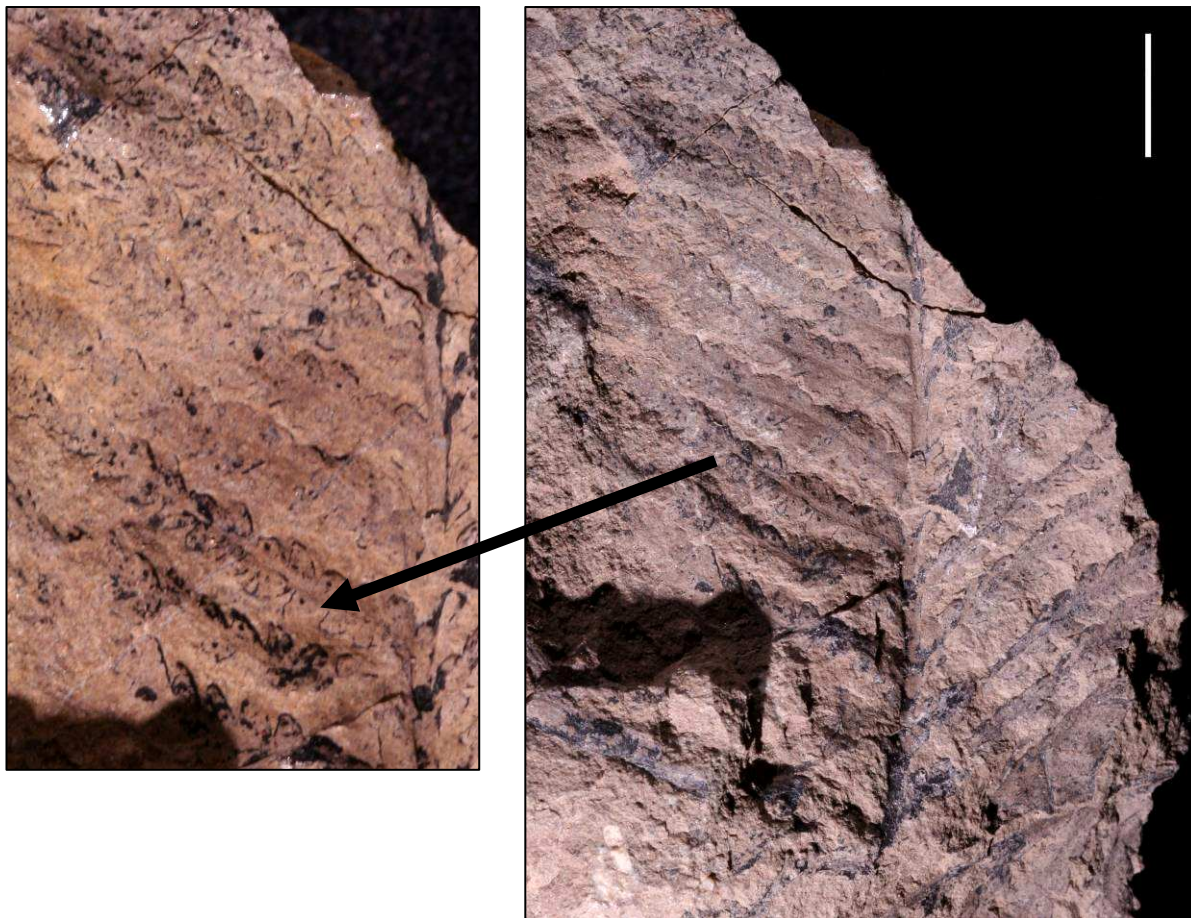


Figura 14. *Gleichenia* sp. Fragmento de fronde, com ráquis espessa e da qual divergem segmentos dispostos em ângulos regulares e mantendo distâncias uniformes (ANTF 35 239-6). Pínulas pecopterídeas de contorno arredondado no lado inferior e falcado no superior, presas por toda a base. Venação não aparente. Escala 5 mm

Segundo Zhou Zhian & Li Haomin (1994), as formas de Gleicheniaceae do Morro dos Fósseis são as mais completas referentes a esta família em níveis cenozóicos na Antártica. Na forma aqui ilustrada a margem das pínulas é contornada por material carbonoso, que além de auxiliar sua visualização, sugere um engrossamento das margens, comuns em formas de Gleicheniaceae modernas onde a margem da pínula pode dobrar para proteger os soros nus. Sobre as lâminas também são registrados pequenas pontuações carbonosas (Fig. 14, detalhe), que podem representar a presença de soros, mas sua disposição irregular não permite precisar esta condição.

As análises palinológicas confirmaram o domínio das angiospermas e, entre as filicales, a presença de elementos tipicamente antárticos e que apóiam as idades absolutas propostas. Estão presentes representantes de Cyatheaceae (*Cyathidites minor*, *C. patagonicus* e *C. australis*), Lophosoriaceae (*C. annulatus*), Schizeaceae (*Lygodioisporites*), Dicksoniaceae (*Trilites tuberculiformis*, *T. parvalatus*) e Polypodiaceae (*Tuberculatosporites parvus*, *Polypodiisporites* sp.). A ocorrência de *Concavisporites* sp. e *Gleicheniidites circinidites*, confirma a presença das Gleicheniaceae (Lyra, 1986; Palma-Hedt, 1987; Torres, 1990; Torres & Méon, 1990; 1993).

A correspondência de representação entre a macro e microflora e as feições deposicionais associadas (sedimentos tufáceos com indicação de movimentação pela água) sugerem pela primeira vez para os locais vistos, a ação de correntes e a mescla de elementos parautóctones (briófitas, *Equisetum*, pteridófitas), com outros trazidos das áreas elevadas próximas (vegetação arbórea de angiospermas e coníferas), reunidos em uma deposição lacustre, indicativa de lagos e rios desconfinados (quadro abaixo).

<u>Sinopse da flora do Morro dos Fósseis (Formação Fossil Hill)</u>
<p>Macrofósseis: 3.5% de Filicales (Cyatheaceae dominantes) + 4,2% de Equisetaceae + 2.7% de Cycadaceae + 35% de coníferas + 54% de angiospermas.</p> <p>Palinomorfos: 52% de angiospermas (48% de <i>Nothofagus</i> + 46% de Proteaceae, Gunneraceae) + 25% de pteridófitas (Cyatheaceae dominam) + 18% coníferas (Podocarpaceae dominam) + 4% de Briófitas e Licófitas.</p> <p><u>Vegetação:</u> bosque denso de angiospermas de folhas grandes, lianas e <i>Nothofagus</i> de hábitos decíduos (“Floresta Mista Mesofítica” de Wolfe, 1980, ou “Flora de Mescla” de Romero, 1978).</p> <p><u>Deposições com tafoflora similar na ilha e Península:</u> Ilha Dufayel, Dragon e Baía Rocky, na Ilha King George; Fm. Cross Valley, ilha Seymour (Dutra, 2001).</p> <p><u>Clima:</u> subtropical a temperado. Para Li Haomin (1994), temperaturas médias anuais entre 10 e 14°C.</p> <p><u>Idade:</u> Paleoceno Superior - Eoceno Inferior</p>

4.7. *Baía Admiralty*

Na baía do Admiralty (Fig. 7), em que pese o grande número de associações de flora e níveis conhecidos (Birkenmajer & Zastawniak, 1989; Zastawniak, 1994; Dutra, 2004; Boardman & Dutra, 2005), as pteridófitas tem uma significativa redução numérica entre os fósseis e estão restritas, em geral, àquelas conhecidas apenas na microflora, como nos níveis do Pontal Thomas, estudados por Stuchlick (1981). Nos oito diferentes níveis estudados as pteridófitas mostram uma presença inicial de cerca de 40% da microflora e uma redução drástica para menos de 20% nos níveis de topo. Estão presentes os mesmos grupos já vistos para os outros locais da ilha, com formas de Gleicheniaceae, Cyatheaceae, mas surgem como novidades representantes de Polypodiaceae, Dennstaediaceae, com Ephedraceae e Salvinaceae, sugestivas da proximidade de corpos de água. Rhamnaceae e *Nothofagus* variados representam as angiospermas e, pela primeira vez em níveis cenozóicos da Antártica, formas de gramíneas (*Festuca*). O pacote foi incluído na Formação Arctowsky Cove de Birkenmajer (1981), de idade Paleoceno, e composta por uma sucessão de lavas onde os palinomorfos correspondem a uma pequena intercalação de piroclásticas retrabalhadas por rios e depositadas em um lago.

O domínio de *Nothofagus* não difere muito dos restos identificados entre os macrofósseis dos níveis mais elevados da deposição próxima do Monte Wawel (Pontal Hennequin), onde as idades sugeridas correspondem ao Eoceno Médio (Cunha *et al.* 2008, Fontes & Dutra 2010).

No Monte Wawel as pteridófitas, muito raras entre os macrofósseis, foram associadas à Filicales indeterminadas e a *?Gleichenia sp.*, (Zastawniak, 1981) e uma fronde fértil de Dicksoniaceae, identificada por Cunha *et al.* (2008).

4.8. Registro de Pteridófitas na ilha Nelson

Na ilha Nelson os fósseis de plantas são exclusivos até o momento de uma sucessão exposta no extremo norte da ilha, o Rip Point, separada da ilha King George, pelo estreito Fildes, uma pequena passagem marinha de menos de 300 m de largura (Fig. 8). Trata-se de uma localidade inédita quanto às feições deposicionais presentes e litologias, e cujo conteúdo fóssil havia sido apenas previamente comunicado (Dutra *et al.*, 1998). Restos de pteridófitas desta localidade são aqui pela primeira vez apresentados e analisados de modo sistemático, no artigo que complementa esta dissertação (anexo).

A macroflora está distribuída em dois distintos níveis, separados por uma provável discordância e níveis de *lahar* e lavas, e as impressões de pinas de pteridófitas provém do mais antigo deles. Suas características morfológicas (e a provável presença também de estruturas férteis) sugerem sua afinidade com as formas o gênero *Coniopteris* sp., e a família Dicksoniaceae.

Coniopteris é um morfogênero abundantemente registrado e distribuído globalmente em rochas do Mesozóico, mas os elementos a ele associados mostram uma diversidade de caracteres e de afinidades complexas ou pobremente estabelecidas, ao qual foram anexadas muitas pteridófitas fósseis, grande parte das vezes apenas por terem sido identificadas em depósitos jurássicos e cretáceos, e por estarem representadas por pínulas do tipo esfenopteróide (Harris, 1961; Stewart & Rothwell, 1993). Diante disto, neste trabalho foram adotados em sua afinidade, os parâmetros originais propostos por Seward (1912) e modificados por Harris (1961).

Sua presença em níveis do norte da ilha Nelson (Rip Point) se reveste de grande significado por sua importância nas correlações e por suas afinidades ambientais. Junto com morfotipos atribuídos a *Sphenopteris* (muitas vezes considerados as frondes estéreis de *Coniopteris*), *Eboracia*, *Kylikipteris* e *Dicksonia*, as formas do gênero são as mais bem

conhecidas entre as Dicksoniaceae para o Mesozóico (Harris, 1961; Kimura & Tsujii, 1980; Van Konijnenburg-van Cittert, 2002).

Segundo Stewart & Rothwell (1993), as formas mais antigas de *Coniopteris* seriam registradas apenas a partir do Jurássico. Mas o levantamento do registro fóssil aqui realizado (ver anexo) mostra que tipos morfológicos ligados ao gênero já estava presente em assembléias do final do Triássico Médio, do noroeste da Argentina (Mendoza e San Juan), Austrália e Iran (Tabelas 1 e 2 do anexo), acompanhando a tendência geral das pteridófitas e outros grupos de plantas, de ocuparem os espaços deixados abertos após a extinção do Permiano. Efetivamente, no entanto, foi a partir do início do Jurássico que apresentaram sua maior abundância, dispersando para ambos os hemisférios.

Como as Bennettitales, também surgidas nesta região meridional da América do Sul (Taylor *et al.* 2009; Barboni & Dutra, 2011, no prelo) e importantes acompanhantes de *Coniopteris* nas associações, sofrem uma queda importante em sua diversidade no final do Jurássico, seguida de uma nova radiação no início do Cretáceo (Skog, 2001, Fig. 15).

Este episódio de irradiação do grupo coincide também com o aparecimento e diversificação, das formas leptosporangiadas homosporadas, e dos tipos aquáticos heterosporados das ordens Marsileales e Salviniiales (Skog, 2001). E parece sugerir que o terceiro episódio de irradiação das Filicopsida pode ter ocorrido um pouco antes daquele proposto por Stewart & Rothwell (1993).

O registro específico de formas de *Coniopteris* e a discussão de suas afinidades são tratados no artigo anexo, submetido ao periódico *Antarctic Science*.

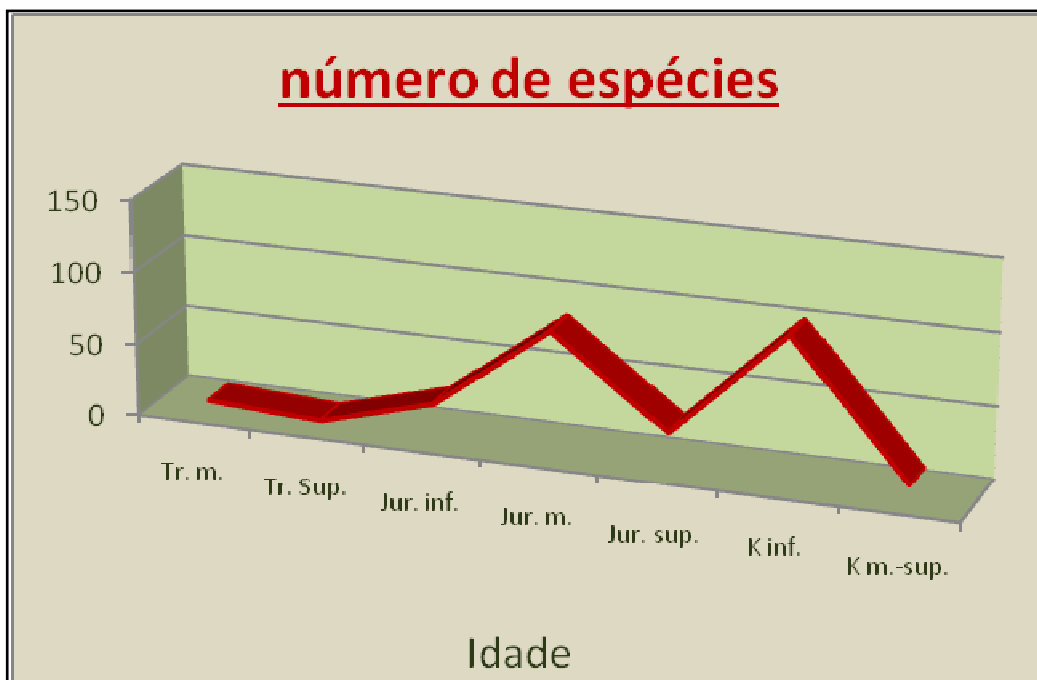


Figura 15. Distribuição global das espécies de *Coniopteris* ao longo do Mesozóico (dados a partir da Tabela 1, artigo anexo)

5. CONCLUSÕES

As pteridófitas são registradas na Península Antártica, inclusive com formas férteis, desde o Jurássico até o Eoceno. Durante o Cretáceo se tornam frequentes nas florestas com *Nothofagus*, que ainda incluem coníferas Podocarpaceae e Araucariaceae e fungos, apoiando o clima temperado e úmido para estas áreas.

A chegada dos climas mais frios no final do Cretáceo, e a diversificação das angiospermas, causam o declínio de algumas formas que até então haviam dominado o registro e o aparecimento dos primeiros tipos capazes de serem relacionados às formas modernas, especialmente nestas altas latitudes, os tipos arborescentes.

Nas ilhas mais setentrionais do arquipélago das Shetland, Nelson e King George, camadas com restos de plantas foram identificadas em distintas localidades e uma boa parte delas contém restos de pteridófitas. Na ilha King George os fósseis se distribuem em dois principais setores, a península Fildes e a baía Admiralty, associados a níveis originados pela deposição direta dos processos de queda e fluxos de cinza, ou mais raramente nos depósitos originados por seu retrabalhamento por depósitos gravitacionais ou transporte pela água. Na Península Fildes as filicopsidas conhecidas se estendem entre o final do Cretáceo e o

Paleógeno e costumam estar bem representadas, algumas vezes por partes de fronde. Na baía Admiralty são mais raras no registro macroflorístico, mas estão representadas por esporos variados, nas análises palinológicas, e em níveis atribuídos ao Eoceno Inferior.

A nova forma de Dicksoniaceae descrita para a ilha Nelson e associada ao gênero *Coniopteris*, está registrada na micro e macroflora e constitui um importante elemento na comprovação da maior antiguidade dos níveis da ilha Nelson, por sua relação com outras deposições mesozóicas em áreas da Península (Latady Basin, Hope Bay, e as ilhas Alexander e Livingston). A quase extinção do gênero a nível global a partir do final do Mesozóico apóia estas inferências e contribui na determinação da idade nos níveis basais do Pontal Rip. A idade é ainda suportada pela afinidade composicional da paleoflora e pelos aspectos deposicionais das litologias onde foram preservados os restos, similares àquelas das áreas do sul da ilha King George.

A presença de níveis mais antigos nas áreas do sul de King George e na ilha Nelson, corrobora os modelos tectônicos que propõem a gênese do arquipélago das Shetland a processos magmáticos de formação de um arco de ilhas ou *hot spot*, superimpostos ao contexto mais amplo de uma zona de subducção iniciada no Jurássico.

Em termos paleoambientais, a análise do conjunto das formas preservadas e seus comparativos modernos mostra que as floras pteridofíticas do norte da Península guardam uma estreita relação com aquelas que hoje crescem em áreas do oeste do Chile (Juan Fernandez e Valdívia), sudeste da Austrália (Tasmânia e Nova Gales do Sul) e Nova Zelândia. Estes locais estão hoje submetidos a climas oceânicos, subtropicais a temperados frios, requisitos ecológicos que podem ter condicionado seu crescimento nas áreas da Península entre o final do Mesozóico e o início do Cenozóico.

Sua moderna distribuição disjunta apoia ainda o importante papel exercido pelas terras da Antártica na dispersão das floras austrais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREWS, H.N.; PHILLIPS, T.L. 1968. *Rhacophyton* from the Upper Devonian of West Virginia. *Botanical Journal of the Linnean Society, London*, **61**:37-64.
- ANELLI, L.E.; ROCHA-CAMPOS, A.C.; SANTOS, P.R.; PERINOTTO, J.A.J.; QUAGLIO, F. 2006. Early Miocene bivalves from the Cape Melville Formation, King George Island, Antarctica. *Alcheringa*, **30**(1):111-132.
- ASKIN, R.A. 1989. Endemism and heterochroneity in the Late Cretaceous (Campanian) to Paleocene palynofloras of Seymour Island, Antarctica: implications for origins, dispersal and paleoclimates of southern floras. In: CRAME, J.A. (ed.), *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*, Geological Society Special Publication. London, v. 47, p. 107-119.
- AXELROD, D.I. 1959. Poleward migration of early angiosperm flora. *Science*, **130**(3369): 203-207.
- BANKS, H.P. 1964. Putative Devonian Ferns. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **21**:1-25.
- BARBONI, R.; DUTRA, T.L. (2011, no prelo). *Williamsonia potyporanae*, uma nova Bennettitales no final do Triássico Superior do sul do Brasil e seu contexto evolutivo, deposicional e estratigráfico. *Ameghiniana* (submetido).
- BARKER, P.F. 1982. The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula: ridge crest–trench interactions. *Journal of the Geological Society*, **139**, 787-801.
- BARTON, C.M. 1965. The Geology of South Shetland Islands. III. The stratigraphy of King George Island. *Scientific Reports of the British Antarctic Survey*, v.44, pp.1-33.
- BIBBY, J.S. 1961. The geology of Ezcurra Inlet and Point Thomas, Admiralty Bay, King George Island, South Shetland. *Falkland Island Department Survey, Preliminary Geological Report*, **8**:1-10.
- BIRKENMAJER, K. 1981. Lithostratigraphy of the Point Hennequin Group (Miocene volcanics and sediments at King George Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **72**:59-73.
- BIRKENMAJER, K.; DELITALA, M.C.; NAREBSKI, W.; NICOLETTI, M.; PETRUCCIANI, C. 1986a. Geochronology and migration of Cretaceous through Tertiary plutonic centers, South Shetland Islands (West Antarctica): subduction and hot spot magmatism. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences*, **34**(3):243- 255.

- BIRKENMAJER, K. 1988. Tertiary glacial and interglacial deposits (South Shetland Islands, Antarctica: Geochronology *versus* Biostratigraphy (A Progress Report). Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences, 36, v.2, p.133-145.
- BIRKENMAJER, K.; ZASTAWNIAK, E. 1989. Late Cretaceous-Early Tertiary floras of King George Island, West Antarctic: their stratigraphic distribution and palaeoclimatic significance. In: CRAME, J. A. (org.). *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*. London: The Geological Society, Special Publication, 47, pp. 227-240.
- BIRKENMAJER, K. 2001. Mesozoic and Cenozoic stratigraphic units in parts of the South Shetland Islands and Northern Antarctic Peninsula (as used by the Polish Antarctic Programmes). *Studia Geologica Polonica*, **118**:5-188.
- BIRKENMAJER, K.; GAZDZICKI, A.; KRAJEWSKI, K.P.; PRZYBYCIN, A.; SOLECKI, A.; TATUR, A.; HO II YOON. 2005. First Cenozoic glaciers in West Antarctica. *Polish Polar Research*, **26**(1):3–12.
- BIRKENMAJER, K.; OCIEPA, A.M. 2008. Plant-bearing Jurassic strata at Hope Bay, Antarctic Peninsula (West Antarctica): geology and fossil-plant description. *Studia Geologica Polonica*, **128**:5-96.
- BOARDMAN, D.; DUTRA, T.D. 2005. Upper Paleocene?- Lower Eocene fossils related to Araucariaceae from King George Island, Antarctic Peninsula. In INTERNATIONAL ORGANIZATION OF PALEOBOTANICAL CONFERENCE, 7, Bariloche. *Abstracts*, p. 86.
- BOMFLEUR, B.; SCHNEIDER, J.W.; SCHÖNER, R.; VIREECK-GÖTTE, L.; KERP, H. 2007. Exceptionally well-preserved Triassic and Early Jurassic floras from North Victoria Land, Antarctica, in Antarctica. In: COOPER, A.K. & RAYMOND, C.R. (eds.), *Keystone in a Changing World*. Online Proceedings of the 10th ISAES, USGS Open-File Report 2007-1047, *Extended Abstract* 034, 4 p.
- BOMFLEUR, B.; POTT, C.; KERP, H. 2010. Plant assemblages from the Shafer Peak Formation (Lower-Jurassic), north Victoria Land, Transantarctic Mountains. *Antarctic Science*, p.1- 21.
- BOSE, M.N.; TAYLOR, E.L.; TAYLOR, T.N. 1990. Gondwana floras of India and Antarctica - a survey and appraisal. In: TAYLOR, T.N. & TAYLOR, E.L. eds. *Antarctic Paleobiology: its role in the reconstruction of Gondwana*. Springer- Verlag, New York, pp. 118-148.

- BROWNSEY, P.J. 2001. New Zealand's Pteridophyte Flora-Plants of Ancient Lineage but Recent Arrival?. Papers from the Pteridophyte Biogeography Symposium, International Botanical Congress. *Brittonia* **53**(2):284-303.
- BURNHAM, R.J.; SPICER, R.A. 1986. Forest litter preserved by volcanic activity at El Chichon, Mexico: A potentially accurate record of pre-eruption vegetation. *Palaios*, **1**(2): 158-161.
- CASE, J.A. 1988. Paleogene Floras from Seymour Island, Antarctic Peninsula. In: FELDMANN, R.; WOODBURNE, M.O. (Orgs.). *Geology and Paleontology of Seymour Island, Antarctic Peninsula*. Memoir of the Geological Society of America, Colorado, 169, pp. 489-498.
- CASE, J.A. 1989. Antarctica: the effect of high latitude heterochroneity on the origin of the Australian marsupials *Geological Society of London Special Publications*, v. 47, p. 217-226.
- CANTRILL, D.J. 1995. The occurrence of the fern *Hausmannia* Dunker in the Cretaceous of Alexander Island, Antarctica. *Alcheringa*, **19**:243-254.
- CANTRILL, D.J.; DRINNAN, A.N.; WEBB, J.A., 1995. Late Triassic plant fossils from the Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Antarctic Science*, Scientific Publications, Oxford, v.7, n.1, p. 51-62.
- CANTRILL, D.J. 1997. The pteridophyte *Ashicaulis livingstonensis* (Osmundaceae) from the Upper Cretaceous of Williams Point, Livingston Island, Antarctica. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **40**:315-323.
- CANTRILL, D.J.; HUNTER, M.A. 2005. Macrofossil floras of the Latady Basin, Antarctic Peninsula. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **48**, 537-553.
- CANTRILL, D.J.; NICHOLS, G.J. 1996. Taxonomy and palaeoecology of Early Cretaceous (Late Albian) angiosperm leaves from Alexander Island, Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **92**, 1-28.
- CANTRILL, D.J.; NAGALINGUM, N.S. 2005. Ferns from the Cretaceous of Alexander Island, Antarctica: Implications for Cretaceous phytogeography of the Southern Hemisphere. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **137**:83-103.
- CAO LIU. 1992. Late Cretaceous and Eocene palynofloras from Fildes peninsula, King George Island (South Shetland Island), Antarctica. In: YOSHIDA, Y. *et al.* (Orgs.), *Recent Progress in Antarctic Earth Science*. Tokyo: Terra Scientific Publishing Company, pp. 363-369.

- CAO LIU. 1994. Late Cretaceous palynoflora in King George Island of Antarctic, with references to its paleoclimatic significance. In SHEN YANBIN (Org.). *Stratigraphy and Palaeontology of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctic*. Beijing: Monograph Science Press, pp. 51-83.
- CÉSARI, S.N.; REMESAL, M.; PARICA, C. 2001. Ferns: a paleoclimatic significant component of the Cretaceous flora from Livingston Island, Antarctica. *Asociación Paleontológica Argentina*, **7**:45-50.
- CÉSARI, S.N. 2006. Aptian ferns with in situ spores from the South Shetland Islands, Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **138**:227-238.
- CZAJKOWSKI, S.; RÖSLER O. 1986. Plantas fósseis da Península Fildes, ilha King George (Shetland do Sul): Morfografia das impressões foliares. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **58**:99-100.
- COLLINSON, M.E. 2001. Cainozoic fern and their distribution. *Brittonia*, **2**:173-235.
- COLLINSON, M.E. 2002. The ecology of Cainozoic ferns. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **119**:51-68.
- COPELAND, E.B. 1939. Fern evolution in Antarctica. *Philippine Journal of Science*, **2**(70):157- 189.
- CRAME, J.A.; PIRRIE, D.; RIDING, J.B. 2006. Mid-Cretaceous stratigraphy of the James Ross Basin, Antarctica. *Geological Society Special Publication*, **258**:7-19.
- CUNHA, M.; DUTRA, T.L.; CARDOSO, N. 2008. Uma Dicksoniaceae fértil no Eoceno da Ilha King George, Península Antártica (A fertile Dicksoniaceae in the Eocene beds of King George Island, Antarctic Peninsula). *Gaea Journal of Geoscience*, **4**(1):1-13.
- DELEVORYAS, T. 1962. *Morphology and Evolution of Fossil Plants*. Holt, Rinehart and Winston, New York, 189p.
- DETTMANN, M.E. 1989. Antarctica: Cretaceous cradle of austral temperate rainforests?. In: CRAME, J.A. (ed.), *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*, The Geological Society Special Publication, London, v. 47, pp. 89-105.
- DEL VALLE, R.A. & RINALDI, C.A. 1993. Structural features of the northeastern sector of the Antarctic Peninsula. In JORNADAS DE COMUNICACIONES SOBRE INVESTIGACIONES ANTÁRTICAS, 2, Instituto Antártico Argentino, *Resumos*, p.261-267.
- DIMICHELE, W.A.; PHILLIPS, T.L. 2002. The ecology of Paleozoic ferns. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **119**:143-159.

- DIMICHELE, W.A.; STEIN, W.E.; BATEMAN, R.M. 2001. Ecological sorting during the Paleozoic radiation of vascular plant classes. *In: ALLMON, W.D. & BOTTJER, D.J. (eds.), Evolutionary Paleocology*. Columbia University Press, pp. 285-335.
- DOKTOR, M.; GAZDZICKI, A.; JERZMANSKA, A.; PÖREBSKI, S.J.; ZASTAWNIAK, E. 1996. A plant-and-fish assemblage from the Eocene La Meseta Formation of Seymour Island (Antarctic Peninsula) and its environmental implications. *Palaeontologia Polonica*, 55:127-146.
- DUSÉN, P. 1908. Über die tertiäre flora der Seymour-Insel. Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar-Expedition 1901-1903, *Lithographisches Institut des Generalstabs*. Bd 1-3(3):1-127.
- DUTRA, T.L. 1997. *Composição e história da vegetação do Cretáceo e Terciário da ilha Rei George, Península Antártica*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 481 p., 2 anexos.
- DUTRA, T.L., HANSEN, M.A.F.; FLECK, A. 1998. New evidences of wet and mild climates in Northern Antarctic Peninsula at the end of Cretaceous. *In: 3rd. Annual Conference of IGCP Project 381*, 10-13.
- DUTRA, T.L.; BATTEN, D.J. 2000. Upper Cretaceous floras of King George Island, West Antarctica, and their palaeoenvironmental and phytogeographic implications. *Cretaceous Research*, 21:181–209.
- DUTRA, T.L.; LEIPNITZ, B.; FACCINI, U. F.; LINDENMAYER, Z. 1996. A non marine Upper Cretaceous interval in West Antártica (King George Island, Northern Antarctic Peninsula). *South American Mesozoic Correlations –IGUS- 381 Project News*, 5:21-22.
- DUTRA, T.L. 2001. Paleoflora da ilha 25 de Mayo, Península Antártica: contribuição à paleogeografia, paleoclima e para a evolução de *Nothofagus*. *Asociación Paleontologia Argentina, Publicación Especial*, 8: 29-37.
- DUTRA, T.L. 2004. Paleofloras da Antártica e sua relação com os eventos tectônicos e paleoclimáticos nas altas latitudes do sul. *Revista Brasileira de Geociências*, 3(34):401–410.
- DUTRA, T.L.; JASPER, A. 2010. Paleontologia da Antártica. *In: Carvalho, I. (org.). Paleontologia*. 3 ed. Interciência, Rio de Janeiro, v. 1, pp. 537-572.
- ESAU, K. 1976. *Anatomia das plantas com sementes*. Edgard Blucher, São Paulo, 293 p.
- FRANCIS, J.E. 1991. Paleoclimatic significance of Cretaceous-Early Tertiary fossil forests of the Antarctic Peninsula. *In: THOMSON, M.R.A., CRAME, J.A. & THOMSON, J.W.*

- (eds.), *Geological Evolution of Antarctic*. Cambridge University Press, Cambridge (Proceedings of the V International Symposium on Antarctic Earth Sciences), pp. 623-628.
- FONTES, D.; DUTRA, T.L. 2010. Palogene imbricate-leaved podocarps from King George Island (Antarctica): assessing the geological context and botanical affinities. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **13**(3):189-204.
- GALTIER, J.; SCOTT, A.C. 1985. Diversification of early ferns. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, **86B**:289-301.
- GALTIER, J.; TAYLOR, T.N. 1994. The first record of the ferns from the Permian of Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **83**:227 – 239.
- GEE, C.T. 1989. Revision of the Late Jurassic/Early Cretaceous flora from Hope Bay, Antarctica. *Palaeontographica B*, **213**, 49–214.
- HALPERN, C.B.; FRENZEN, P.M.; MEANS, J.E.; FRANKLIN, J.F. 1990. Plant succession in areas of scorched and blown-down forest after the 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington. *Journal of Vegetation Science*, **1**, 181-194
- HARRIS, T.M. 1961. *The Yorkshire Jurassic flora I. Tallophyta, Pteridophyta*. British Museum (Natural History), London, 212 pp.
- HAWKES, D.D. 1961. The Geology of the South Shetland Islands. I. The petrology of the King George Island. *Falkland Island Department Survey, Science Reports*, v.26, pp.1-28.
- HILL, S.A.; SCHECKLER, S.E.; BASINGER, J.F. 1997. *Ellesmeris sphenopteroides*, gen et. sp. nov., a new zygopterid fern from the Upper Devonian (Frasnian) of Ellesmere, NWT, Arctic Canada. *American Journal of Botany*, **84**(1): 85-103.
- HUNT, R.J.; POOLE, I. 2003. Paleogene West Antarctic climate and vegetation history in light of new data from King George Island. *Geological Society of America, Special Paper*, **369**:395-412.
- HUNTER, M.A.; CANTRILL, D.J.; FLOWERDEW, M.J. 2006. Latest Jurassic–earliest Cretaceous age for a fossil flora from the Latady Basin, Antarctic Peninsula. *Antarctic Science*, **18**, 261–264
- JUDD, W.; CAMPBELL, C. S.; KELLOGG, E. A.; STEVENS, P. F.; DONOGHUE, M. J. 2002. *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach*. Ed. 2. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- KIMURA, T.; TSUJII, M. (1980) Early Jurassic plants in Japan, Part 1. *Proceedings of the Palaeontological Society of Japan*, **119**, 339-358.

- KUBITZKI, K. 1990. *The families and genera of vascular plants. Vol. 1. Pteridophytes and gymnosperms*. Springer-Verlag, Berlin. 493p.
- LECLERCQ, S.; BANKS, H.P. 1962. *Pseudosporochnus nodosus* sp. nov., a Middle Devonian plant with cladoxylalean affinities. *Palaeontographica B*, **123**:97-112.
- LIGNIER, O. 1908. Essais sur l'évolution morphologique de regne vegetal. *Compte Rendu de l'Association Francais pour l'Avance di Science. Clermont-Ferrand*, **37**:530-542.
- LI HAOMIN; SHEN YANBIN. 1990. A primary study of Fossil Hill flora from Fildes Peninsula of King George Island, Antarctica. *Acta Paleontologica Sinica*, **29**(2):147-153, 2 pl.
- LYRA, C. 1986. Palinologia dos sedimentos terciários da Península Fildes, ilha Rei George (Ilhas Shetland do Sul, Antártica) e algumas considerações paleoambientais. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **58**:137-147.
- MACPHAIL, M.K.; ALLEY, N.F.; TRUSWELL, E.M.; SLUITER, I.R.H. 1994. Early Tertiary vegetation: evidence from spores and pollen. In: Hill, R.S. (ed.), *History of the Australian vegetation: Cretaceous to Recent*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 189-261.
- MARENSSI, S.A.; SANTILLANA, S.N.; RINALDI, C.A. 1998. Stratigraphy of the La Meseta Formation (Eocene), Marambio (Seymour) Island, Antarctica. In: CASADIO, S. (ed.), *Paleógeno de América del Sur y de la Península Antártica*. Asociación Paleontológica. Argentina, Publicación Especial, **5**:137-146.
- McIVER, E.E.; BASINGER, J.F. 1993. Fossil flora of the Ravenscrag Formation (Paleocene), southwestern Saskatchewan, Canada. *Palaeontographica Canadiana*, **10**, 167 pp.
- MCLOUGHLIN S.; LINDSTRÖM S.; DRINNAN A. 1997. Gondwanan floristic and sedimentological trends during the Permian-Triassic transition: new evidence from the Amery group, northern Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Antarctic Science*, **9**(3):281-298.
- MILLAY, M.A.; TAYLOR, T.N. 1990. New fern stems from the Triassic of Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **62**:41- 64.
- MOHR, B.A.R.; LAZARUS, D.B. 1994. Paleobiogeographic distribution of *Kuylisporites* and its possible relationship to the extant fern genus *Cnemidaria* (Cyatheaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **81**:758-767.

- MOREL, E.M.; ARTABE, A.E.; GANZULA, D.G.; BREA, M. 1994. Las plantas fosiles de la Formacion Monte Flora, en Bahia Botanica, Peninsula Antártica, Argentina. 1. Dipteridaceae. *Ameghiniana*, **31**:23–31.
- NAGALINGUM, N.S.; CANTRILL, D.J. 2006. Early Cretaceous Gleicheniaceae and Matoniaceae (Gleicheniales) from Alexander Island, Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **138**:73-93.
- ORLANDO, H.A. 1964. The Fossil Flora of the surroundings of Ardley Peninsula (Ardley Island), 25 de Mayo Island (King George Island), South Shetland Islands. In: ADIE, R.J. (ed.), *Antarctic Geology*. Proceedings of the First International Symposium on Antarctic Geology, Cape Town, 1963. Amsterdam, North Holland Publ. Co., pp. 629-636.
- PAGE, C.N., 1972. An assessment of inter-specific relationships in *Equisetum* subgenus *Equisetum*. *New Phytologist*. **71**:355-369.
- PALMA-HELDT, S. 1987. Estudio palinológico en el Terciario de las Islas Rey Jorge y Brabante, Territorio Insular Antártico. *Série Científica del Instituto Antártico Chileno*, **36**:56-71.
- PANKHURST, R. J.; SMELLIE, J., 1983. K-Ar Geochronology of the South Shetland Islands, Lesser Antarctica: apparent lateral migration of Jurassic to Quaternary island arc volcanism. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 66, p. 214-222.
- PRYER, K.M.; SMITH, A.R. 2007. Phylogenetic reconstruction of leptosporiangiate ferns. Tree of Life web Page. Disponível em [http://tolweb.org/tree?group=Filicopsida&contgroup=Embryophytes], acesso em 2/11/2007.
- QUAGLIO, F.; ANELLI, L.E.; SANTOS, P.R.; PERINOTTO, J.A.J.; ROCHA-CAMPOS, A.C. 2008. Invertebrates from the Low Head Member (Polonez Cove Formation, Oligocene) at Vauréal Peak, King George Island, West Antarctica. *Antarctic Science*, **20**(2): 149-168.
- REES, P.M. 1990. *Palaeobotanical contributions to the Mesozoic geology of the northern Antarctic Peninsula region*. PhD thesis, Royal Holloway and Bedford New College, University of London, London, 285p [unpublished].
- REES, P.M.; CLEAL, C.J. 2004. Lower Jurassic Floras from Hope Bay and Botany Bay, Antarctica. *The Paleontological Association, London, Special Papers in Palaeontology*, v. 72, 89 p.
- REMY, W.; REMY, R. 1977. *Die Floren des Erdaltertums*. Glickauf, Essen, 438 p.
- RETALLACK, G.J. 1992. What to call early plant formations on land. *Palaios*, **7**:508-520.

- REX, G.M.; SCOTT, A.C. 1987. The sedimentology, palaeoecology and preservation of the Lower Carboniferous plant deposits at Pettycur, Fife, Scotland. *Geological Magazine*, **124**:43-66.
- RODRIGUES, S.T.; ALMEIDA, S.S.; ANDRADE, L.H.C., BARROS, I.C.L.; VAN DEN BERG, M.E. 2004. Composição florística e abundância de pteridófitas em três ambientes da bacia do rio Guamá, Belém, Pará, Brasil. *Acta Amazônica*. 34(1): 35 – 42.
- ROHN, R.; RÖSLER, O.; CZAJKOWSKI, S. 1987. *Fildesia pulchra* gen. et sp. nov. - Folha fóssil de Terciário Inferior da Península Fildes, Ilha Rei George, Antártica. *Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Série Científica*, 18:11-16.
- ROMERO, E.J. 1978. Paleoecología y paleofitogeografía de las taofloras del Cenofítico de Argentina y Areas Vecinas. *Ameghiniana*, 1–2(15):209-227.
- RÖSLER, O.; FENSTERSEIFER, H.; CZAJKOWSKI, S. 1985. Ocorrência de plantas fósseis de idade terciária em rochas vulcanoclásticas na escarpa ocidental da Península Fildes, Ilha Rei George, Antártica. *Paleobotânica Latinoamericana*, 7(1):8.
- ROHN, R.; RÖSLER, O.; CIGUEL, J.H.G. 1994a. Megafósseis vegetais do Terciário Inferior coletados durante a Operação Antártica V (Península Fildes, ilha Rei George). Localidades III e IV: Pontal Winkel e Pontal Price. (relatório não publicado).
- ROHN, R.; RÖSLER, O.; CIGUEL, J.H.G. 1994b. Megafósseis vegetais do Terciário Inferior coletados durante a Operação Antártica V (Península Fildes, ilha Rei George). Localidade II: proximidades do Pontal Suffield (relatório não publicado).
- SCHECKLER, S.E. 1986. Geology, floristics and paleoecology of late Devonian coal swamps from Appalachian Laurentia. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, **109**: 209-222.
- SHEN YANBIN. 1994. Subdivision and correlation of Cretaceous to Paleogene volcano-sedimentary sequence from Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica. In SHEN YANBIN (Org.). *Stratigraphy and Palaeontology of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctic*. Beijing: Monograph Science Press, n. 3, pp. 1-36.
- SCOTT, A.C.; GALTIER, J. 1985. Distribution and ecology of early ferns. *Proceedings of the Royal Society, Edinburgh B*, **86**:141–149.
- SEWARD, A.C. 1912. Jurassic plants from Amurland. *Memoire du Comite Geologique, New Series*, **81**, 17-34, pls. 1-3.
- SKOG, J.E. 2001. Biogeography of Mesozoic leptosporiangiate ferns related to extant ferns. *Brittonia*, **2**(53):236-269.

- SKOTTSBERG, C. 1949. Influence of the Antarctic Continent on the vegetation of southern lands. In PACIFIC SCIENCE CONGRESS (New Zealand), 7, *Proceedings*, 5:92-99.
- SMELLIE, J.L.; PANKHURST, R.J.; THOMSON, M.R.A.; DAVIES, RE.S. 1984. The geology of the South Shetland Islands: VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, **87**:1-85.
- SMITH, A.R.; PRYER, K.M., SCHUETTPELZ, E.; KORALL, P.; SCHNEIDER, H.; WOLF, P.G. 2006. A classification of extant ferns. *Taxon*, 3(55):705-731.
- SPICER, R.A. 1991. Plant taphonomic processes. In: ALLISON, P.A. & BRIGGS, D.E.G., eds. *Taphonomy, releasing the data locked in fossil record*. Topics in Geobiology, 71-113.
- SPICER, R.A.; BURNHAM, R.J.; GRANT, P.R.; GLICKEN, H. 1985. *Pityrogramma calamelanos*: the primary colonizer of Volcan Chichon, Chiapas, Mexico. *American Fern Journal*, **75**, 1-7.
- STEWART, W.N.; ROTHWELL, G.W. 1993. *Paleobotany and the Evolution of Plants*, 2nd ed., Cambridge University Press, New York, 521 pp. (versão digital 2009).
- STUHLICK, L. 1981. Tertiary pollen spectra from the Excurra Inlet Group of Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Studia Geologica Polonica*, **72**:109-130.
- SOLIANI JR., E.; KAWASHITA, K.; FENSTERSEIFER, H. C.; HANSEN, M. A. F., TROIAN, F. L. 1988. K-Ar Ages of the Winkel Point Formation (Fildes Peninsula Group) and Associated Intrusions, King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Série Científica Instituto Antártico Chileno*, **38**:133-139.
- TAYLOR, E.L.; TAYLOR, T.N. 1990. Antarctic paleobiology and its role in the reconstruction of Gondwana. Springer-Verlag, New York, pp. 350.
- TAYLOR, T.N.; TAYLOR, E.L.; KRINGS, M. 2009. *Paleobotany: the Biology and evolution of fossil plants*. Academic Press, U.K., 1230 p.
- TIDWELL, W.D.; ASH, S.R. 1994. A review of selected Triassic and Early Cretaceous ferns. *Journal of Plant Research*, **107**:417-442.
- THORNTON, I.W.B.; COOK, S.; EDWARDS, J.S.; HARRISON, R.D.; SCHIPPER, C.; SHANAHAN, M.; SINGADAN, R.; YAMUNA, R. 2001. Colonization of an island volcano, Long Island, Papua New Guinea, and an emergent island, Motmot, in its caldera lake. VII. Overview and discussion. *Journal of Biogeography*, **28**, 1389-1408.

- TRONCOSO, A. 1986. Nuevas órgano-especies en la Taoflora Terciaria Inferior de Península Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica. *Serie Científica del Instituto Antártico Chileno*, **34**: 23-46.
- TRUSWELL, E.M. 1991a. Antarctica: a history of terrestrial vegetation. In: TINGEY, R.J. (ed.) *The Geology of Antarctica*. Oxford University Press. p. 499-537.
- TRUSWELL, E.M. 1991b. Data report: palynology of sediments from Leg 119 drill sites in Prydz Bay, East Antarctica. In: MAZZULLO, E.K. & STEWART, N.J. (eds.) *College Station, Texas A and M University. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, v.119, p.941-945.
- TRYON, R.M.; TRYON A.F. 1982. *Ferns and Allied Plants, with Special Reference to Tropical America*. Springer-Verlag, New York. 557p.
- TORRES GONZALES, T. 1990. *Etude paleobotanique du tertiaire de les Isles Roi George et Seymour, Antarctique*. These de Doctorat, Laboratoire de Paléobotanique et Evolution de Végétaux de L'Université Claude Bernard LYON. 290 p., 40 pl. 2 tomes.
- TORRES, G.T.; MÉON, H. 1990. Estudio palinológico preliminar de Cerro Fósil, Península Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica. *Serie Científica del Instituto Antártico Chileno*, **40** :21-39.
- TORRES, G.T.; MÉON, H. 1993. *Lophosoria* del Terciario de isla Rey Jorge y Chile Central: origen y dispersión em el hemisfério Sur. *Serie Científica del Instituto Antártico Chileno*, **43**:17–30.
- TORRES, G.T.; MÉON, H. 2006. Revision de pteridophytes du Mesozoique et du Cenozoique de la Peninsule Antarctique, des iles Shetland du Sud et de la Patagonie. In *A life of ferns and gymnosperms workshop*, Montpellier, France. *Abstracts*, pp. 26-27
- TORRES, G.T.; BARALE, G.; MÉON, H.; PHILIPPE, M.; THÉVENARD, F. 1997. Cretaceous flora from Snow Island (South Shetland Islands, Antarctic) and their biostratigraphic significance. In: C.A. RICCI (org.), *The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes*. Terra Antarctica Publication, Siena, p.1023-1028.
- VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT, J.H.A. 2002. Ecology of some Late Triassic - Early Cretaceous ferns in Eurásia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **119**:113 – 124.
- WANG YINXI; SHEN YANBIN. 1994. Rb-Sr isotopic dating and trece element, REE geochemistry of Late Cretaceous volcanic rocks from King George Island, Antarctica. In: SHEN, Y.B. (ed.) *Stratigraphy and palaeontology of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica*. Monograph, Beijing Science Press, China, v.3, pp. 109-131.

- WEBB, L.J. 1959. A physiognomic classification of Australian Rain Forests. *Journal of Ecology*, **47**:551-570.
- WILLAN, R.C.R.; HUNTER, M.A. 2005. Basin evolution during the transition from continental rifting to subduction: Evidence from the lithofacies and modal petrology of the Jurassic Latady Group, Antarctic Peninsula. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**: 171-191.
- WOLFE, J.A. 1980. Temperature parameters of Humid to Mesic forests of eastern Asia and relation to forests of other regions of the Northern Hemisphere and Australasia. Professional Papers of the United States Geological Survey, v.1106, p. 1-37.
- XUANLI YAO; TAYLOR, T.N.; TAYLOR, E.L. 1994. Silicified dipterid ferns from the Jurassic of Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **67**:353–362.
- ZASTAWNIAK, E. 1981. Tertiary leaf flora from the Point Hennequin Group of King George Island (South Shetland Island, Antarctica); Preliminary Report. *Studia Geologica Polonica*, **72**:97-108.
- ZASTAWNIAK, E. 1994. Upper Cretaceous leaf flora from the Blaszyk moraine (Zamek Formation), King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica. *Acta Paleobotanica*, **34**:119-163.
- ZIMMERMANN, W. 1959. *Die Phylogenie der Pflanzen*. 2nd. ed. Stuttgart, Fischer, 777 p.
- ZHOU ZHIYAN; LI HAOMIN. 1994a. Some Late Cretaceous plants from King George Island, Antarctica. In: SHEN YANBIN, (org.), *Stratigraphy and Palaeontology of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctic*. Beijing: Monograph Science Press, n. 3, pp. 91-105.
- ZHOU ZHIYAN; LI HAOMIN. 1994b. Early Tertiary Ferns from Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica. In: SHEN YANBIN, (org.), *Stratigraphy and Palaeontology of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctic*. Beijing: Monograph Science Press, n. 3, pp. 181-194.