UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

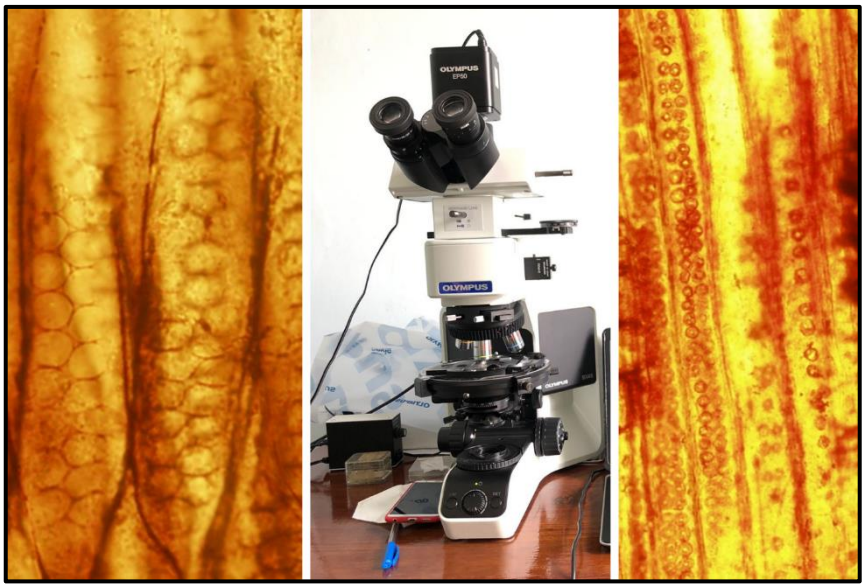
FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LICENCIATURA EM GEOLOGIA APLICADA

PROJECTO CIENTÍFICO

Troncos fósseis da Bacia de Maniamba: descrição anatómica e correlação paleobiogeográfica, com base em lâminas delgadas.



Autora: Arlete José Conde

Maputo, Abril de 2025

UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LICENCIATURA EM GEOLOGIA APLICADA

PROJECTO CIENTÍFICO

Troncos fósseis da Bacia de Maniamba: descrição anatómica e correlação paleobiogeográfica, com base em lâminas delgadas.

Autora: Arlete José Conde

Supervisores:

Prof. Doutor João Mugabe (Universidade Eduardo Mondlane)

Mestre Nelson Nhamutole (Museu Nacional de Geologia/

University of Witwatersrand, África do Sul)

Maputo, Abril de 2025

Agradecimentos

"Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos" (Provérbios 16:3)

A jornada acadêmica é desafiadora, e é verdadeiramente gratificante quando se tem alguém com quem compartilhar o fardo. Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos:

Em primeiro lugar, a Deus, a fonte primordial de todas as coisas, por me conceder força, paciência, discernimento, saúde e determinação ao longo do meu percurso acadêmico.

Aos meus pais, em especial a minha mãe, que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo força, incentivo, consolo, apoio e conforto.

A minha avó Augusta e aos meus tios Lalji e Joelma, que sempre me apoiaram e proporcionaram todo o suporte necessário durante minha trajetória acadêmica.

Ao Museu Nacional de Geologia, em especial ao meu supervisor dr. Nelson Nhamutole, pela oportunidade e por disponibilizar todos os recursos essenciais para a realização deste projeto. Agradeço pela paciência, conselhos, ensinamentos e críticas construtivas.

Ao meu supervisor Prof. Dr. João Mugabe pela orientação e suporte, muito obrigada.

Ao Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane, em particular ao Prof. Doutor Daúd Jamal, minha fonte de inspiração acadêmica. Agradeço imensamente pela paciência, apoio e atenção, e espero que mais estudantes possam ser tocados pelo seu amor pela geologia.

Aos meus colegas de curso, em especial Rita Macamo, Aldevina dos Anjos, Lútecio Sambe, Jardel Peu, Lazáro Mavaeiei, Milton Milambo, Uendi Mazive, Ebiuth Marquil e Vanusa Macuácua, com quem compartilhei intensamente os últimos anos. Agradeço pela camaradagem e pela troca de experiências e conhecimento, que me permitiram crescer não apenas como indivíduo, mas também como estudante.

Aos meus amigos, em especial Salomão Delane.

Aos meus tios, avôs, primos, vizinhos e a todos os que, de maneira direta ou indireta, me deram suporte e conforto, tornando possível a conclusão do curso.

Declaração de honra

Eu, **Arlete José Conde**, afirmo de forma solene que este Projeto Científico é um trabalho original de minha autoria, com a orientação dos Supervisores, desenvolvido em conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo regulamento de Projeto Científico do departamento de Geologia da UEM. Assumo integralmente a responsabilidade por sua elaboração.

Na sua elaboração, foram consultadas referências bibliográficas e entidades, todas devidamente citadas, em consonância com as orientações e sugestões dos Supervisores.

Maputo, Abril de 2025

_____

(Arlete José Conde)

Dedicatória

Este trabalho é dedicado à minha querida mãe, Florinda da Costa, a fonte primordial da minha inspiração.

Resumo

Durante as expedições do projeto PaleoMoz, foram coletados troncos fósseis nas formações Ksb, K6, K5, K4 e K3, com o intuito de descrever a sua anatomia e classificá-los taxonomicamente. Para o alcance desse objectivo, foi necessário o uso de alguns recursos, nomeadamente: pesquisas bibliográficas, uso de softwares e do microscópio petrográfico OLYMPUS BX43 para a análise de lâminas delgadas de dez espécimes: PPM2018-106N, PPM2018-10Z, PPM2018-24R, PPM2018-25R, PPM2018-41R, PPM2019-35R, PPM2019-55R, PPM2019-59NN, PPM2019-68NN e PPM2019-71NN.

A descrição anatómica e a identificação foram possível com base em certas características como: anéis de crescimento, pontuações nas paredes dos traqueídos e campos cruzados.

Os resultados dessa análise mostraram que 2 espécimes pertencem ao táxon *Agathoxylon africanum* (PPM2018-106N e PPM2018-25R), 2 espécimes (PPM2018-10Z e PPM2019-59NN) ao *Agathoxylon karooensis*, 2 espécimes (PPM2019-35R e PPM2019-55R) ao táxon *Australoxylon teixeirae* e 1 espécime (PPM2019-68NN) ao táxon *Cupressinoxylon* cf. sp. nov., sendo uma nova espécie no Graben de Metangula. Infelizmente não foi possível atribuir o táxon a 3 espécimes (PPM2018-24R; PPM2018-41R e PPM2019-71NN) devido ao seu grau de preservação.

Os géneros *Agathoxylon* e *Australoxylon* encontram-se espalhados na sequência do Karoo e foram encontrados no Grupo Ecca, o género *Cupressinoxylon* encontra-se distribuído pelos dois hemisférios, porém neste projeto representa um novo táxon no Graben de Metangula e só foi registrado pela primeira vez na Formação Matine (Pérmico Superior).

No Gondwana, a flora de *Glossopteris* indica um clima predominantemente quente e úmido, com variações climáticas entre condições úmidas e áridas, especialmente em regiões como a Bacia de Maniamba, caracterizada por ambientes fluvio-lacustres.

Palavras-chave: Graben de Metangula, *Agathoxylon africanum*, *Agathoxylon karooensis*, *Australoxylon teixeirae*, *Cupressinoxylon* sp. nov.

Abstract

During the PaleoMoz project expeditions, fossil trunks were collected from the Ksb, K6, K5, K4, and K3 formations with the aim of describing their anatomy and classifying them taxonomically. To achieve this objective, several resources were utilised, including bibliographic research, software tools, and the use of the OLYMPUS BX43 petrographic microscope for the analysis of thin sections from ten specimens: PPM2018-106N, PPM2018-10Z, PPM2018-24R, PPM2018-25R, PPM2018-41R, PPM2019-35R, PPM2019-55R, PPM2019-59NN, PPM2019-68NN and PPM2019-71NN.

Anatomical description and identification were possible based on specific features such as growth rings, pit structures in tracheid walls, and cross-field pitting.

The results of this analysis showed that two specimens belong to the *Agathoxylon africanum* taxon (PPM2018-106N and PPM2018-25R), two specimens (PPM2018-10Z and PPM2019-59NN) belong to *Agathoxylon karooensis*, two specimens (PPM2019-35R and PPM2019-55R) belong to the *Australoxylon teixeirae* taxon, and one specimen (PPM2019-68NN) belongs to the *Cupressinoxylon* cf. sp. nov., representing a new species in the Metangula Graben. Unfortunately, it was not possible to assign a taxon to three specimens (PPM2018-24R, PPM2018-41R, and PPM2019-71NN) due to their preservation state.

The genera *Agathoxylon* and *Australoxylon* are widespread throughout the Karoo sequence and have been found in the Ecca Group. The genus *Cupressinoxylon* is distributed across both hemispheres but, in this project, represents a new taxon in the Metangula Graben and was first recorded in the Matine Formation (Upper Permian).

In Gondwana, the Glossopteris flora indicates a predominantly warm and humid climate, with climatic variations between wet and arid conditions, especially in regions such as the Maniamba Basin, characterized by fluvio-lacustrine environments.

Keywords: Metangula Graben, *Agathoxylon africanum*, *Agathoxylon karooensis*, *Australoxylon teixeirae*, *Cupressinoxylon* cf. sp. nov.

ÍNDICE

Agradecimentos I

Declaração de honra II

Dedicatória III

Resumo IV

Abstract V

Lista de Figuras ..... d

Lista de Tabelas ..... f

Lista de Anexos ..... f

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES 1

1.1. Introdução 1

1.2. Objectivos 2

1.2.1. Gerais 2

1.2.2. Específicos 2

1.3. Definição do problema e relevância do estudo 2

1.4. Localização geográfica 4

1.5. Enquadramento geológico 4

1.5.1. Geotectónica e Estratigrafia da Bacia 4

1.6. Revisão bibliográfica 9

1.6.1. Estruturas analisadas no estudo de troncos fósseis 9

1.7. Histórico sobre descobertas e ocorrências de troncos fósseis em Moçambique 14

2. CAPÍTULO II: MATERIAIS E MÉTODOS 16

2.1. Materiais 16

2.2. Metodologia 16

2.2.1. Pesquisa Bibliográfica 16

2.2.2. Laboratório e Processamento 17

2.2.3. Trabalho de Gabinete 17

2.2.4. Elaboração do projecto científico 17

3. CAPÍTULO III: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS 18

3.1. ESPÉCIME PPM2018-106N 18

3.1.1. Descrição anatómica 18

3.1.2. Identificação taxonómica 18

3.2. ESPÉCIME PPM2018-25R 20

3.2.1. Descrição anatómica 20

3.2.2. Identificação taxonómica 21

3.3. ESPÉCIME PPM2018-10Z 23

3.3.1. Descrição anatómica 24

3.3.2. Identificação taxonómica 24

3.4. ESPÉCIME PPM2019-59NN 26

3.4.1. Descrição anatómica 27

3.4.2. Identificação taxonómica 27

3.5. ESPÉCIME PPM2019-35R 29

3.5.1. Descrição anatómica 29

3.5.2. Identificação taxonómica 29

3.6. ESPÉCIME PPM2019-55R 31

3.6.1. Descrição anatómica 32

3.6.2. Identificação taxonómica 32

3.7. ESPÉCIME PPM2019-68NN 34

3.7.1. Descrição anatómica 34

3.7.2. Identificação taxonómica 35

3.8. ESPÉCIME PPM2018-24R 37

3.8.1. Descrição anatómica 37

3.9. ESPÉCIME PPM2018-41R 38

3.9.1. Descrição anatómica 39

3.10. ESPÉCIME PPM2019-71NN 39

3.10.1. Descrição anatómica 40

4. CAPÍTULO IV: DISCUSSÃO DE RESULTADOS 41

4.1. Contexto paleogeográfico 41

4.2. Reconstrução paleoambiental 42

5. CAPÍTULO V: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES 44

5.1. Conclusão 44

5.2. Recomendação 45

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

7. ANEXO i

Lista de Figuras

Fig. 1: Mapa ilustrando as áreas onde ocorrem troncos fossilizados (Ferrara, 2004 como citado por Cumbe, 2007). 3

Fig. 2: Mapa de localização geográfica da área de estudo. 4

Fig. 3: Mapa geológico da área de estudo na Província do Niassa. 8

Fig. 4: Desenho esquemático de um tronco, indicando os seus os planos. A. Secção transversal. B. Secção tangencial. C. Secção radial (Nhamutole, 2021). 9

Fig. 5: A) Uma seção transversal de um tronco representando uma transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio. B) Uma seção transversal de um tronco representando uma transição gradual de lenho inicial para lenho tardio (adaptado de Kock, 2018). 10

Fig. 6: Ilustração de tipos de anéis de crescimento baseados em Creber e Chaloner (1984) (primeiras quatro figuras) e Bamford (2016). **B.** Anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial (seta vermelha) para o lenho tardio (seta azul). **C.** Transição gradual do lenho inicial (seta vermelha) para o lenho tardio (seta azul); canal visível à esquerda da imagem, **D**. Anéis de crescimento indistintos vistos como três faixas onde as paredes celulares são ligeiramente mais espessas. **E.** Anéis de crescimento indistintos com uma faixa de células ligeiramente encurtadas. **S**. Zonas de cisalhamento típicas dos troncos do Karoo **s.** Distorção extrema do tronco e zonas de cisalhamento. 11

Fig. 7: Ilustrações do tipo e distâncias entre as pontuações. **A**: Pontuações multisseriados araucarianas. **B**: Pontuações unisseriadas e bisseriadas abietianas. **C**: Pontuações unisseriadas mistas (transicional) (adaptado de Merlotti, 2011). 13

Fig. 8: Ilustração do arranjo das pontuações. **A**: Pontuações alternas. **B**: Pontuações opostas (adaptado IAWA, 1989). 13

Fig. 9: Pontuação no campo de cruzamento cupressóide observada na secção radial (adaptado de IAWA, 2004). 14

Fig. 10: Pontuação no campo de cruzamento taxodióide observada na secção radial (adaptado de IAWA, 2004). 14

Fig. 11: Pontuação no campo de cruzamento araucarióide observada na secção radial (adaptado de IAWA, 2004). 14

Fig. 12: Espécime PPM2018-106N. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio e traqueídos do lenho inicial quadrados a rectangulares. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações bisseriadas (rectângulo azul) e unisseriadas. (**E**) Secção radial mostrando os campos cruzados, devido ao grau de

preservação não foi possível fazer a contagem de pontuações por campo. (**F**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024)..... 20

Fig. 13: Espécime PPM2018-25R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo S. (**B**) Secção radial mostrando pontuações bisseriadas (seta branca). (**C**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo araucarióides, foi possível observar somente 2 pontuações por campo devido ao grau de preservação (círculo verde). (**D**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024)..... 23

Fig. 14: Espécime PPM2018-10Z. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento indistintos com uma faixa de células ligeiramente encurtadas do tipo E. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (seta amarela), bisseriadas (seta verde) e trisseriadas (círculo amarelo). (**E**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo araucarióide, com 3-4 pontuações por campo (círculo verde). (**F**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta branca). (Fonte: Autora, 2024) 26

Fig. 15: Espécime PPM2019-59NN. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de intercrescimento indistinto do tipo O. (**B-C**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (seta branca) e bisseriadas (círculo amarelo). (**D**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo taxodióide, 2-4 pontuações por campo (círculo verde). (**E**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados e ocasionalmente bisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024) 29

Fig. 16: Espécime PPM2019-35R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de intercrescimento indistinto do tipo O. (**B**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas abientianas. (**C**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo taxodióide, 2 pontuações por campo dispostos em linhas verticais (círculo verde). (**D**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024) 31

Fig. 17: Espécime PPM2019-55R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento distintos com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (rectângulo amarelo), bisseriadas (seta azul) e trisseriados (rectângulo verde). (**E**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo taxodióde, 2-4 pontuações por campo. (**F**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados e ocasionalmente bisseriados (seta branca). (Fonte: Autora, 2024) 34

Fig. 18 : Espécime PPM2019-68NN. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio. (**B-C**) Secção radial mostrando pontuações bisseriadas e trisseriadas (rectângulo branco), estas pontuações são fortemente cercadas por Barras de Sanio (seta vermelha). (**D**) Secção radial mostrando os

campos cruzados do tipo cupressóide, com 3-5 pontuações por campo (círculo verde e amarelo). (Fonte: Autora, 2024) 37

Fig. 19 : Espécime PPM2018-24R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo O. (**B**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (rectângulo branco), campos cruzados do taxodióide, foi possível observar somente 2 pontuações por campo devido ao grau de preservação (círculo amarelo). (**C**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (rectângulo verde). (Fonte: Autora, 2024) 38

Fig. 20 : Espécime PPM2018-41R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo O. (**B**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (seta branca). (**C**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024) 39

Fig. 21 : Espécime PPM2019-71NN. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo S. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas abientianas (rectângulo azul). (**E**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta branca). (Fonte: Autora, 2024) 40

Fig. 22 : Distribuição de Cupressinoxylon, Australoxylon e Agathoxylon no pérmico do Gondwana. (Fonte: Autora, 2024) 42

Lista de Tabelas

Tabela 1: Planos observados na estrutura tridimensional do tronco fósseis (adaptado de Cucheque, 2022). 9

Tabela 2: Os 7 tipos de anéis de crescimentos propostos por Creber e Chaloner (1984) e Bamford (2016). 11

Lista de Anexos

Anexo 1. Localização geográfica e formação geológica dos espécimes em estudo. (Fonte: Autor, 2024) ii

Anexo 2: Comparação das características anatômicas de espécies conhecidas (*Australoxylon*, *Agathoxylon* e *Cupressinoxylon*) e dos espécimes em estudo. (Fonte: Autora, 2024) iii

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introdução

A **Paleobotânica** é uma ciência multidisciplinar, onde a geologia e a botânica têm um papel preponderante na análise e obtenção de informação do registo fóssil vegetal ao longo do tempo geológico (Marques, 2013).

Esta ciência tem como objectivos: a reconstrução das plantas fósseis, a evolução do grupo de plantas e a sua relação com as plantas actuais; a descrição da anatomia e morfologia dos grupos vegetais ao longo do tempo; o estudo de fósseis para a correlação biostratigráfica (Taylor *et al.*, 2009).

Os movimentos das placas tectônicas desempenham um papel crucial na configuração dos continentes, sendo responsáveis por mudanças climáticas substanciais ao longo da história geológica. Por exemplo, as montanhas formadas por esses movimentos funcionam como barreiras físicas à circulação atmosférica, deste modo quando massas de ar quente em movimento encontram essas montanhas, o fluxo é interrompido e pode ser forçado a desviar lateralmente (pode alcançar regiões que antes eram protegidas ou naturalmente mais frias) ou a subir – efeito orográfico (esfriando o ar com a altitude)(Barry, 2008). Os gases liberados pelos vulcões durante as erupções, como por exemplo o dióxido de enxofre (SO_2) pode causar o resfriamento global e o dióxido de carbono (CO_2) pode causar o aquecimento global.

As plantas, por serem altamente sensíveis a mudanças climáticas e ambientais, registram em sua anatomia e morfologia informações cruciais sobre o ambiente em que habitavam, fato que as torna fontes valiosas de dados sobre o clima, especialmente em regiões de altas latitudes, que são particularmente suscetíveis a essas mudanças (Francis *et al.,* 2006 citado por Gussela, 2012).

Os troncos fósseis são restos de plantas mais marcantes e frequentes em rochas, têm sido usadas para estudos paleoecológicos, paleoambientais e paleoclimáticos, e na reconstrução da composição floral (Zucol *et al.*, 2005; Philippe *et al.*, 2006; Sweeney *et al.*, 2009; Jeong *et al.*, 2009 como citado por Ajaykumar *et al.*, 2010).

Apesar de ter sido alvo de várias expedições científicas antes do século XX (Guyot, 1882; Thompson, 1882; Zeiller, 1883 e Kuss, 1884), o objectivo das mesmas não era explorar a diversidade fóssil presente, mas sim estudar as litologias do Karoo que contêm carvão na Bacia de Moatize; somente em 1865 os troncos fósseis foram descritos pela primeira vez por David

Livingstone. Posteriormente, descrições de fósseis foram publicadas após o término de vários trabalhos de campos iniciados em 1949 pelo *Geological Service* na Bacia de Maniamba (Verniers *et al*., 1989). Recentemente, a expansão dos estudos na Bacia de Maniamba demonstra a presença de mais gêneros, e.g., *Agathoxylon*, *Australoxylon* e *Protaxodioxylon* (Nhamutole, 2021; Nhamutole *et al.,* 2021).

Embora os gêneros acima mencionados tenham representado um avanço significativo no entendimento da diversidade de troncos fósseis na Bacia de Maniamba, eles não abrangem todas as seções. É sob esta perspectiva que se desenvolve a presente tese, intitulada:

Troncos fósseis da Bacia de Maniamba: descrição anatómica e correlação paleobiogeográfica, com base em lâminas delgadas, que com o auxílio da paleobotânica visa realizar a interpretação paleoclimática e correlação paleobiogeográfica através da descrição anatómica dos espécimes de troncos fósseis.

1.2. Objectivos

1.2.1. Gerais

- Identificar a anatomia dos espécimes de troncos fósseis da Bacia de Maniamba;

1.2.2. Específicos

- Identificar os constituintes anatômicos através da descrição microscópica nas secções transversal, radial e tangencial;
- Apresentar uma classificação taxonómica para os espécimes de troncos fósseis;
- Interpretar o significado paleoclimático com os espécimes de troncos fósseis;
- Fazer a correlação paleobiogeográfica dos espécimes de troncos fósseis com outras ocorrências do Gondwana;

1.3. Definição do problema e relevância do estudo

Em Moçambique, encontramos uma variedade de fósseis, destacando-se a floresta fóssil de Mágoe em Tete, e os fósseis de vertebrados e fósseis vegetais na Bacia de Maniamba em Niassa. No entanto, o conhecimento sobre este patrimônio ainda é limitado em comparação com outros países com o mesmo domínio geológico do Karoo, seja devido à falta de dados disponíveis ou às dificuldades de acesso em algumas áreas de pesquisa.

As pesquisas sobre fósseis em Moçambique remontam ao período anterior ao século XX, com estudos conduzidos por Guyot (1882), Zeiller (1883) e Kuss (1884). Contudo, no início do século XX, o explorador alemão Peters (1902) fez menção às árvores fossilizadas encontradas

na Província de Tete (Nhamutole, 2021). Ademais, na Bacia de Maniamba, diversos estudos foram realizados, conforme referenciado por Verniers *et al*., (1989), resultando na descoberta de uma variedade de espécies de fósseis.

Embora Moçambique tenha sido objeto de uma série de estudos paleontológicos nos últimos anos (Silva *et al*., 1967; Marguerier, 1973; Bajpai and Maheshwari, 1986; Nhassengo, 2016; Macungo, 2016; Araujo *et al*., 2018; Zunguza, 2019; Cumbane, 2021; Muzazaila, 2021; Nhamutole 2021, Nhamutole *et al*., 2021; César, 2021; Cucheque, 2022), estes não se mostraram suficientes para cobrir todas as áreas e identificar todas as espécies existentes.

Sob o ponto de vista científico, o presente projecto científico visa contribuir para o incremento de uma melhor compreensão da diversidade da madeira silicificada na Bacia de Maniamba em Moçambique, fato que auxiliará na reconstrução paleoambiental e reconhecimento de espécies atualmente extintas.

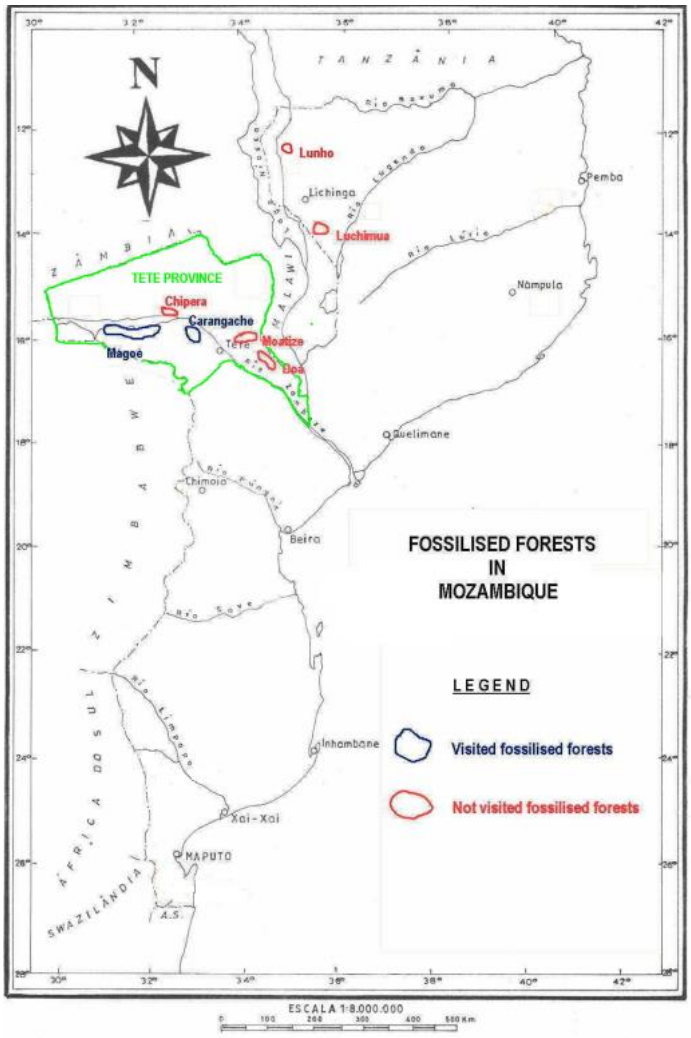


Fig. 1: Mapa ilustrando as áreas onde ocorrem troncos fossilizados (adaptado de Cumbe, 2007).

1.4. Localização geográfica

A Bacia de Maniamba está localizada na zona norte de Moçambique, à nordeste da província do Niassa entre as latitudes 11º 25' N e 15º 26' S e as longitudes 35º 58' E e 34º 30' W, que pertence aos distritos de Lago e Sanga (Cucheque, 2022).

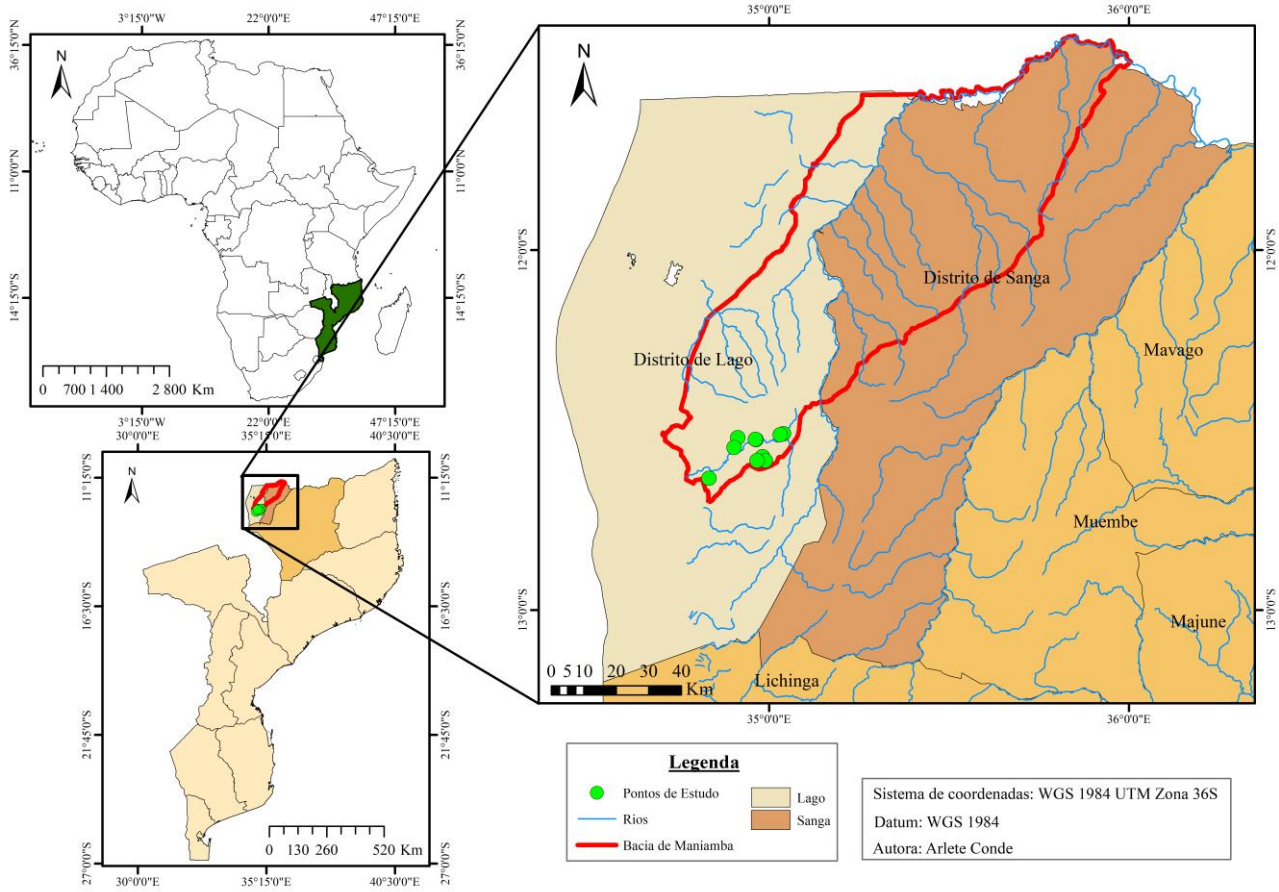


Fig. 2: Mapa de localização geográfica da área de estudo.

1.5. Enquadramento geológico

1.5.1. Geotectónica e Estratigrafia da Bacia

A bacia apresenta uma estrutura de um graben completo delimitado por falhas que separam os terrenos pré-câmbricos dos sedimentos do Karoo. O seu interior é caracterizado pela existência de falhas normais e subverticais, que sugere que a formação da bacia se deveu a um regime de forças distensivas (Paulino *et al.*, 2009).

A concordância do alongamento da bacia na direcção NE-SW com a direcção dos alinhamentos, na mesma direcção do Cinturão de Moçambique, leva a supor que a bacia do Karoo se instalou num rifte embrionário pré-Karoo devido ao reajustamento de estruturas pré-câmbricas (Paulino *et al.*, 2009).

As rochas do Karoo são cercadas por rochas fortemente metamorfizadas ou rochas ígneas do Pré-Câmbrico, que se sobrepõem em baixa discordância e são cobertas por areias continentais do Neógeno. Devido as diferenças litológicas das rochas desta bacia, a mesma foi dividida em três principais grupos: o **Karoo Inferior**, **Médio** e **Superior** (Verniers *et al*., 1989).

Karoo Inferior

O grupo do Karoo Inferior é caraterizado pela ocorrência de formações de depósitos sedimentares acumulados em bacias intracratónicas com estruturas de graben ou semi-graben que são observadas no centro e norte de moçambique (Paulino *et al.*, 2009).

Apresenta uma espessura de 125-330 m e é constituída por argilitos cinzentos e arenitos com intercalações carbonosas. O grupo é representado por três formações principais: a Formação K2, K3 e K4.

Formação K2 – constituída por siltito fino, argilito e arenito fino com veios de carvão na parte superior. A parte inferior compreende arenito de granulação média a grossa com níveis de conglomerado que contém cascalho com um diâmetro de 8 cm. Na base, em alguns lugares, há poucos metros de conglomerado basal que se forma discordantemente no topo do Pré-câmbrico (Verniers *et al*., 1989).

Formação K3 – trata-se de uma alteração de arenitos brancos e cinza esverdeado claros, siltitos e argilitos finos com poucas camadas de arenito na parte superior. Na parte inferior da formação, foram encontradas sequências fluviais cíclicas com arenito micáceo relativamente mais fino que a parte superior desta formação (Verniers *et al*., 1989).

Formação K4 – constituída por arenitos siltosos, siltitos e argilitos, com várias camadas de carvão e intercalações carbonáceas, foram encontradas folhas de *Glossopteris* preservadas. A flora contém *Glossopteris ampla*, *G. browniana* e *G. Indica* que indicam a idade Ecca para esta formação e além disso, troncos fósseis atribuídos a *Dadoxylon* sp. ocorrem e exibem anéis de crescimento sazonais marcados (Verniers *et al*., 1989; Nhamutole, 2021).

Karoo Médio

É constituído por argilitos vermelhos, com níveis de fósseis de vertebrados e fósseis vegetais (nomeadamente folha de *Glossopteris* e troncos fósseis). Fazem parte deste grupo duas formações: K5 e K6.

Formação K5 – é constituída por siltitos avermelhados ou acinzentados, é dividida em três membros: K5a, K5b e K5c. O membro inferior (**K5a**) contém principalmente siltito de grão fino cinza avermelhados, em direcção à base ocorre arenito e siltito cinza escuros, com manchas esverdeadas ou acastanhadas. Próximo ao topo do membro K5a, ocorre um nível pequeno de nódulos septários de calcite, nesse nível entre o Rio Lunho e Rio Lundo, Rocha (1961) coletou ossos de répteis (do genêro *Endothlodon*) e que posteriormente Antunes (1975) correlacionou ao "*Endothlodon-Zone*". Os fósseis de *Pelecypoda* são encontrados em siltitos finos avermelhados. O membro médio (**K5b**) é constituída por siltitos de grãos finos a médios ou grossos, cinza esverdeados ou escuros. O membro superior (**K5c**) compreende siltitos e argilitos finos cinza avermelhados com laminação esferoidal (Verniers *et al*., 1989). Segundo Nhamutole *et al.* (2021), nesta formação são encontrados espécimes de troncos fósseis pertencentes a *Protaxodioxylon verniersii* sp. nov. e *Protaxodioxylon metangulense* sp. nov.

Formação K6 – divide-se em quatro membros, do topo à base: K6a1, K6a2, K6a3 e K6b. O membro inferior (**K6a1**) é constituído principalmente de siltitos finos acinzentados e argilitos com ocasional calcilutite cinza claro à avermelhados. O membro (**K6a2**) é constituído principalmente por siltitos finos vermelhos com alguns conglomerados de siltitos duros e avermelhados. O membro (**K6a3**) é constituído por siltitos e argilitos de diversas cores, por vezes mostrando estruturas laminadas esferoidais, semelhantes a cebolas grandes. Contém níveis de conglomerados cinzentos e escuros, a parte siltosa é ocasionalmente carbonácea com troncos fósseis algumas vezes presentes. Os três membros acima contêm folhas de *Glossopteris* e fósseis de vertebrados com possível idade Beaufort. O membro superior (**K6b**) é constituído por arenito de granulometria fina e siltitos de granulometria fina, com uma sedimentação compacta. Três níveis com fósseis de vertebrados estão situados próximo do fundo e recentemente foram recuperados pedaços de troncos fósseis (Verniers *et al*., 1989; Nhamutole 2021).

Karoo Superior

O Grupo do Karoo Superior é caraterizado pela continuação do preenchimento das bacias, mas em ambientes essencialmente fluviais e com muitas oscilações tectónicas durante o Triássico e Jurássico Inferior (Paulino *et al.*, 2009).

A divisão do Karoo Superior em formações é baseada nas proporções relativas das frações siltosas e arenosas das sequências. Fazem parte deste grupo: Formação do Monte Lilonga

(**KSa**), Formação de Fubué (**KSb**), Formação de Mecondece (**KSc**), Formação de Tende (**KSd**) e Formação de Lipirichi (**KSe**) (Verniers *et al*., 1989).

Formação do Monte Lilonga (**KSa**) – caraterizado por sequências fluviais cíclicas, constituído por rochas de grão fino geralmente de cor cinza esverdeado e uma fração arenosa que representa 10-20% do total (Verniers *et al*., 1989).

Formação de Fubué (**KSb**) – constituído tipicamente por arenitos conglomeráticos de grãos médios à grosseiros claros. As sequências cíclicas fluviais não estão presentes e o padrão sedimentológico indica deposição litológica por sistema fluvial anastomosado ou trançado (Verniers *et al*., 1989).

Formação de Mecondece (**KSc**) – sequência fluvial cíclica desta formação é predominantemente composta por arenitos de grãos médios a grosseiros (70-90%) (Verniers *et al*., 1989).

Formação de Tende (**KSd**) – constituído por arenitos (10%) e siltitos avermelhados (90%). Os siltitos possuem nódulos de calcilutitos cinza à avermelhados que contêm manchas pretas e rachaduras semelhantes a dessecação, preenchidas com material calcítico (Verniers *et al*., 1989).

Formação de Lipirichi (**KSe**) – constituído principalmente por sequências fluviais cíclicas. Os arenitos que fazem parte desta sequência são geralmente de granulação fina a média e raramente granulação grosseira, constituem aproximadamente 20% da espessura total da sequência (Verniers *et al*., 1989).

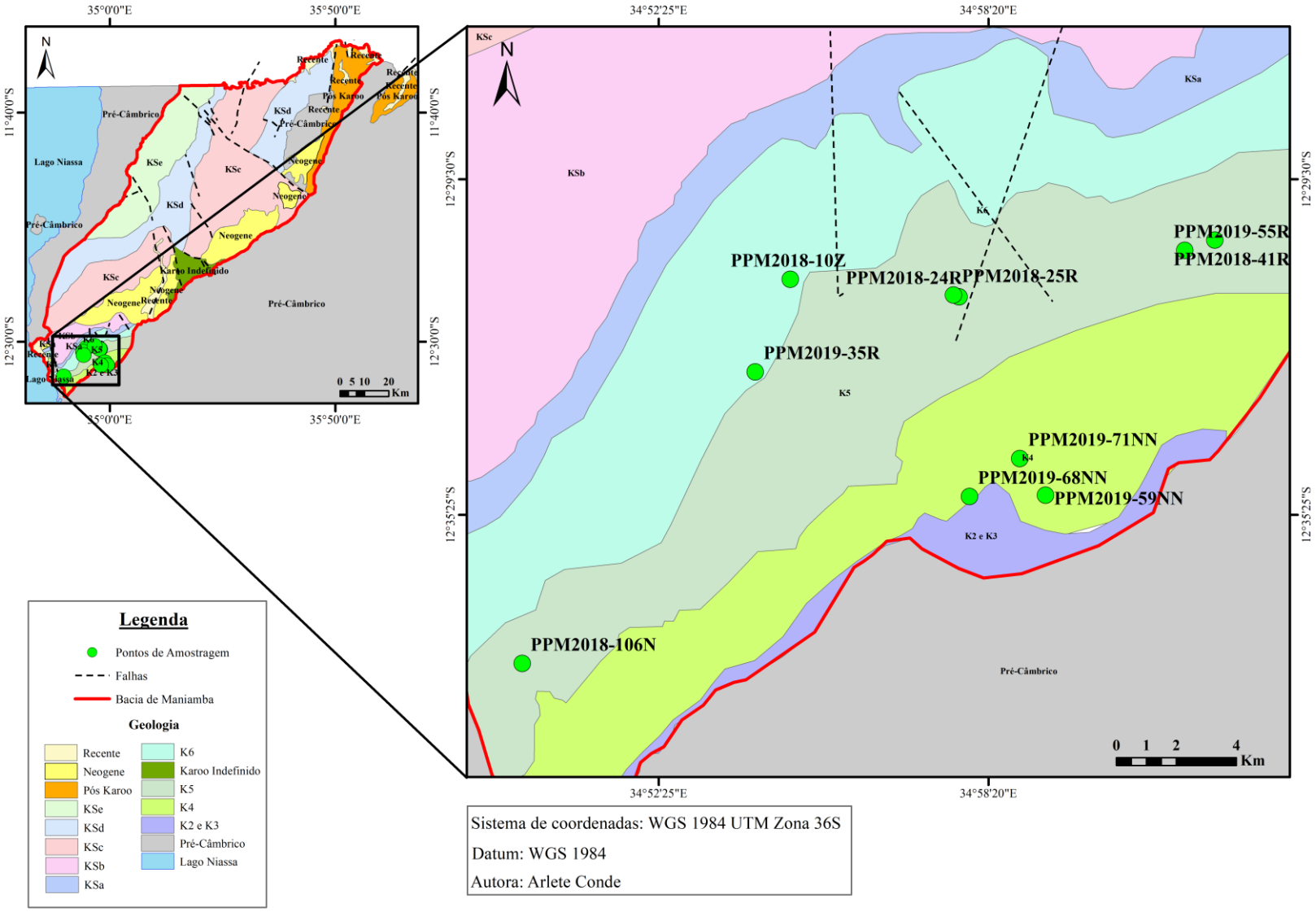


Fig. 3: Mapa geológico da área de estudo na Província do Niassa.

1.6. Revisão bibliográfica

1.6.1. Estruturas analisadas no estudo de troncos fósseis

A estrutura do tronco é tridimensional e, como tal, deve ser observada sob três planos distintos, o plano transversal e os planos tangencial e radial. O plano transversal é o plano perpendicular ao maior eixo da planta. O plano tangencial é perpendicular aos raios e o radial por sua vez paralelo aos raios (Fig. 4) (Gussella, 2012).

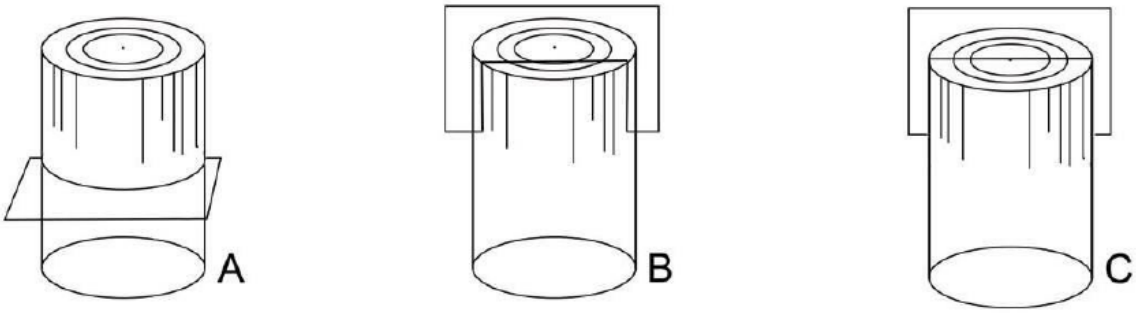


Fig. 4: Desenho esquemático de um tronco, indicando os seus os planos. A. Secção transversal. B. Secção tangencial. C. Secção radial (Nhamutole, 2021).

Na tabela abaixo encontra-se de forma resumida as características a serem observadas em cada plano.

Tabela 1: Planos observados na estrutura tridimensional do tronco fósseis (adaptado de Cucheque, 2022).

Plano Observado	Características Observadas
Transversal	Anéis de crescimento; Parênquima axial; Canais resiníferos axiais e Tórus.
Radial	Pontuações dos traqueídos e Pontuações nos campos cruzados.
Tangencial	Raios e Parênquima axial.

Tendo em contas as características anteriormente mencionadas, as mais significativas são as pontuações das paredes dos traqueídos, as pontuações nos campos cruzados e anéis de intercrescimento (Cucheque, 2022).

a) Anéis de crescimento

Os anéis de crescimento representam a dimensão de expansão do tronco, influenciando assim a sua largura em uma determinada estação de crescimento (Nhamutole, 2021).

Segundo Bamford (2016), as proporções de lenho inicial para lenho tardio variam dependendo do clima e da genética controle do táxon. Além disso, a transição do lenho inicial ao lenho tardio varia de muito gradual a abrupta (Fig. 5). A transição do lenho tardio para o lenho inicial pode ser impercetível a muito distinta (Bamford, 2016). Em ambientes com climas altamente sazonais, os anéis de crescimento podem ser muito claros, mas em climas menos sazonais a não sazonais, os anéis podem ser indistintos à ausente, novamente controlado pelo clima e/ou genoma.

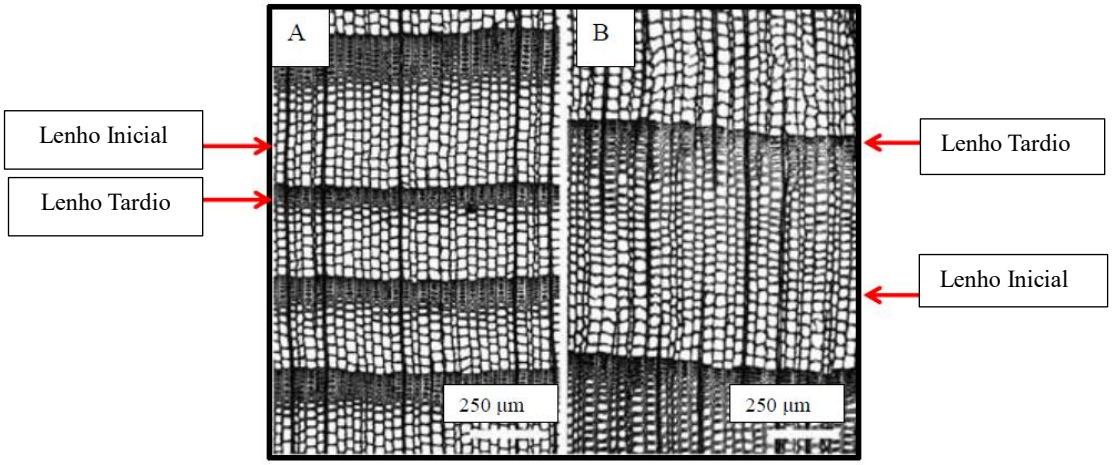


Fig. 5: A) Uma seção transversal de um tronco representando uma transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio. B) Uma seção transversal de um tronco representando uma transição gradual de lenho inicial para lenho tardio (adaptado de Kock, 2018).

Os anéis de crescimento podem ser categorizados em seis grupos, conforme definido por Creber e Chaloner (1984). Esta classificação é baseada na largura das faixas de lenho inicial e tardio, bem como na transição entre eles. Cada um desses seis grupos está vinculado a um atributo climático específico, o que os torna valiosos para a interpretação paleoclimática (Tabela 2). Bamford (2016) acrescentou um sétimo grupo aos seis originalmente identificados por Creber e Chaloner (1894). Esse sétimo grupo representa anéis de crescimento encontrados em zonas de cisalhamento e geralmente associadas a áreas de lenho tardio estreito (Fig. 6).

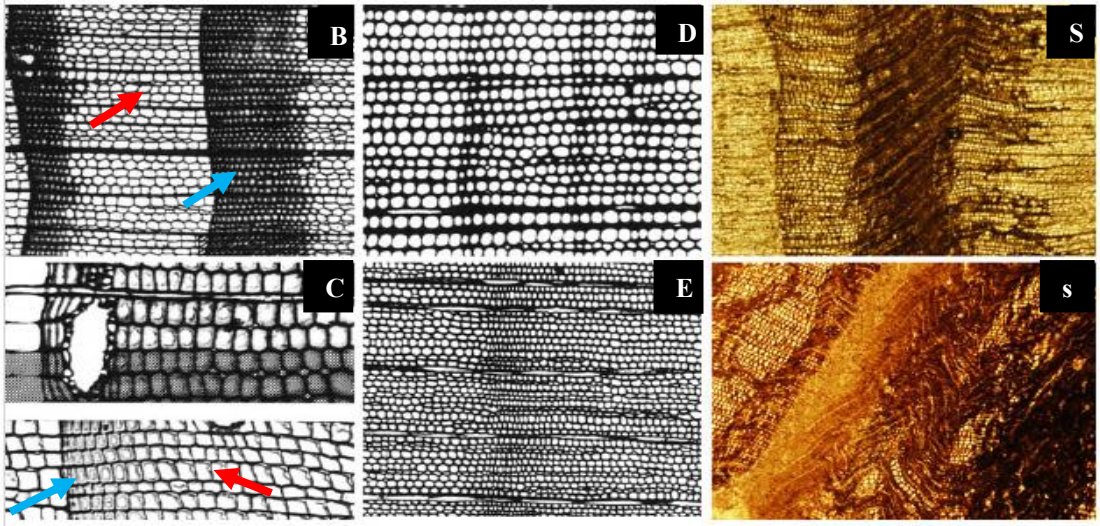


Fig. 6: Ilustração de tipos de anéis de crescimento baseados em Creber e Chaloner (1984) (primeiras quatro figuras) e Bamford (2016). **B.** Anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial (seta vermelha) para o lenho tardio (seta azul). **C.** Transição gradual do lenho inicial (seta vermelha) para o lenho tardio (seta azul); canal visível à esquerda da imagem, **D**. Anéis de crescimento indistintos vistos como três faixas onde as paredes celulares são ligeiramente mais espessas. **E.** Anéis de crescimento indistintos com uma faixa de células ligeiramente encurtadas. **S**. Zonas de cisalhamento típicas dos troncos do Karoo **s.** Distorção extrema do tronco e zonas de cisalhamento.

Tabela 2: Os 7 tipos de anéis de crescimentos propostos por Creber e Chaloner (1984) e Bamford (2016).

Tipo de anel	Descrição	Interpretação Climática
A	Transição abrupta do lenho inicial-tardio, geralmente com lenho tardio estreito.	Bom abastecimento de água.
B	Transição gradual do lenho inicial-tardio, geralmente com lenho tardio amplo.	Longa estação de crescimento com abastecimento de água adequado.
C	Transição muito gradual do lenho inicial-tardio.	Poucas mudanças ao longo da estação de crescimento.
D	Crescimento uniforme. Com a última estação de crescimento para retardar ou interromper o crescimento, o limite do anel é visível.	Poucas mudanças ao longo da estação de crescimento.

E	O mesmo que D, mas o limite do anel é muito difícil de ver.	Condições climáticas uniformes de crescimento.
O	Sem anéis de crescimento.	Clima uniforme, sem sazonalidade.
S	Zonas de cisalhamento presentes e geralmente associados a lenho tardio estreito.	Desconhecido.

b) Pontuações dos traqueídos

As pontuações dos traqueídos são observadas exclusivamente no lenho inicial nas seções radial e tangencial, sendo caracterizadas pelo tipo, arranjo e a distância entre eles (Gussela, 2012). No que se refere ao tipo, podem ser unisseriados (coluna composta por uma única fila de célula), bisseriados (coluna composta apenas por duas filas de células) e multisseriados (coluna composta por mais de duas filas de células) (Fig. 7). Quanto ao arranjo, podem ser alternas (pontuações dispostas em fileiras diagonais), opostas (pontuações dispostas em fileiras horizontais curtas a longas, ou seja, fileiras orientadas transversalmente ao longo do comprimento dos vasos) e contíguas (Fig. 8) (IAWA, 1989). No que diz respeito à distância entre as pontuações, podem ser abietianas (predominantemente separadas ou no máximo 10% delas são contíguas), araucarianas (90% das pontuações são contíguas com as pontuações vizinhas) e mistas (representa um estado de transição entre abietiana e araucariana) (Fig. 7).

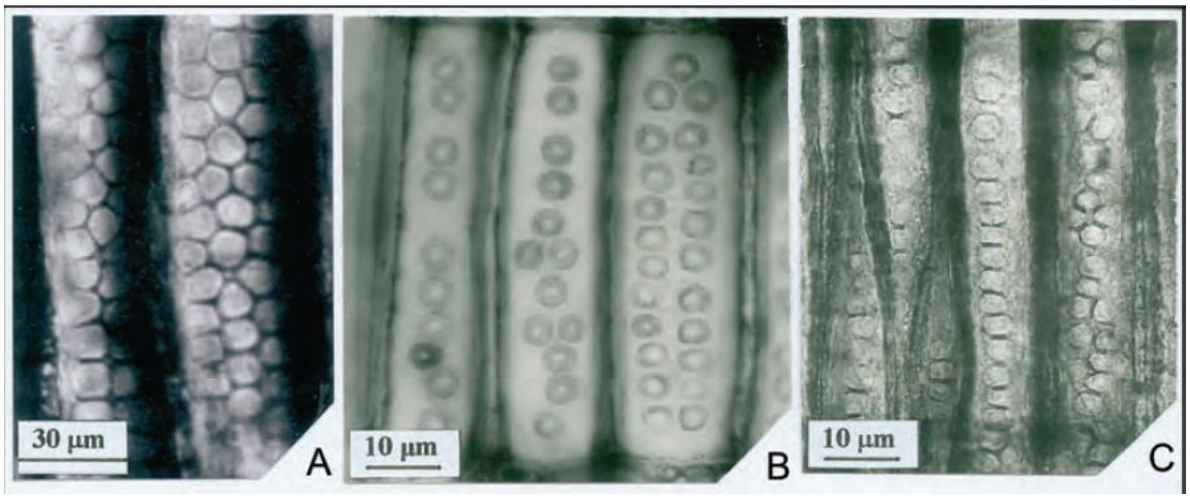


Fig. 7: Ilustrações do tipo e distâncias entre as pontuações. **A**: Pontuações multisseriados araucarianas. **B**: Pontuações unisseriadas e bisseriadas abietianas. **C**: Pontuações unisseriadas mistas (transicional) (adaptado de Merlotti, 2011*)*.

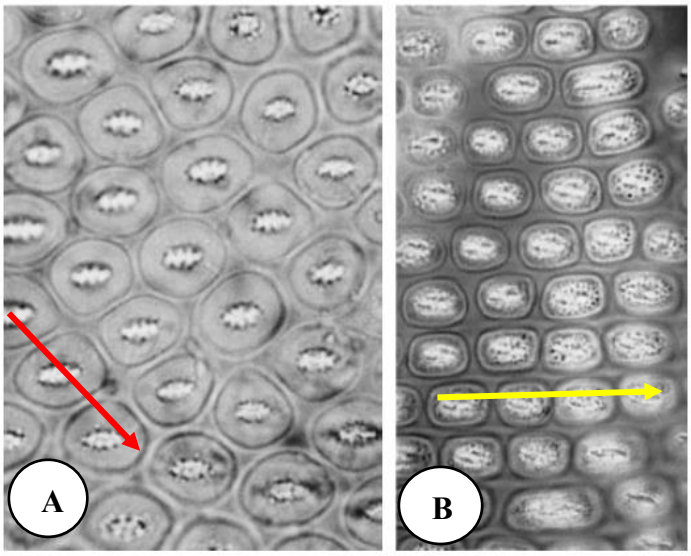


Fig. 8: Ilustração do arranjo das pontuações. **A**: Pontuações alternas. **B**: Pontuações opostas (adaptado IAWA, 1989).

c) <u>Pontuações nos campos de cruzamento</u>

As áreas de contato entre as células do parênquima radial e os traqueídos axiais, visíveis no lenho inicial ao longo da seção radial, são denominadas pontuações nos campos de cruzamento. Dentre os vários tipos existentes, serão destacados aqueles encontrados no material em estudo (Nhamutole, 2021), a saber:

- **<u>Cupressóide</u>**: são pontuações pequenas, circulares ou ovais, com abertura elíptica, mais estreita do que a aréola, e de posição oblíqua a vertical (Fig. 9). Tais pontuações, quando são arranjadas de modo contíguo e mais ou menos deformadas pelo contato, tendendo a forma poligonal, caracterizam os denominados campos de cruzamento araucarióides e quando esparsas e alinhadas horizontalmente ou verticalmente, compõem os campos de cruzamento cupressóides (Merlotti, 2011).

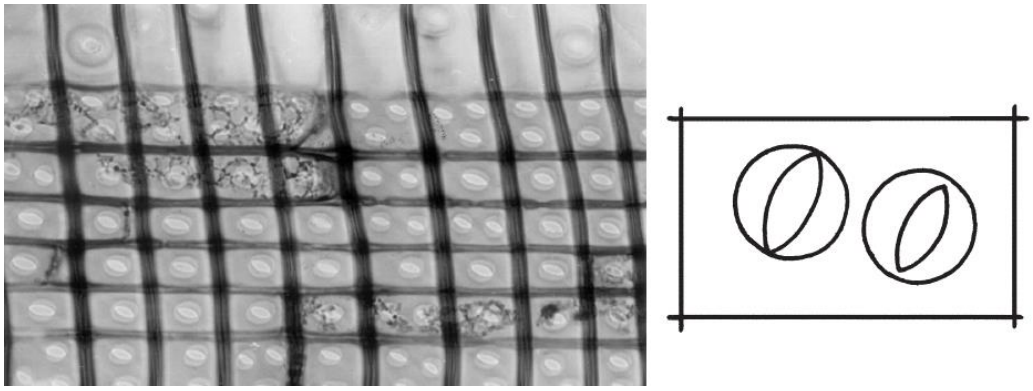


Fig. 9: Pontuação no campo de cruzamento cupressóide observada na secção radial (adaptado de IAWA, 2004).

- **Taxodióide**: pontuações pequenas, circulares, com abertura circular, grande e aréola estreita (Fig. 10) Geralmente, ocorrem 2 a 5 pontuações alinhadas horizontalmente no campo (Merlotti, 2011).

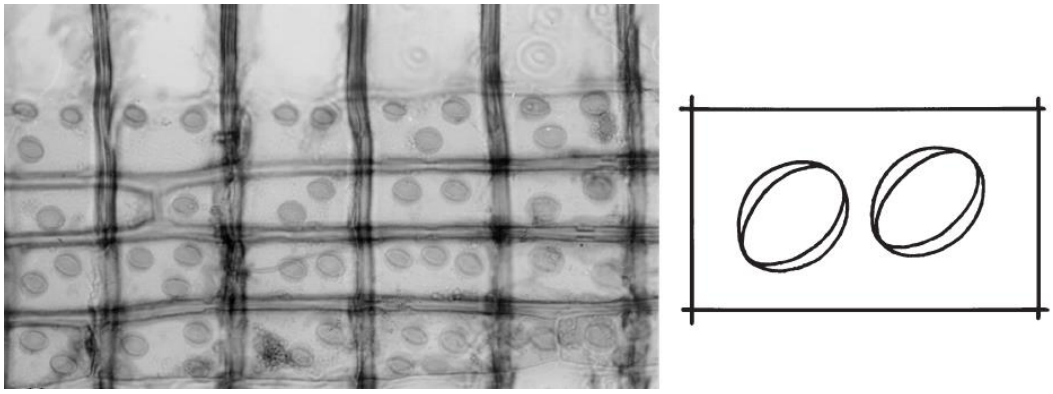


Fig. 10: Pontuação no campo de cruzamento taxodióide observada na secção radial (adaptado de IAWA, 2004).

- **Araucarióide**: as pontuações individuais apresentam uma abertura elíptica, geralmente têm um contorno poligonal e são mais estreitas que a borda. As pontuações encontram-se dispostas em filas alternadas de 3 ou mais, com tendência a aglomeração (Fig. 11).

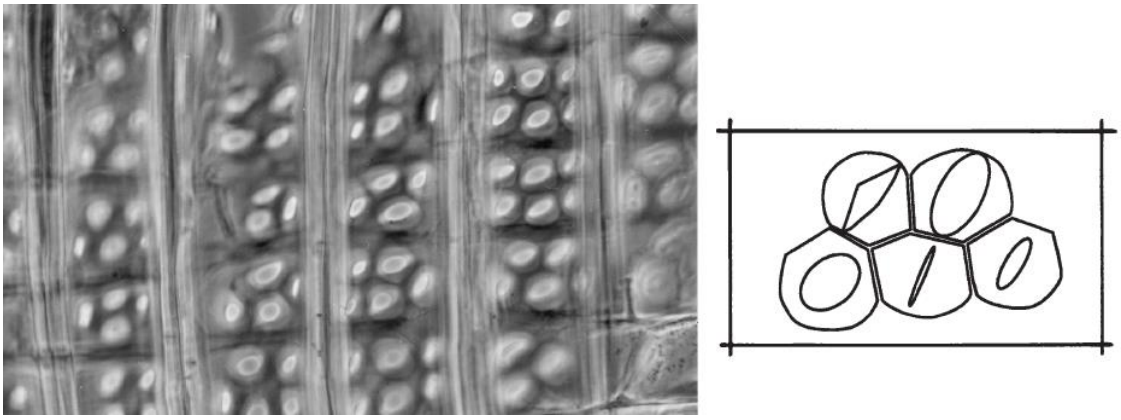


Fig. 11: Pontuação no campo de cruzamento araucarióide observada na secção radial (adaptado de IAWA, 2004).

1.7. Histórico sobre descobertas e ocorrências de troncos fósseis em Moçambique

Os primeiros estudos geológicos em Moçambique foram conduzidos por Guyot (1882), Thompson (1882), Zeiller (1883) e Kuss (1884). No entanto, os troncos fósseis foram descritos pela primeira vez por Livingstone (1865). Os autores acima mencionados tinham como

objectivo estudar as litologias do Karoo que contêm carvão na Bacia de Moatize, e durante esses estudos foram encontradas ocorrências ocasionais de folhas fósseis de *Glossopteris*.

No início do século XX, o explorador alemão C. Peters (1902) fez menção às árvores fossilizadas na província de Tete (Nhamutole, 2021). Posteriormente, descrições de fósseis foram publicadas após o término de trabalhos de campos iniciados em 1949 pelo Geological Service na Bacia de Maniamba (Verniers *et al*., 1989).

Alguns relatórios foram publicados (Teixeira, 1950 e 1951; Borges, 1952; Silva *et al*., 1967) como resultado de trabalhos de campos feitos com o propósito de aprimorar o conhecimento geológico da Província de Tete. Recentemente, a GONDWANA *Enterprise* Ltd e o Museu Nacional de Geologia realizaram trabalhos de campos onde foram coletados troncos fósseis, sendo os mesmos classificados como pertencentes a *Dadoxylon nicoli* (Seward, 1917) e outros a *Dadoxylon* sp. (Nhamutole, 2021).

Ao longo do Rio Zambeze, uma espécie de tronco fóssil *Australoxylon teixeirae* foi descoberta e descrita pela primeira vez por Marguerier (1973).

Na província de Niassa, foram relatados troncos fósseis como pertencentes a *Dadoxylon* sp. na Formação Lu-ulucia, Formação K4 e Formação do Monte Lilonga. É importante ressaltar que os troncos fósseis anteriormente classificados como *Dadoxylon* sp., actualmente considerado um nome taxonómico inválido, são agora identificados como pertencentes a *Agathoxylon* ou *Australoxylon* (Verniers *et al*., 1989; Nhamutole, 2021, Nhamutole *et al*., 2021).

Duas novas espécies de troncos fósseis foram descobertas na Formação K5 da Bacia de Maniamba e descritas pela primeira vez por Nhamutole *et al.* (2021), as mesmas foram descritas como pertencentes *a Protaxodioxylon verniersii* sp. nov. e *Protaxodioxylon metangulense* sp. nov.

2. CAPÍTULO II: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

- **Espécimes:** o projecto científico baseou-se em 10 espécimes coletados numa secção da Bacia de Maniamba (Província do Niassa), nomeadamente: PPM2018-106N, PPM2018-10Z, PPM2018-24R, PPM2018-25R, PPM2018-41R, PPM2019-35R, PPM2019-55R, PPM2019-59NN, PPM2019-68NN e PPM2019-71NN.
- **Rebarbadora:** usada para reduzir o tamanho dos espécimes de troncos fósseis de modo a facilitar a produção das lâminas delgadas.
- **Microscópio Petrográfico OLYMPUS BX43:** usada para análise anatómica com base em microfotografias dos espécimes dos troncos fósseis.
- **Câmera digital OLYMPUS EP50:** usada para capturar imagens dos espécimes dos troncos fósseis.
- ***Programas computacionais*:**
  - ***Software* Epview:** usado para fotografar as microestruturas dos espécimes observadas no microscópio petrográfico;
  - ***Software* Arcmap 10.8**: usado para a elaboração dos mapas de localização geográfica e geológico da área de estudo;
  - ***Software* Adobe Photoshop 23.5:** usado para o recorte, edição da escala e junção das diferentes vistas das microfotografias;
  - ***Software* ImageJ:** usado para medições das microestruturas, tais como os traqueídos;

2.2. Metodologia

Com o intuito de atingir os objectivos previamente delineados para este Projecto Científico, foram realizadas as seguintes atividades:

2.2.1. Pesquisa Bibliográfica

Na fase inicial da elaboração do projecto, foi conduzida uma extensa pesquisa e análise de literatura, abrangendo livros, artigos científicos, teses tanto publicadas quanto não publicadas, bem como relatórios não publicados, todos relacionados à geologia e paleobotânica de Moçambique, com foco na província do Niassa, particularmente na Bacia de Maniamba. Destacam-se contribuições significativas como as de Verniers *et al*., (1989), Taylor *et al*., (2009), Araujo *et al*., (2018), Nhamutole (2021), Nhamutole *et al*., (2021), entre outros.

2.2.2. Laboratório e Processamento

Os espécimes obtidos da secção da Bacia de Maniamba foram preparados utilizando uma rebarbadora. Os cortes foram realizados em três orientações distintas (transversal, radial e tangencial) para possibilitar a confecção das lâminas delgadas. Estas últimas foram confeccionadas no Laboratório de Paleobotânica e Palinologia da Escola de Geociências da Universidade de *Witwatersrand*, sob a supervisão conjunta do co-supervisor deste projeto.

Após a preparação das lâminas delgadas dos troncos fósseis, procedeu-se à sua análise e captura de imagens. Para tal, utilizou-se um microscópio de luz branca transmitida (OLYMPUS BX43) com ampliações de 4x, 10x, 20x e 40x, uma câmera digital (OLYMPUS EP50) foi acoplada ao *software* EPview, e as imagens foram registradas em um computador no laboratório de Paleontologia de Moçambique.

2.2.3. Trabalho de Gabinete

Nesta fase, as microfotografias dos troncos fósseis foram processadas utilizando o *software* Adobe Photoshop, isso incluiu operações como recorte, medições, ajuste de escala e montagem de diferentes vistas das microfotografias. Para a medição das microestruturas, foi utilizado o *software* ImageJ. Por fim, o *software* Arcmap 10.8 foi empregado na elaboração dos mapas.

2.2.4. Elaboração do projecto científico

Na fase final, o Projecto Científico foi elaborado com base na observação e descrição anatómica dos componentes dos espécimes dos troncos fósseis, apresentando os seguintes registros: PPM2018-106N, PPM2018-10Z, PPM2018-24R, PPM2018-25R, PPM2018-41R, PPM2019-35R, PPM2019-55R, PPM2019-59NN, PPM2019-68NN e PPM2019-71NN. A partir das informações anatómicas, foi realizada a classificação taxonómica e conduzida a correlação paleobiogeográfica dos espécimes com outras ocorrências do Gondwana e por fim a compilação dos resultados e sua discussão.

3. CAPÍTULO III: APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.1. ESPÉCIME PPM2018-106N

Paleontologia Sistemática

Ordem: Coníferas Engler, 1897

Género: *Agathoxylon* Bamford & Philippe, 2001

Espécie: *Agathoxylon africanum* Bamford,1999

3.1.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio (Fig. 12. A). Os traqueídos do lenho tardio são na sua maioria poligonais a distorcidos. Os traqueídos do lenho inicial apresentam-se principalmente rectangulares, quadrados e circulares, diâmetro radial 5 µm – 23 µm (média 13µm), diâmetro tangencial 4 µm – 24 µm (média 13 µm). O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos apresentam-se em formas circulares. Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são principalmente bisseriados (Fig. 12. B-D) e ocasionalmente unisseriados (Fig. 12. C). Quando bisseriados, os raios apresentam arranjos com pontuações araucarianas alternas, ocasionalmente opostas. A altura das pontuações de traqueídos varia de 3 µm a 5 µm (média 4 µm), e a largura varia 3µm – 5 µm (média 4 µm). Apresenta campos cruzados do tipo araucarióide.

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais, as células são circulares (Fig. 12. F). A altura do raio varia de 2 a 30 células. O parênquima axial não foi observado.

3.1.2. Identificação taxonómica

Diagnose genérica

A nível genérico, o espécime PPM2018-106N exibe características semelhantes aos descritos por Bamford (1999) e Nhamutole (2021), que permitem atribuí-lo ao género *Agathoxylon* (Bamford & Philippe, 2001). O género *Agathoxylon* segundo Bamford (1999) caracteriza-se por apresentar pontuações radiais araucarianas, campos cruzados araucarióides e sem características distintivas adicionais, motivo pelo qual optou-se por classificar o espécime em estudo dentro do género *Agathoxylon*.

Diagnose específica

As espécies do género *Agathoxylon* que mais se assemelham ao espécime PPM2018-106N estudado são: *Agathoxylon africanum (A. africanum)* e *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)*. O espécime estudado apresenta anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio, campos cruzados do tipo araucarióide e parênquima axial ausente observados por Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al* (2020) e Nhamutole (2021) para ambas espécies *A. africanum* e *A. karooensis*. Os traqueídos do lenho inicial do espécime apresentam-se principalmente rectangulares, quadrados e circulares, características observadas por Kurzawe (2008), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. africanum* e por Kurzawe (2008) e Bamford *et al.* (2020) para *A. karooensis*.

O espécime PPM2018-106N assemelha-se diretamente a espécie *Agathoxylon africanum (A. africanum)*, para além das semelhanças acima descritas, o espécime em estudo quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos, apresenta arranjos ocasionalmente unisseriados e principalmente bisseriados com pontuações alternas, araucarianas, ocasionalmente opostas e contíguas, este fato que foi observado por Bamford (1999), Kurzawe (2008), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. africanum*, que difere do *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)* pois o mesmo apresenta arranjos unisseriados a trisseriados, alternos e contíguos segundo Bamford (1999), Kurzawe (2008), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021).

Diagnose: anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio, presença de pontuações que variam de unisseriados a bisseriados, quando bisseriados são pontuações araucarianas alternas, ocasionalmente opostas. Presença de campos cruzados do tipo araucarióide. Não apresenta parênquima axial.

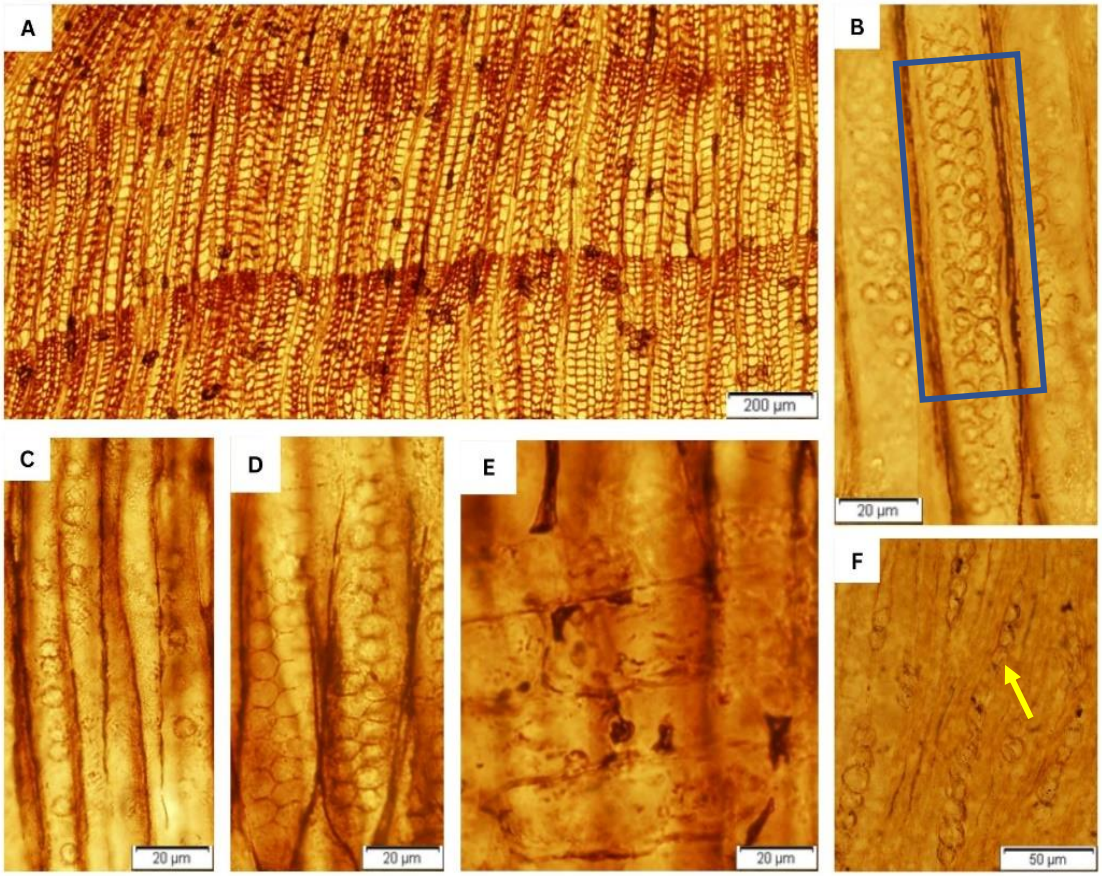


Fig. 12: Espécime PPM2018-106N. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio e traqueídos do lenho inicial quadrados a rectangulares. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações bisseriadas (rectângulo azul) e unisseriadas. (**E**) Secção radial mostrando os campos cruzados, devido ao grau de preservação não foi possível fazer a contagem de pontuações por campo. (**F**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024)

3.2. ESPÉCIME PPM2018-25R

Paleontologia Sistemática

Ordem: Coníferas Engler, 1897

Género: *Agathoxylon* Bamford & Philippe, 2001

Espécie: *Agathoxylon africanum* Bamford, 1999

3.2.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de crescimento do tipo S (Fig. 13. A). Os traqueídos do lenho inicial apresentam-se principalmente rectangulares a poligonais, diâmetro radial 5.2µm –

24.4µm (média 11.6µm), diâmetro tangencial 7.2µm – 27.4µm (média 17.6µm). O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos apresentam-se em formas circulares. Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são bisseriados alternos e araucarianos (Fig. 13. B). A altura das pontuações de traqueídos varia de 3.7µm a 4.3µm (média 3.5µm), e a largura vária 2.4µm – 4.2µm (média 3.4µm). Apresenta campos cruzados do tipo araucarióide, foi possível observar somente 2 pontuações por campo devido ao grau de preservação (Fig. 13. C).

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais, as células são circulares (Fig. 13. D). A altura do raio varia de 2 a 31 células. O parênquima axial não foi observado.

3.2.2. Identificação taxonómica

Diagnose genérica

A nível genérico, o espécime PPM2018-25R exibe características semelhantes aos descritos por Bamford (1999) e Nhamutole (2021), que permitem atribuí-lo ao género *Agathoxylon* (Bamford & Philippe, 2001). O género *Agathoxylon* segundo Bamford (1999), caracteriza-se por apresentar pontuações radiais araucarianas, campos cruzados araucarióides e sem características distintivas adicionais, motivo pelo qual optou-se por classificar o espécime em estudo dentro do género *Agathoxylon*.

Diagnose específica

As espécies do género *Agathoxylon* que mais se assemelham ao espécime PPM2018-25R estudado são: *Agathoxylon africanum (A. africanum)* e *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)*. O espécime estudado apresenta campos cruzados do tipo araucarióide e parênquima axial ausente observados por Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. africanum* e por Bamford (1999), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. karooensis*. Os traqueídos do lenho inicial do espécime apresentam-se principalmente rectangulares, quadrados e circulares, características observadas por Kurzawe (2008), Bamford *et al* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. africanum* e por Kurzawe (2008) e Bamford *et al.* (2020) para *A. karooensis*.

O espécime PPM2018-25R assemelha-se diretamente a espécie *Agathoxylon africanum (A. africanum)*, para além das semelhanças acima descritas, o espécime em estudo quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos, apresenta arranjos bisseriados alternos e araucarianos,

este fato que foi observado por Bamford (1999), Kurzawe (2008), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. africanum*, que difere do *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)* pois o mesmo apresenta arranjos unisseriados a trisseriados, alternos e contíguos segundo Bamford (1999), Kurzawe (2008), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021).

Em termos de diferenças, o espécime estudado apresenta anéis de crescimento do tipo S, indicativo de zona de cisalhamento, mas de acordo com Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021), o género *Agathoxylon* apresenta anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio.

Diagnose: anéis de crescimento do tipo S, presença de pontuações bisseriados alternos e araucarianos. Presença de campos cruzados do tipo araucarióides, foi possível observar somente 2 pontuações por campo devido ao grau de preservação. Apresentam raios unisseriados nas paredes radiais. Não apresenta parênquima axial.

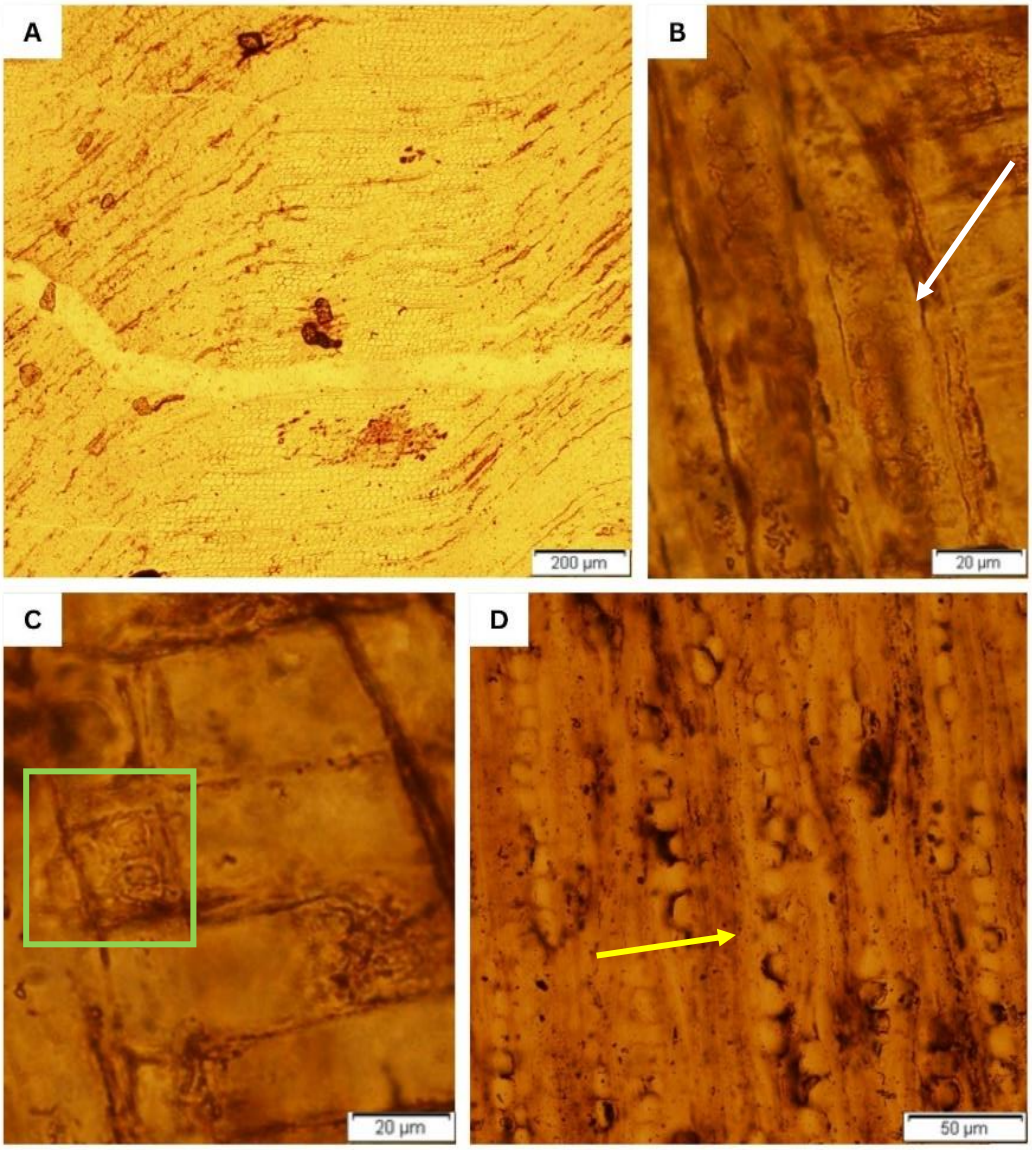


Fig. 13: Espécime PPM2018-25R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo S. (**B**) Secção radial mostrando pontuações bisseriadas (seta branca). (**C**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo araucarióides, foi possível observar somente 2 pontuações por campo devido ao grau de preservação (círculo verde). (**D**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024)

3.3. ESPÉCIME PPM2018-10Z

Paleontologia Sistemática

Ordem: Coníferas Engler, 1897

Género: *Agathoxylon* Bamford & Philippe, 2001

Espécie: *Agathoxylon karooensis* Bamford, 1999

3.3.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de crescimento indistintos com uma faixa de células ligeiramente encurtadas do tipo E (Fig. 14. A). Os traqueídos do lenho inicial apresentam-se principalmente redondos a poligonais, diâmetro radial 6 µm – 21 µm (média 14 µm), diâmetro tangencial 9 µm – 20 µm (média 15 µm). O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos são redondos. Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são unisseriados (Fig. 14. B-C), bisseriados a trisseriados alternos e araucarianos (Fig. 14. D). A altura das pontuações de traqueídos varia de 3 µm a 6 µm (média 4 µm), e a largura varia de 3 µm a 6µm (média 5 µm). Apresenta campos cruzados do tipo araucarióide, 3-4 pontuações por campo (Fig. 14. E).

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais, as células são circulares (Fig. 14. F). A altura do raio varia de 3 a 25 células. O parênquima axial não foi observado.

3.3.2. Identificação taxonómica

Diagnose genérica

A nível genérico, o espécime PPM2018-10Z exibe características semelhantes aos descritos por Bamford (1999) e Nhamutole (2021), que permitem atribuí-lo ao género *Agathoxylon* (Bamford & Philippe, 2001). O género *Agathoxylon* segundo Bamford (1999) caracteriza-se por apresentar pontuações radiais araucarianas, campos cruzados araucarióides e sem características distintivas adicionais, motivo pelo qual optou-se por classificar o espécime em estudo dentro do género *Agathoxylon*.

Diagnose específica

As espécies do género *Agathoxylon* que mais se assemelham ao espécime PPM2018-10Z estudado são: *Agathoxylon africanum (A. africanum)* e *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)*. O espécime estudado apresenta campos cruzados do tipo araucarióide e parênquima axial ausente observados por Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. africanum* e por Bamford (1999), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. karooensis*. Os traqueídos do lenho inicial do espécime apresentam-se principalmente quadrados e circulares, características observadas por Kurzawe (2008), Bamford *et al.* (2020)

e Nhamutole (2021) para *A. africanum* e por Kurzawe (2008) e Bamford *et al.* (2020) para *A. karooensis*.

O espécime PPM2018-10Z assemelha-se diretamente a espécie *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)*, para além das semelhanças acima descritas, o espécime em estudo quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos, apresenta arranjos unisseriados a trisseriados, alternos e araucarianos segundo Bamford (1999), Kurzawe (2008), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. karooensis*, que difere do *Agathoxylon africanum (A. africanum)* pois o mesmo apresenta arranjos bisseriados alternos e araucarianos, este fato que foi observado por Bamford (1999), Kurzawe (2008), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020).

Em termos de diferenças, o espécime estudado apresenta anéis de crescimento indistintos com uma faixa de células ligeiramente encurtadas do tipo E, mas de acordo com Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021), o género *Agathoxylon* apresenta anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio.

Diagnose: anéis de crescimento indistintos com uma faixa de células ligeiramente encurtadas do tipo E, arranjo de pontuações unisseriados a trisseriados, alternos e araucarianos. Presença de campos cruzados do tipo araucarióide, 3-4 pontuações por campo. Não apresenta parênquima axial.

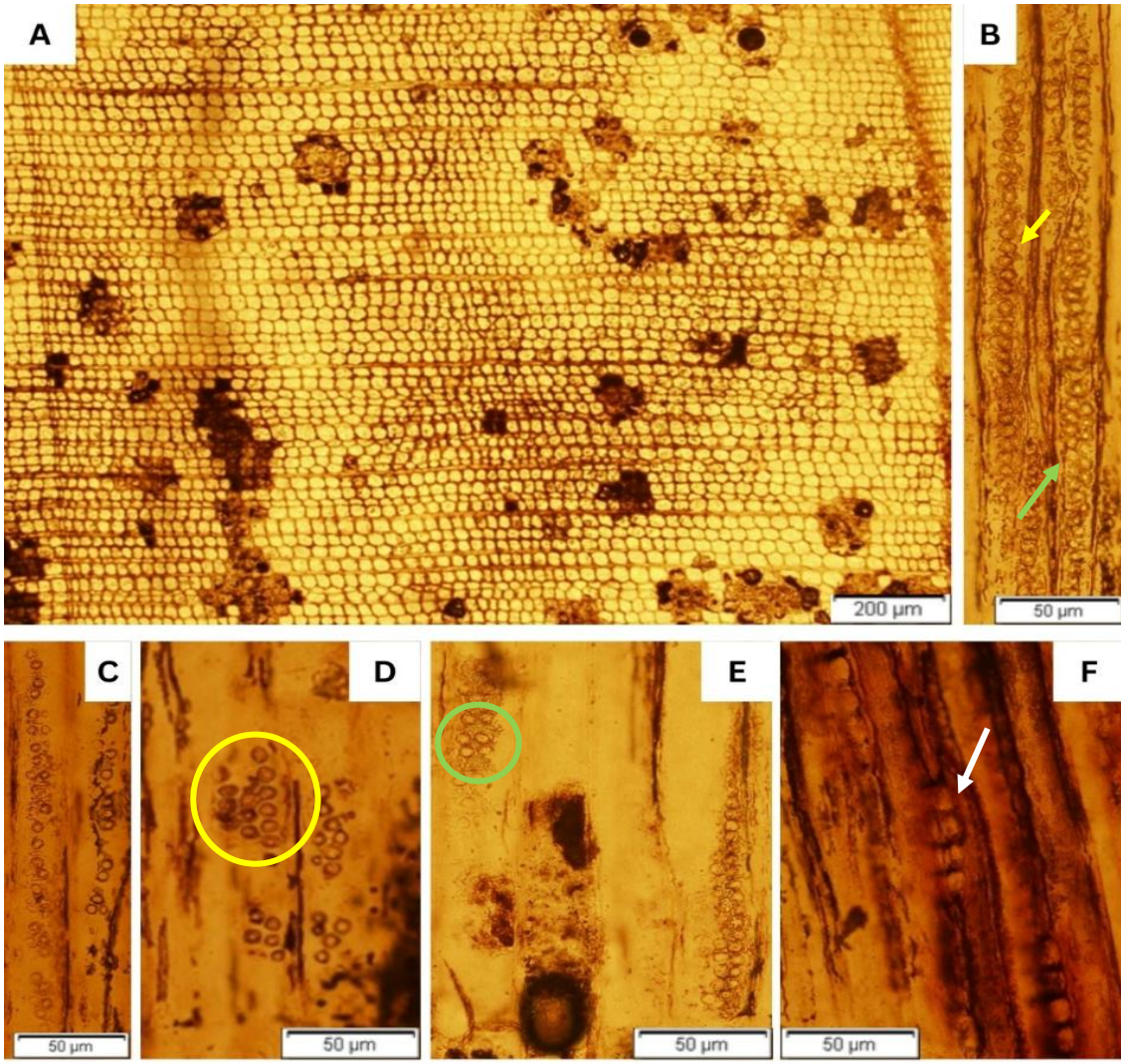


Fig. 14: Espécime PPM2018-10Z. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento indistintos com uma faixa de células ligeiramente encurtadas do tipo E. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (seta amarela), bisseriadas (seta verde) e trisseriadas (círculo amarelo). (**E**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo araucarióide, com 3-4 pontuações por campo (círculo verde). (**F**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta branca). (Fonte: Autora, 2024)

3.4. ESPÉCIME PPM2019-59NN

Paleontologia Sistemática

Ordem: Coníferas Engler, 1897

Género: *Agathoxylon* Bamford & Philippe, 2001

Espécie: *Agathoxylon karooensis* Bamford, 1999

3.4.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de intercrescimento indistinto do tipo O (Fig. 15. A). Os traqueídos do lenho incial apresentam-se com formas poligonais a distorcidas, levemente dobrados e comprimidos. O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos são redondos, apresenta arranjo das pontuações de traqueídos unisseriados (Fig. 15. B) a bisseriados, alternos e contíguos (Fig. 15. C). A altura das pontuações de traqueídos varia de 3µm a 5.5µm (média 4µm), e a largura varia de 3µm – 5.2µm (média 4µm). Apresenta campos cruzados do tipo taxodióide, 2-4 pontuações por campo (Fig. 15. D).

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais e ocasionalmente bisseriados alternos e contíguos, as células são circulares (Fig. 15. E). A altura do raio varia de 3 a 27 células. O parênquima axial não foi observado.

3.4.2. Identificação taxonómica

Diagnose genérica

A nível genérico, o espécime PPM2019-59NN exibe características semelhantes aos descritos por Bamford (1999) e Nhamutole (2021), que permitem atribuí-lo ao género *Agathoxylon* (Bamford & Philippe, 2001). O género *Agathoxylon* segundo Bamford (1999) caracteriza-se por apresentar pontuações radiais araucarianas, campos cruzados araucarióides e sem características distintivas adicionais, motivo pelo qual optou-se por classificar o espécime em estudo dentro do género *Agathoxylon*.

Diagnose específica

As espécies do género *Agathoxylon* que mais se assemelham ao espécime PPM2019-59NN estudado são: *Agathoxylon africanum (A. africanum)* e *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)*. O espécime estudado apresenta campos cruzados do tipo taxodióide e parênquima axial ausente observados por Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. africanum* e por Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. karooensis*. Os traqueídos do lenho inicial do espécime apresentam-se principalmente quadrados e circulares, características observadas por Kurzawe (2008), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. africanum* e por Kurzawe (2008) e Bamford *et al.* (2020) para *A. karooensis*.

O espécime PPM2019-59NN assemelha-se diretamente a espécie *Agathoxylon karooensis (A. karooensis)*, para além das semelhanças acima descritas, o espécime em estudo quanto ao

arranjo das pontuações de traqueídos, apresenta arranjos unisseriados a bisseriados, alternos e contíguos segundo Bamford (1999), Kurzawe (2008) e Bamford (2016), para *A. karooensis*, que difere do *Agathoxylon africanum (A. africanum)* pois o mesmo apresenta arranjos bisseriados alternos e araucarianos, este fato que foi observado por Bamford (1999), Kurzawe (2008), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020).

Em termos de diferenças, o espécime estudado apresenta anéis de intercrescimento indistinto do tipo O, mas de acordo com Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021), o género *Agathoxylon* apresenta anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio.

Diagnose: anéis de intercrescimento indistinto do tipo O, presença de pontuações unisseriados a bisseriados, alternos e contíguos. Presença de campos cruzados do tipo taxodióide, 2-4 pontuações por campo, apresentam raios unisseriados e ocasionalmente bisseriados alternos e contíguos, nas paredes radiais. Não apresenta parênquima axial.

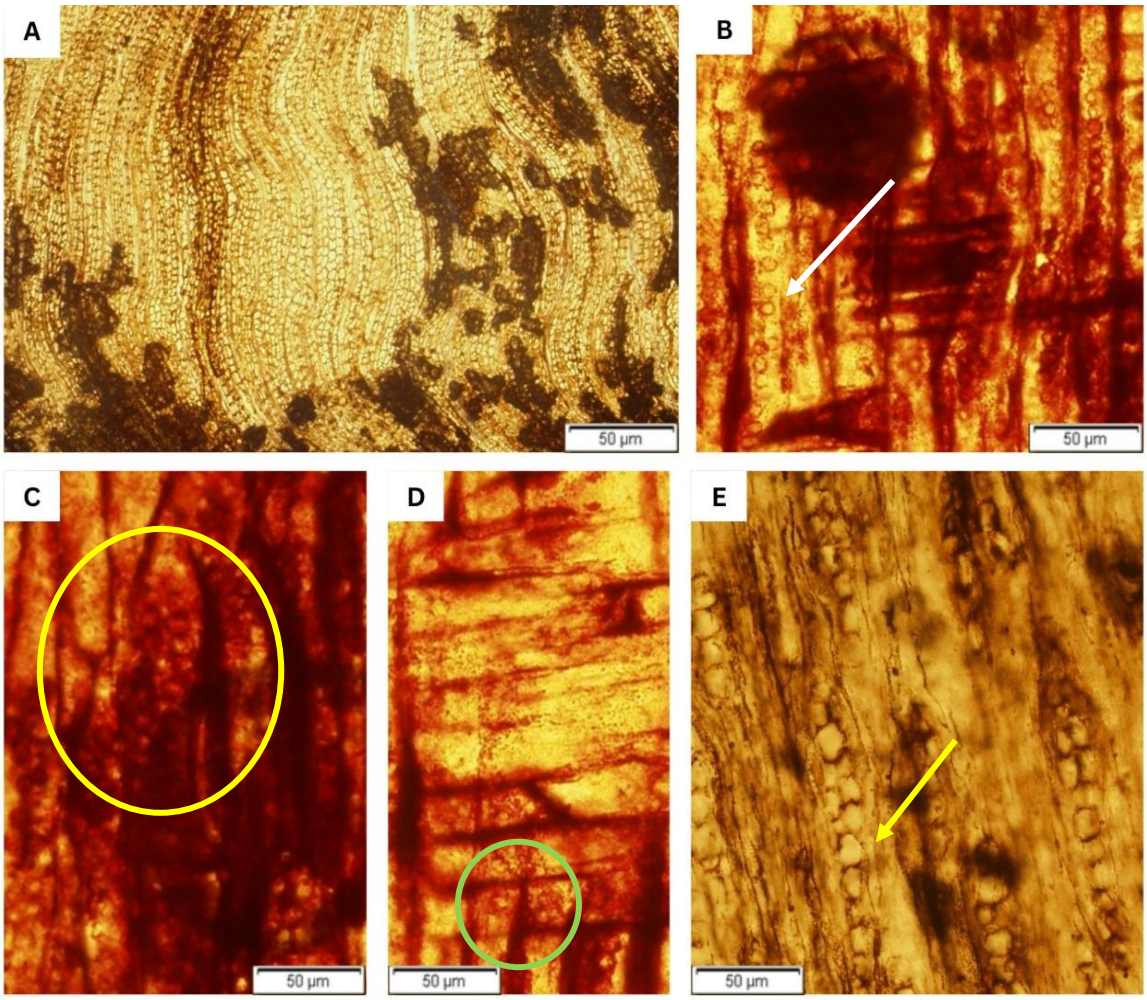


Fig. 15: Espécime PPM2019-59NN. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de intercrescimento indistinto do tipo O. (**B-C**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (seta branca) e bisseriadas (círculo amarelo). (**D**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo taxodióide, 2-4 pontuações por campo (círculo verde). (**E**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados e ocasionalmente bisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024)

3.5. ESPÉCIME PPM2019-35R

Paleontologia sistemática

Ordem: Coníferas Engler, 1897

Género: *Australoxylon,* Marguerier, 1973.

Espécie: *Australoxylon teixeirae,* Marguerier, 1973.

3.5.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de intercrescimento indistinto do tipo O (Fig. 16. A). Os traqueídos apresentam-se com formas rectangulares a distorcidas. O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos são redondos, distribuídos irregularmente, apresenta arranjo das pontuações de traqueídos unisseriadas abietianas (Fig. 16. B). A altura das pontuações de traqueídos varia de 2µm a 4µm (média 3µm), e a largura varia de 2.5µm a 4.5µm (média 3.6µm). Apresenta campos cruzados do tipo taxodióide, 2 pontuações por campo dispostos em linhas verticais (Fig. 16. C).

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais, as células são circulares (Fig. 16. D). A altura do raio varia de 2 a 18 células. O parênquima axial não foi observado.

3.5.2. Identificação taxonómica

Diagnose genérica

A nível genérico, o espécime PPM2019-35R exibe características semelhantes aos descritos por Marguerier (1973) e Bamford *et al.* (2020), que permitem atribuí-lo ao género *Australoxylon*. Embora Marguerier (1973) tenha estabelecido este diagnóstico para madeiras secundárias do período paleozóico devido as pontuações mistas observadas nas paredes radiais dos traqueídos, o mesmo é aplicável ao material analisado pois apresenta pontuações abietianas em sua maioria permitindo classificá-lo dentro do género *Australoxylon*.

Diagnose específica

As espécies do género *Australoxylon* que mais se assemelham ao espécime PPM2019-35R estudado são: *Australoxylon teixeirae (A. teixeirae)* e *Australoxylon natalense (A. natalense)*. Conforme foi descrito acima, o espécime estudado apresenta traqueídos circulares, rectangulares a poligonais, as mesmas caraterísticas foram observadas por Marguerier (1973), Crisafulli & Herbst (2009), Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. teixeirae* e Marguerier (1973), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. natalense*. Em relação ao arranjo das pontuações de traqueídos, o espécime PPM 2019-35R são unisseriados abietianas assim como é observado em Crisafulli & Herbst (2009), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. teixeirae* e Bamford *et al.* (2020) para *A. natalense*. Apresenta campos de cruzamento do tipo taxodióide assim como foi observado por Bamford *et al.* (2020) para *A. teixeirae* e *A. natalense*. O parênquima axial no espécime está ausente e o mesmo foi notado por Bamford *et al.* (2020) para as duas espécies *A. teixeirae* e *A. natalense*.

O espécime PPM2019-35R assemelha-se diretamente a espécie *Australoxylon teixeirae (A. teixeirae)*, para além das semelhanças acima descritas, o espécime em estudo apresenta na seção radial 2 pontuações por campo cruzado, o mesmo observado por Marguerier (1973), Crisafulli & Herbst (2009), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) diferente da espécie *Australoxylon natalense (A. natalense)* que apresenta 1-4 pontuações por campo cruzado assim como foi observado por Crisafulli & Herbst (2009) e Bamford *et al.* (2020).

Para além das semelhanças acima descritas, o espécime em estudo apresenta diferenças, como anéis de intercrescimento indistinto do tipo O, que não foi observado para espécie *Australoxylon teixeirae (A. teixeirae)* que apresenta anéis de crescimento distintos com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio como foi observado por Marguerier (1973), Crisafulli & Herbst (2009), Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021).

Diagnose: anéis de intercrescimento indistinto do tipo O, presença de pontuações unisseriadas abietianas. Presença de campos cruzados do tipo taxodióide, 2 pontuações por campo dispostos em linhas verticais, apresentam raios unisseriados nas paredes radiais. Não apresenta parênquima axial.

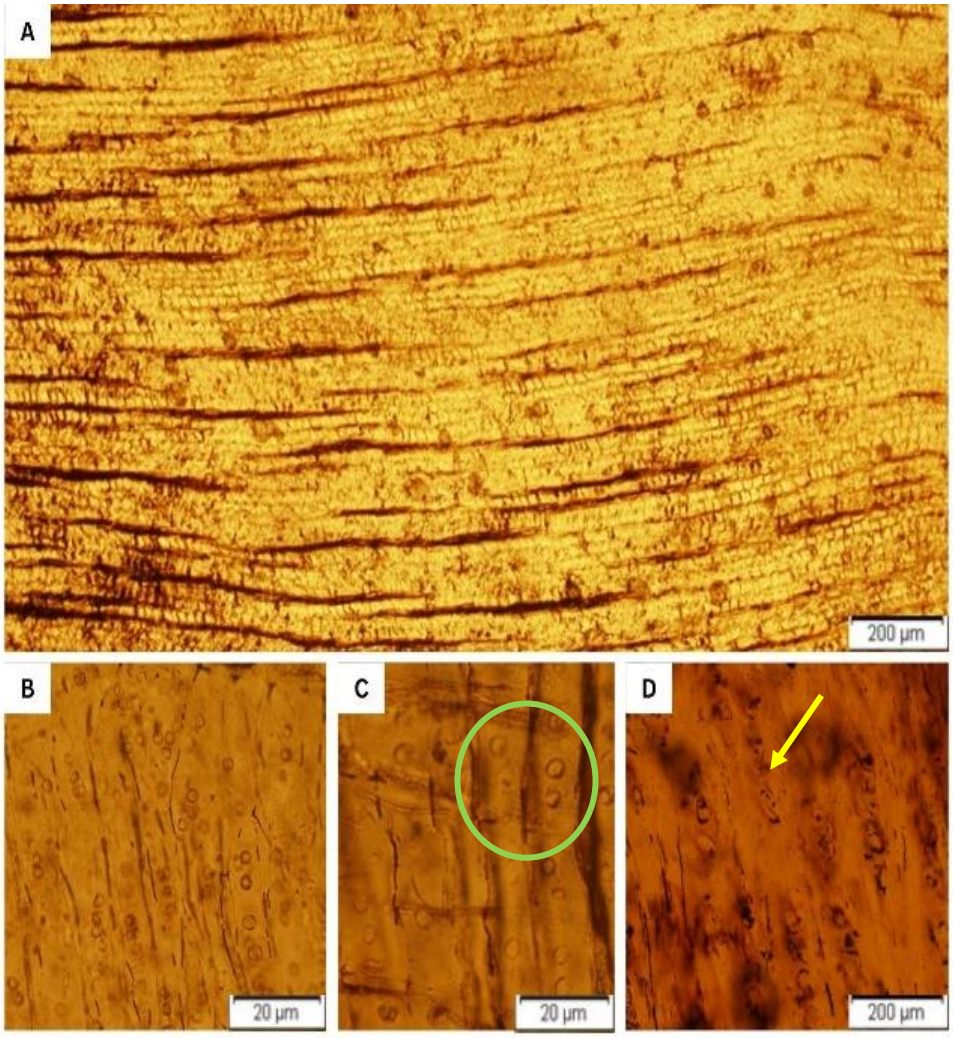


Fig. 16: Espécime PPM2019-35R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de intercrescimento indistinto do tipo O. (**B**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas abientianas. (**C**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo taxodióide, 2 pontuações por campo dispostos em linhas verticais (círculo verde). (**D**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024)

3.6. ESPÉCIME PPM2019-55R

Paleontologia sistemática

Ordem: Coníferas Engler, 1897

Género: *Australoxylon,* Marguerier, 1973.

Espécie: *Australoxylon teixeirae,* Marguerier, 1973.

3.6.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de crescimento distintos com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio. Os traqueídos do lenho tardio são na sua maioria em formas poligonais. Os traqueídos do lenho inicial apresentam-se em formas circulares, rectangulares a poligonais (Fig. 17. A), possuem altura que varia de 7.1µm-25.4µm, e média de 14µm e largura que varia de 5.7µm-24µm, e a média de 13.4µm.

Nesta secção foi possível identificar traqueídos dobrados, indicadores de zona de cisalhamento. O parênquima axial nesta amostra não foi observado.

Seção radial: apresenta pontuações araucárioides, os traqueídos apresentam-se em formas circulares. Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são na sua maioria bisseriados, opostas e abietianas (Fig. 17. B-C), e ocasionalmente unisseriados e trisseriados, alternas e araucarianos (Fig. 17. D). A altura das pontuações de traqueídos varia de 4µm a 5.4µm (média 4.5µm), e a largura varia de 3.4µm a 5.5µm (média 4.4µm). Apresenta campos cruzados do tipo taxodióde, 2-4 pontuações por campo (Fig. 17. E).

Seção tangencial: apresenta raios unisseriados e ocasionalmente bisseriados contíguos e opostas nas paredes radiais. As células são ovais a poligonais (Fig. 17. F). A altura do raio varia de 3 a 18 células. O parênquima axial não foi observado.

3.6.2. Identificação taxonómica

Diagnose genérica

A nível genérico, o espécime PPM2019-55R exibe características semelhantes aos descritos por Marguerier (1973) e Bamford *et al.* (2020), que permitem atribuí-lo ao género *Australoxylon*. Embora Marguerier (1973) tenha estabelecido este diagnóstico para madeiras secundárias do período paleozóico devido as pontuações mistas observadas nas paredes radiais dos traqueídos, o mesmo é aplicável ao material analisado pois apresenta pontuações abietianas em sua maioria permitindo classificá-lo dentro do género *Australoxylon*.

Diagnose específica

As espécies do género *Australoxylon* que mais se assemelham ao espécime PPM2019-55R estudado são: *Australoxylon teixeirae (A. teixeirae)* e *Australoxylon natalense (A. natalense)*. Conforme foi descrito acima, o espécime estudado apresenta anéis de crescimento distintos com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio, os traqueídos do lenho tardio são na sua

maioria em formas poligonais enquanto que os do lenho inicial apresentam-se em formas circulares, rectangulares a poligonais, as mesmas caraterísticas foram observadas por Marguerier (1973), Crisafulli & Herbst (2009), Bamford (1999), Bamford (2016), Bamford *et al.* (2020) e Nhamutole (2021) para *A. teixeirae* e Marguerier (1973), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. natalense*. Em relação as pontuações dos traqueídos, o espécime PPM2019-55R apresenta pontuações araucariodes, os traqueídos apresentam-se em formas circulares; Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são na sua maioria bisseriados, opostas e abietianas e ocasionalmente unisseriados e trisseriados, alternas e araucarianos assim como é observado em Marguerier (1973), Crisafulli & Herbst (2009), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) para *A. teixeirae* e Marguerier (1973), Crisafulli & Herbst (2009) e Bamford *et al.* (2020) para *A. natalense*. Apresenta campos de cruzamento do tipo taxodióde assim como foi observado por Bamford *et al.* (2020) para *A. teixeirae* assim como para *A. natalense*. O parênquima axial no espécime está ausente e o mesmo foi notado por Bamford *et al.* (2020) para as duas espécies *A. teixeirae* e *A. natalense*.

O espécime PPM2019-55R assemelha-se diretamente a espécie *Australoxylon teixeirae (A. teixeirae)*, para além das semelhanças acima descritas, o espécime em estudo apresenta na seção radial 2-4 pontuações por campo cruzado, o mesmo observado por Marguerier (1973), Crisafulli & Herbst (2009), Bamford (2016) e Bamford *et al.* (2020) diferente da espécie *Australoxylon natalense (A. natalense)* que apresenta 1-4 pontuações por campo cruzado assim como foi observado por Crisafulli & Herbst (2009) e Bamford *et al.* (2020).

Diagnose: presença de pontuações que são na sua maioria bisseriados, opostas e abietianas, e ocasionalmente unisseriados e trisseriados, alternas e araucarianos. Presença de campos cruzados do tipo taxodióde, variando de 2-4 pontuações por campo. Parênquima axial ausente.

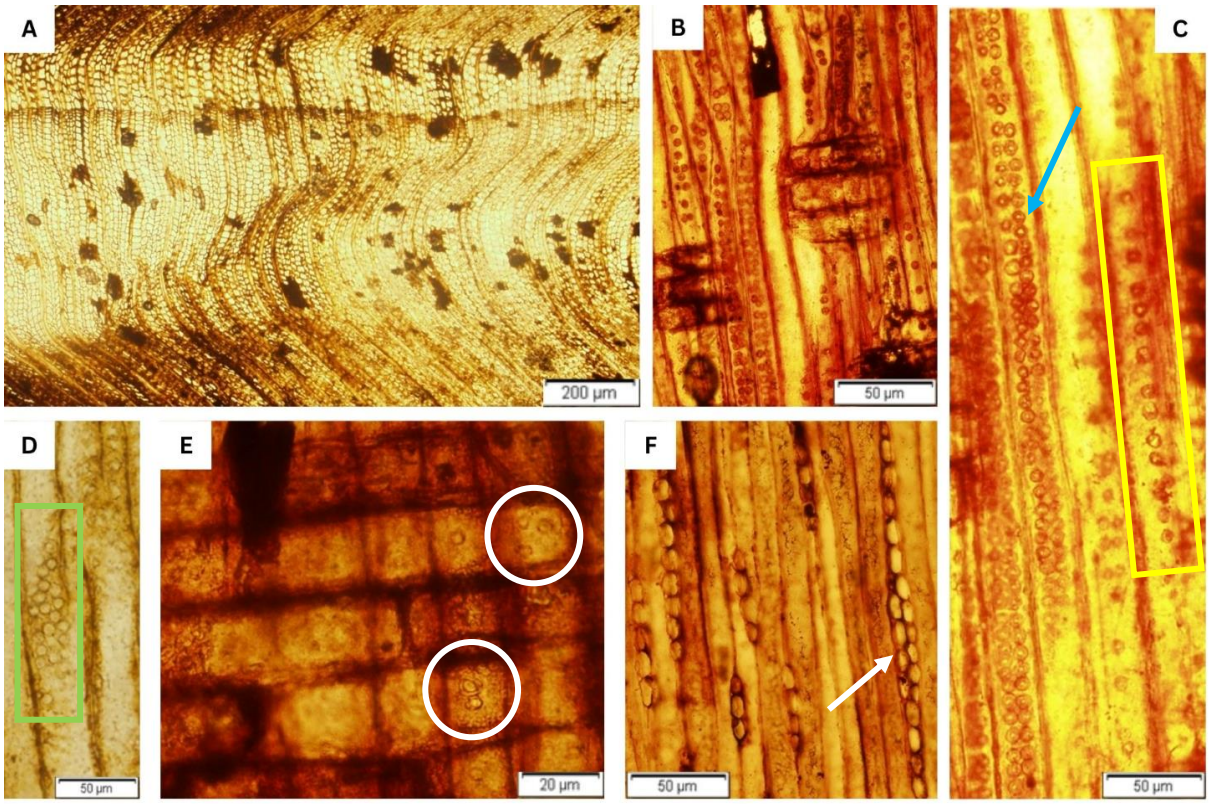


Fig. 17: Espécime PPM2019-55R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento distintos com transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (rectângulo amarelo), bisseriadas (seta azul) e trisseriados (rectângulo verde). (**E**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo taxodióde, 2-4 pontuações por campo. (**F**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados e ocasionalmente bisseriados (seta branca). (Fonte: Autora, 2024)

3.7. ESPÉCIME PPM2019-68NN

Paleontologia Sistemática

Ordem: Coníferas Engler, 1897

Género: *Cupressinoxylon* Göppert, 1850

Espécie: *Cupressinoxylon* cf. sp. nov. Nhamutole, 2021

3.7.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio (Fig. 18. A). Os traqueídos do lenho tardio apresentam-se com formas poligonais a distorcidas. Os traqueídos do lenho inicial apresentam-se principalmente com

formas rectangulares a poligonais, diâmetro radial 34µm – 68µm, diâmetro tangencial 17µm – 62µm. O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos apresentam-se em formas circulares. Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são principalmente bisseriados (Fig. 18. B-C) e ocasionalmente trisseriados (Fig. 18. C), quando bisseriados, os raios apresentam arranjos com pontuações opostas e abientianas, e quando trisseriados, os raios apresentam arranjos com pontuações alternas e araucarianas. Tanto as pontuações bisseriadas quanto as trisseriadas são fortemente cercadas por Barras de Sanio. Apresenta campos cruzados do tipo cupressóide, com 3-5 pontuações por campo dispostos em linhas horizontais (Fig. 18. D).

Seção tangencial: O estado de preservação não permite a distinção das feições anatômicas.

3.7.2. Identificação taxonómica

Diagnose genérica

A nível genérico, o espécime PPM2019-68NN exibe características semelhantes aos descritos por Ríos (1999) e Nhamutole (2021), que permitem atribuí-lo ao género *Cupressinoxylon* (Göppert, 1850). O género *Cupressinoxylon* segundo Philippe and Bamford (2008) caracteriza-se por apresentar pontuações radiais abietianas e campos cruzados cupressóides, motivo pelo qual optou-se por classificar o espécime em estudo dentro do género *Cupressinoxylon*.

Diagnose específica

As espécies do género *Cupressinoxylon* que mais se assemelham ao espécime PPM2019-68NN estudado são: *Cupressinoxylon canadense* e *Cupressinoxylon jiayinense.*

O espécime estudado apresenta anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio, quanto ao arranjo das pontuações são bisseriados opostos e abientianos e ocasionalmente trisseriados alternos e araucarianos, apresenta campos cruzados do tipo cupressóide, com 3-5 pontuações por campo.

Embora o espécime PPM2019-68NN possua algumas semelhanças com as espécies acima mencionadas, algumas diferenças foram identificadas, nomeadamente:

A espécie *Cupressinoxylon canadense* difere da espécie estudada pois apresenta arranjos de pontuações unisseriados a bisseriados e 1-3 pontuações por campo cruzado (Klusek, 2014), enquanto que o PPM2019-68NN apresenta arranjos das pontuações bisseriados e ocasionalmente trisseriados e 3-5 pontuações por campo cruzado.

A espécie *Cupressinoxylon jiayinense* difere do PPM2019-68NN pois apresenta anéis de crescimento distintos com transição gradual e arranjo das pontuações unisseriados a bisseriados e 2-3 pontuações por campo cruzado (Wang *et al*., 1996).

Contudo, o espécime PPM2019-68NN apresenta algumas semelhanças com a espécie estudada por Nhamutole (2021) pois o mesmo apresenta anéis de crescimento com transição abrupta do lenho inicial ao lenho tardio, os traqueídos apresentam contornos sub-rectangulares a quadrados, na seção radial, os traqueídos são circulares, apresenta arranjos uni-bi-trisseriados opostos fortemente cercadas por Barras de Sanio, campos cruzados do tipo cupressóide com 3-5 pontuações por campo dispostos em linhas horizontais e verticais, raios unisseriados e ocasionalmente bisseriados.

Devido as maiores semelhanças e algumas diferenças, propõe-se: *Cupressinoxylon* cf. sp. nov. (Nhamutole, 2021).

Diagnose: anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio, presença de pontuações que variam de bisseriados a trisseriados, quando bisseriados são pontuações opostas e abientianas, e quando trisseriados são pontuações alternas e araucarianas. Presença de campos cruzados do tipo cupressóide, com 3-5 pontuações por campo dispostos em linhas horizontais. Não apresenta parênquima axial.

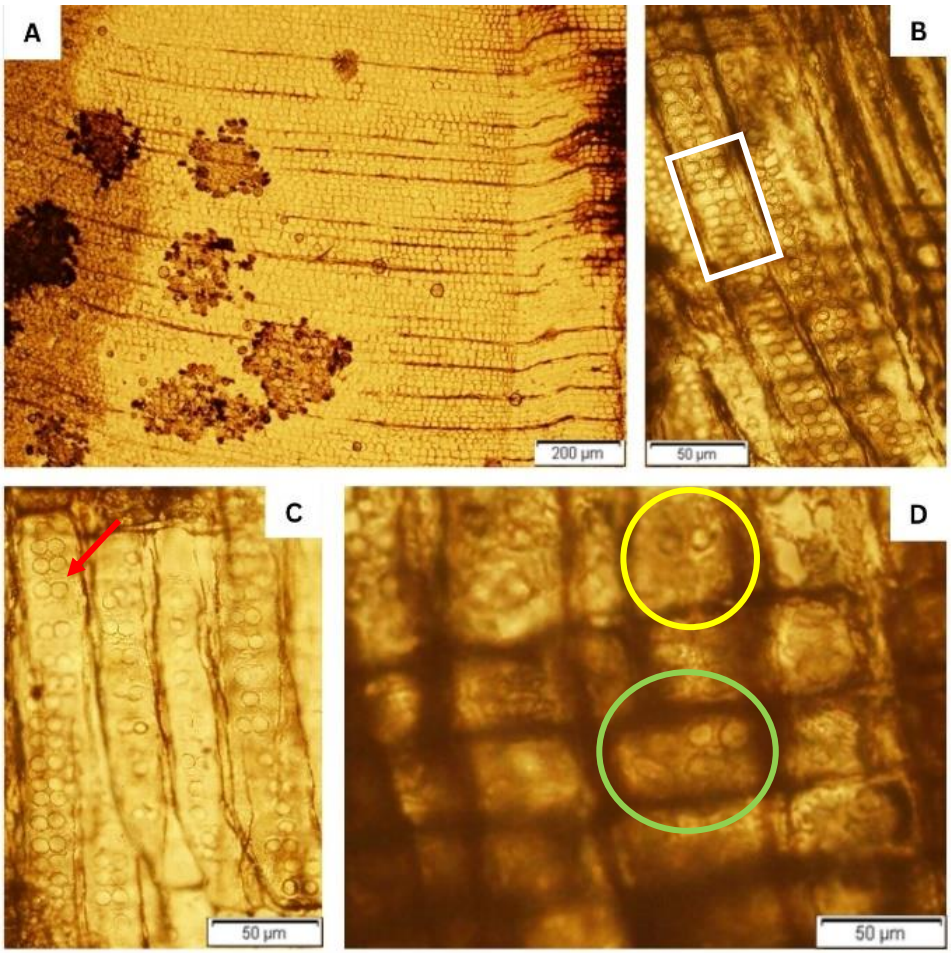


Fig. 18 : Espécime PPM2019-68NN. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento distintos com transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio. (**B-C**) Secção radial mostrando pontuações bisseriadas e trisseriadas (rectângulo branco), estas pontuações são fortemente cercadas por Barras de Sanio (seta vermelha). (**D**) Secção radial mostrando os campos cruzados do tipo cupressóide, com 3-5 pontuações por campo (círculo verde e amarelo). (Fonte: Autora, 2024)

3.8. ESPÉCIME PPM2018-24R

Paleontologia Sistemática

Espécie: Indeterminada

3.8.1. Descrição anatómica

Secção transversal: apresenta anéis de crescimento do tipo O, os traqueídos levemente dobrados (Fig. 19. A). Os traqueídos apresentam-se principalmente circulares a poligonais.

O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos apresentam-se em formas circulares, as pontuações são unisseriadas, contíguas e araucarianas. Apresenta campos cruzados do tipo taxodióide, foi possível observar somente 2 pontuações por campo devido ao grau de preservação (Fig. 19. B).

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais, as células são circulares (Fig. 19. C). O parênquima axial não foi observado.

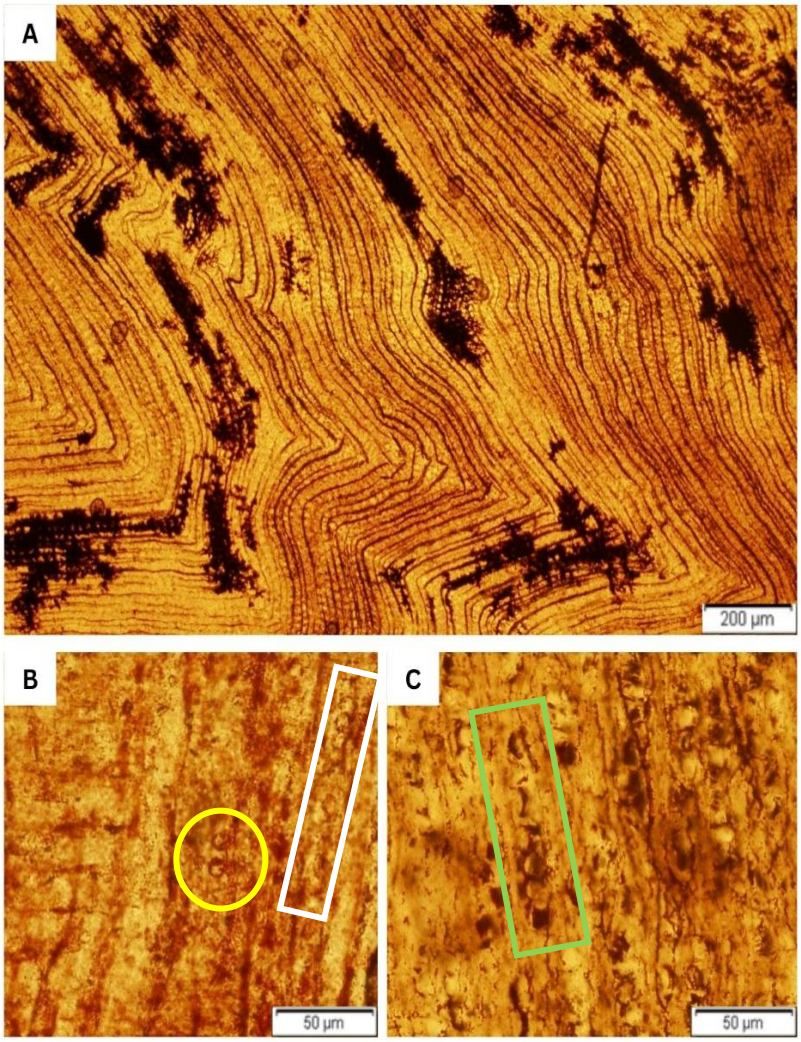


Fig. 19 : Espécime PPM2018-24R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo O. (**B**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (rectângulo branco), campos cruzados do taxodióide, foi possível observar somente 2 pontuações por campo devido ao grau de preservação (círculo amarelo). (**C**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (rectângulo verde). (Fonte: Autora, 2024)

3.9. ESPÉCIME PPM2018-41R

Paleontologia Sistemática

Espécie: Indeterminado

3.9.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de crescimento do tipo O, levemente dobrados (Fig. 20. A). Parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos apresentam-se em formas circulares. Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são unisseriadas, contíguas e araucarianas (Fig. 20. B). Apresenta campos cruzados do tipo taxodióide.

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais, as células são ovais a circulares (Fig. 20. C). O parênquima axial não foi observado.

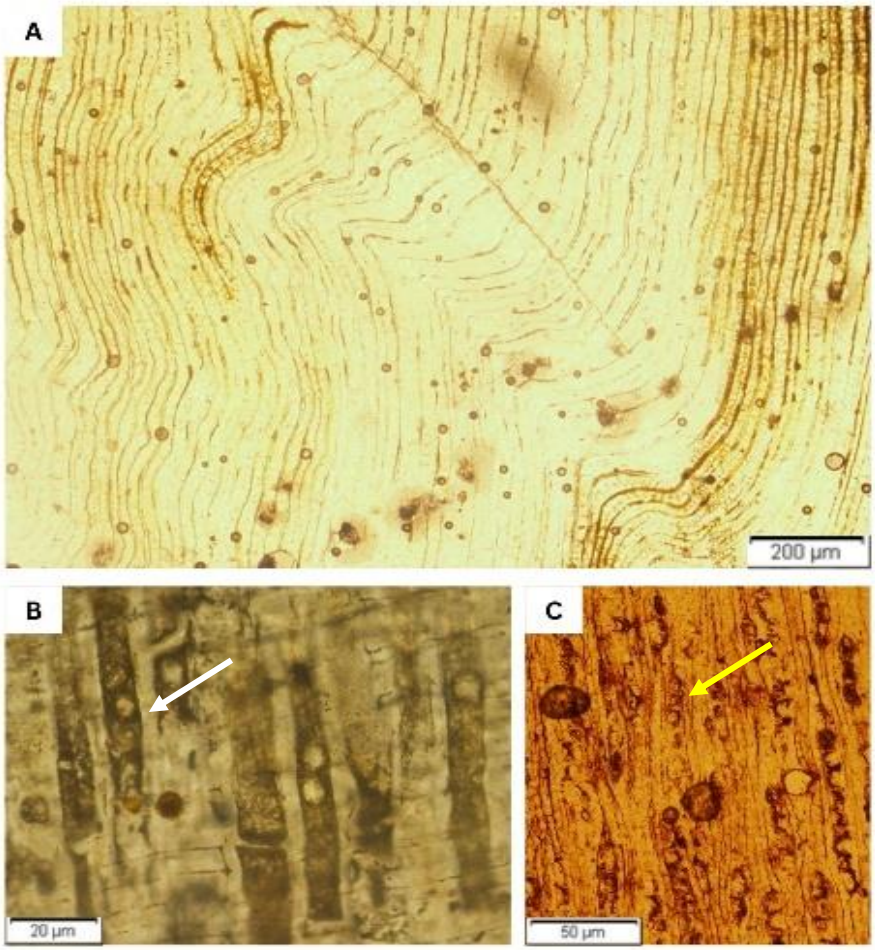


Fig. 20 : Espécime PPM2018-41R. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo O. (**B**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas (seta branca). (**C**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta amarela). (Fonte: Autora, 2024)

3.10. ESPÉCIME PPM2019-71NN

Paleontologia Sistemática

Espécie: Indeterminado

3.10.1. Descrição anatómica

Seção transversal: apresenta anéis de crescimento do tipo S, típico de zonas de cizalhamento (Fig. 21. A). Os traqueídos do lenho inicial apresentam-se principalmente rectangulares a poligonais. O parênquima axial não foi observado.

Seção radial: os traqueídos apresentam-se em formas circulares. Quanto ao arranjo das pontuações de traqueídos são unisseriadas abietianas (Fig. 21. B-D).

Seção tangencial: apresentam raios unisseriados nas paredes radiais, as células são poligonais (Fig. 21. E). O parênquima axial não foi observado.

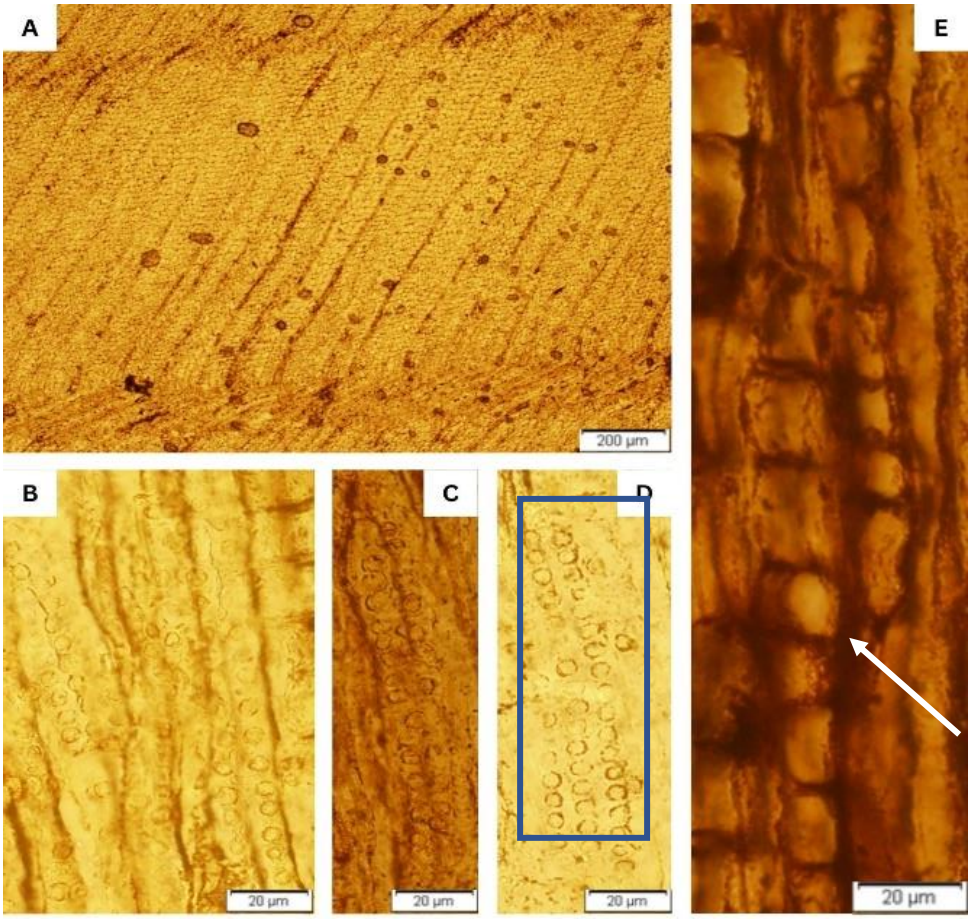


Fig. 21 : Espécime PPM2019-71NN. (**A**) Secção tranversal mostrando anéis de crescimento do tipo S. (**B-D**) Secção radial mostrando pontuações unisseriadas abientianas (rectângulo azul). (**E**) Secção tangencial mostrando raios unisseriados (seta branca). (Fonte: Autora, 2024)

4. CAPÍTULO IV: DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. Contexto paleogeográfico

O *Australoxylon*, especialmente o *Australoxylon natalense* é encontrado exclusivamente nos depósitos do Grupo Ecca, datado no Pérmico médio, e não aparece em idades mais jovens (Bamford, 1999). Devido a sua estrutura anatômica e a sua distribuição bem definida, o *Australoxylon* é um representativo da flora do Gondwana. A espécie *Australoxylon teixeirae* é bem conhecida do Pérmico superior e já foi relatado na África do Sul (Bamford, 1999; Bamford *et al*., 2020), Índia (Prasad *et al*., 2003), Brasil (Schneider *et al*., 1974), Malawi (Crisafulli, 2002), Uruguai e Paraguai (Crisafulli, 2002), e em Moçambique, na Formação Matinde (Pérmico superior) (Araujo *et al*., 2018), na Formação Cádzi (Pérmico superior- Triássico inferior), na Formação K5 (Pérmico médio) e na Formação Monte Lilonga (Triássico inferior) (Nhamutole, 2021). Neste estudo, a espécie foi encontrada nas Formações K5 e K6.

O *Agathoxylon*, por sua vez, possui ampla faixa bioestratigráfica, sendo comum no Paleozóico e registrado globalmente do Carbonífero superior ao Cretáceo. Este género foi descrito pela primeira vez em Botswana, no Supergrupo de Karoo em formações do Triássico (De wit *et al*., 2018) e descrito pela primeira vez no graben de Metangula, Niassa por Nhamutole (2021) na Formação K5. A espécie *Agathoxylon africanum*, segundo Nhamutole (2021), foi relatada na Namíbia (Pérmico até possivelmente Jurássico), Botswana (Triássico superior), Brasil (Triássico superior) e Moçambique nas seguintes formações: Formação Cádzi (Pérmico superior- Triássico inferior), Formação Matinde (Pérmico superior) e KSb, Formação Fubué (Triássico inferior), e neste estudo a espécie foi encontrada na Formação K5. A espécie *Agathoxylon karooensis,* segundo Bamford (1999) ocorre na África do Sul (Beaufort superior), Namíbia (Pérmico até possivelmente Jurássico) e Moçambique, na Formação Matinde pertencente ao Pérmico superior (Nhamutole,2021). Neste estudo, a espécie foi encontrada nas formações K4 e K6.

Em relação ao Supergrupo Karoo, ambos géneros se encontram espalhados na sequência do Karoo e foram encontrados no Grupo Ecca (Bamford, 1999). Mas os mesmos não se limitam apenas ao graben de Metangula, pois já foram relatados a partir da bacia do médio Zambeze, na Formação Matinde (Marguerier, 1973; Nhamutole, 2021).

O *Cupressinoxylon* é um género distribuído pelos dois hemisférios e segundo Nhamutole (2021) foi relatado por diversos autores como Wang *et al*. (1996), Krausel (1949), Pujana *et al*. (2017) e Nishida (1984). Este género foi registrado pela primeira vez na Formação Matinde (Pérmico

superior) (Nhamutole, 2021). Neste estudo, o género foi encontrado nas formações K4 pela primeira vez no graben de Metangula, ampliando a sua distribuição geográfica.

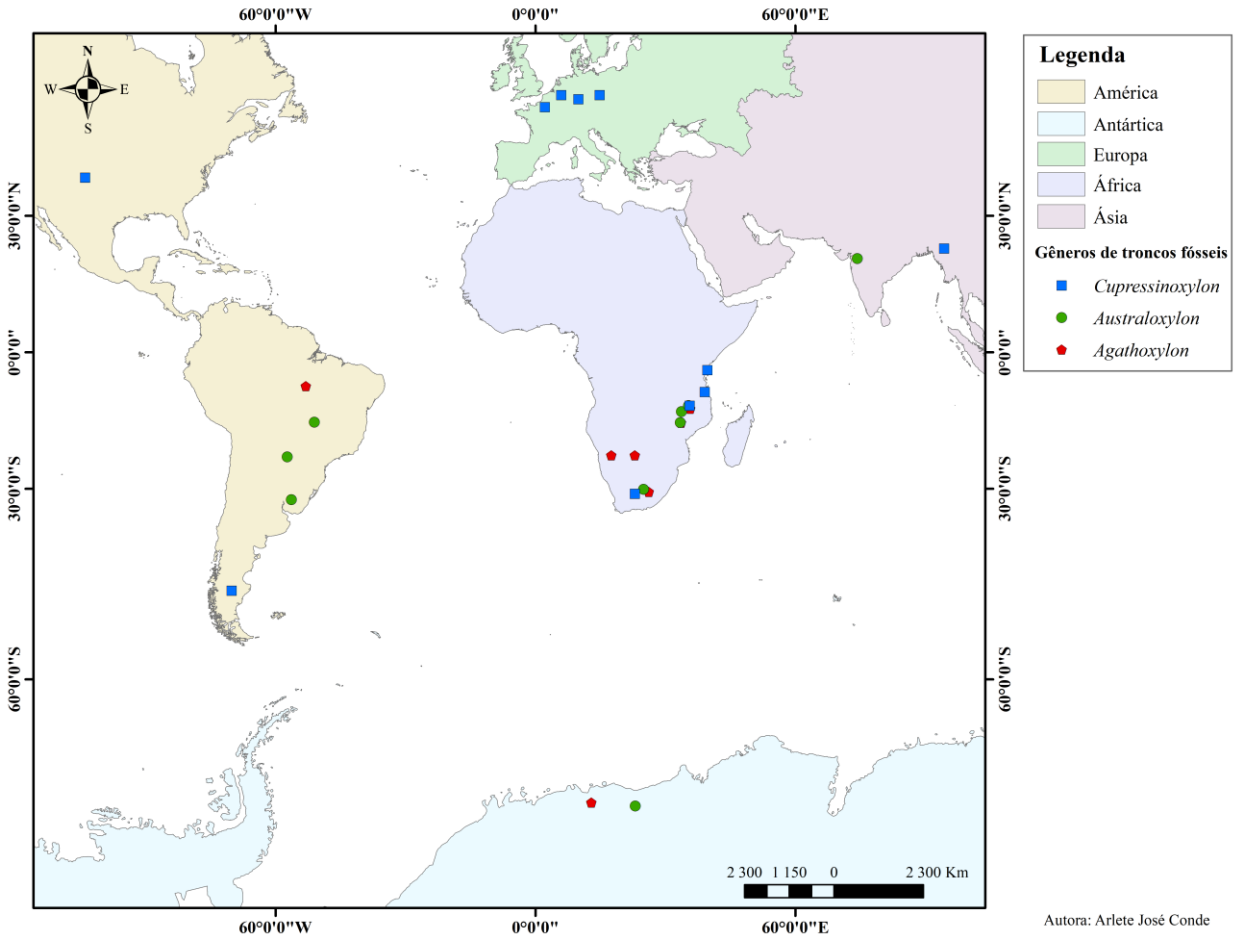


Fig. 22 : Distribuição de *Cupressinoxylon, Australoxylon* e *Agathoxylon* no pérmico do Gondwana. (Fonte: Autora, 2024)

4.2. Reconstrução paleoambiental

A flora de *Glossopteris* do Gondwana compreende uma ampla variedade de folhas de *Glossopteris* e outras plantas tais como Licopsidas, esfenófitas, gimnospérmicas. A abundância de *Glossopteris* no Gondwana aliada a moderada contribuição de plantas de outros grupos nas sequências do Gondwana inferior sugere que o clima predominante nesse tempo geológico era predominantemente quente e húmido (Guerra-Sommer *et al*., 1983; Lindstrom and McLoughlin, 2007; Aggarwal *et al*., 2019), por outro lado, estudo feito na flora de *Glossopteris* na Índia sugere um clima frio e úmido durante o Pérmico inferior que transitou para um clima moderado e úmido durante o Pérmico superior (Gastaldo *et al*., 1996) . Na Bacia de Maniamba estudos recentes realizados nas Formações K4 e K5 com base na geoquímica de elementos maiores SiO_2 versus Al_2O_3+K_2O+Na_2O sugerem condições húmidas alternando com condições

áridas quentes (Nhamutole *et al.*, *in press*). Sob o ponto litofaciológico as formações amostradas são maioiritariamente dominadas por arenito alternando com siltito típico de ambiente fluvio-lacustrino como sugerido por Verniers *et al*., 1989; Paz e Achimo, 2018; Nhamutole *et al*., 2023. No concernente as madeiras fósseis, o material analisado encontra-se fragmentado, o que torna as reconstruções paleoambientais mais difíceis. Por esse motivo, não foi realizada uma análise de fácies, sendo feitas apenas inferências com base em estudos anteriores.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusão

Em síntese, os resultados obtidos ao longo deste projecto científico demonstram que:

- Foram descritos no total quatro táxons de troncos fósseis da ordem coníferas e da família araucariácea provenientes do Graben de Metangula, nomeadamente: *Agathoxylon africanum*, *Agathoxylon karooensis*, *Australoxylon teixeirae* e *Cupressinoxylon* cf. sp. nov, diferenciados com base em seus parâmetros anatómicos qualitativos e quantitativos.
- Dos 10 espécimes analisados, 3 espécimes (PPM2018-24R; PPM2018-41R e PPM2019-71NN) não foram possíveis identificar o táxon devido ao baixo grau de preservação.
- Ao táxon *Agathoxylon africanum* foram atribuídos os espécimes PPM2018-106N e PPM2018-25R, foram classificados como *Agathoxylon karooensis* os espécimes PPM2018-10Z e PPM2019-59NN, ao passo que foram atribuídos ao táxon *Australoxylon teixeirae* os espécimes PPM2019-35R e PPM2019-55R.
- O espécime PPM2019-68NN foi atribuído ao táxon *Cupressinoxylon* cf. sp. nov., sendo uma nova espécie no Graben de Metangula.
- O contexto paleogeográfico revela uma flora diversificada e interligada do Gondwana, com gêneros como *Australoxylon*, *Agathoxylon* e *Cupressinoxylon*, que apresentam ampla distribuição geográfica desde o Pérmico até o Triássico, refletindo a conectividade entre os continentes.
- A presença das espécies acima mencionadas em diferentes formações geológicas de várias regiões, como Moçambique, Brasil, Índia e África do Sul, sugere um conjunto de ambientes interconectados que favoreceu a dispersão e persistência dessa flora ao longo de intervalos geológicos significativos;
- A flora de *Glossopteris* no Gondwana indica predominância de clima quente e úmido, com variações regionais para condições frias no início do Pérmico. Na Bacia de Maniamba, dados geoquímicos revelam alternância entre condições climáticas úmidas e áridas. As formações analisadas apresentam fácies típicas de ambientes fluvio-lacustres, compostas por arenitos alternando com siltitos;

5.2. Recomendação

Para futuras investigações recomenda-se:

- A realização de mais estudos classificatórios de modo a identificar novas espécies e a aprofundar o estudo das existentes para fortalecer a comparação e a correlação paleobiogeográfica, ampliando o entendimento sobre as florestas fósseis do Gondwana.
- A realização de estudos adicionais, utilizando técnicas de análise isotópica e palinologia, para aprofundar a compreensão das condições ambientais que favoreceram a preservação dos troncos fósseis e a dinâmica da flora na Bacia de Maniamba.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ajaykumar, B., Joseph, S., Abhilash, P., Mohan, M., Anitha, K., Thomas, A. (2010). **Fossil Wood: A key to the past**. Nova Science Publishers, pp 1-7.

Araújo, R., Bamford, M., Nhamutole, N., Macungo, Z. (2018), **Fossil tree hollows from a late Permian forest of the Matinde Formation (Tete, Mozambique)**. Palaeontologia Africana 53: 46– 50-ISSN 2410-4418. 1-5pp.

Axelrod, D. I. (1984). **An interpretation of Cretaceous and Tertiary biota in Polar Regions**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 45:105-147.

Bamford, M. & Philippe, M. (2001). **Jurassic-Early Cretaceous Gondwanan homoxylous woods: a nomenclatural revision of the genera with taxonomic notes**. Rev. Palaeobot. Palynol. 113, 287–297.

Bamford, M. (1999). **Permo-Triassic fossil woods from the South African Karoo Basin**. Paleontografia Africana, 35:25-40.

Bamford, M., Cairncross, B., Lombard, H. (2020). **Silicified fossil woods from the Late Permian Middleton Formation, Beaufort Group, Eastern Cape Province, South Africa and their palaeoenvironmental significance**. Journal of African. Earth Sciences.

Bamford, M.K. (2016). **Fossil Woods from the Upper Carboniferous to Lower Jurassic Karoo Basin and Their Environmental Interpretation**. In: Linol, B., De Wit, M.J. (Eds.), Origin and Evolution of the Cape Mountains and Karoo Basin. Springer International Publishing, Switzerland, pp. 159-168

Barry, R. G. (2008). **Mountain weather and climate** (3rd ed.). Cambridge University Press.

César, U, A. (2021). **Anatomia e identificação taxonómica de folhas fósseis do Graben de Metangula (Província de Niassa)**. Projecto Científico de conclusão da Licenciatura em Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique.

Creber, G. T., & Chaloner, W. G. (1984). **Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees**. The Botanical Review, 50(4), 357–448. doi:10.1007/bf02862630.

Crisafulli, A. & Herbst, R. (2009). **Gimnospermous woods (Conifers, Taxales and Ginkgoales) from the Upper Permian Tacuary Formation, Eastern Paraguay**. Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 1. [en prensa].

Cucheque, M. (2022). **Descrição anatómica e identificação taxonómica de troncos fósseis do Graben de Metangula (Província de Niassa), com base nas Lâminas Delgadas.** Projecto Científico de conclusão da Licenciatura em Cartografia e Pesquisa Geológica, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique.

Cumbane, K. (2021). **Descrição anatómica comparativa e identificação taxonómica de um novo dicynodonte: dicynodon cf. Angielczyki da formação k5c do Graben de Metangula- província do Niassa**. Projecto Científico de conclusão da Licenciatura em Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique.

Cumbe, A. (2007). **O Património Geológico de Moçambique: Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação**. Tese de Mestrado, Universidade de Minho, Braga.

De Wit, M., Bamford, M., Van Waarden, C. (2018). **Fossil trees from the basal Triassic Lebung Group at the Makgaba site, west of Mokubilo, Botswana**. Palaeontologia Africana. Evolutionary Studies Institute and School of Geosciences, University of the Witwatersrand, Johannesburg.

Gastaldo, R. A., Stubblefield, S. P., & Maples, C. G. (1996). **A review of the Glossopteris flora from India and its palaeoclimatic significance**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 125(1-4), 255–267.

Gomide, J. [2018?]. **Estrutura Anatômica e Qualidade da Madeira**. Laboratório de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: https://docplayer.com.br/74087720-Estrutura-anatomica-e-qualidade-da-madeira.html. Acesso em: 28 de jun. 2023.

Gussella, L. (2012). **Lenhos fósseis do cretáceo da ilha James Ross, Península Antártica: modos de preservação e identificação.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Guyot, P. (1982). **Sur la louille du Muaraze en Zambésie**. C.R. Hebd. Acad. Sci. Paris, 95, 355-357.

IAWA Committee, International Association of Wood Anatomists (1989). **List of microscopic features for hardwood identification**. IAWA Bulletin 10: 220-332.

IAWA Committee. (2004). **IAWA list of microscopic features for softwood identification**. IAWA J. 25, 1–70

Kłusek, M. (2014). **Miocene coniferous woods of the Polish Carpathian Foredeep**. Acta Palaeontologica Polonica 59 (3): 697–708.

Kurzawe, F. (2018). **O complexo *dadoxylon* - *araucarioxylon* do permo – carbonífero da província gondvânica: estudo taxonómico**. Dissertação de Mestrado do curso de biologia vegetal. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

Kuss, H. (1884). **Note sur la constitution géologique d'une partie de la Zambézie**. Bull.Soc. Géol. France, 3ª Sér., 12: 303-317.

Livingstone, D. (1865). **Narrative of an Expedition to the Zambezi and its Tributaries; and of the Discovery of the Lakes Shirwa and Nyassa**. London, John Murray.

Macungo, Z. (2016). **Descrição osteológica e identificação taxonómica de vários fósseis de vertebrados do Niassa**. Projecto Científico de conclusão da Licenciatura em Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique.

Marguerier, J. (1973). **Paléoxylologie du Gondwana africain: étude et affinités du genre Australoxylon**. Palaeontologia Africana, 16, 37-58.

Marguerier, J. (1973). **Paléoxylologie du Gondwana africain: étude et affinités du genre Australoxylon**. Palaeontologia Africana, 16, 37-58.

Marques, C. (2013). **Paleobotânica da Ilha da Madeira: Inventário e Revisão da Macroflora Fóssil de São Jorge e Porto da Cruz**. Dissertação de Mestrado em Geologia (Estratigrafia, Sedimentologia e Paleontologia), Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal.

Mertolli, S. (2011). **Método de estudo paleoanatômico aplicado à taxonomia de lenhos gimnospérmicos gondvânicos (Paleozóico Superior)**. Pesquisas em Geociências, 38 (1): 29-53.

Muzazaila, M. V. (2021). **Descrição osteológica de um novo espécime de dicinodontóide do Graben de Metangula, província de Niassa**. Projecto Científico de conclusão da Licenciatura em Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique.

Nhamutole, N. (2021). **Fossil woods from the Permian and Triassic of Mozambique: taxonomy, palaeocology and geoconservation**. Unpublished Master dissertation, University of the Witwatersrand, South Africa.

Nhamutole, N., Bamford, M., Araújo, R. (2021). **New species of *Protaxodioxylon* (conifer wood) from the Middle Permian of the Metangula Graben (Niassa Province, Mozambique) and their implications**. Journal of African Earth Sciences183, 104323.

Nhassengo, A. (2016). **Estudo de fósseis de vertebrados do graben de Metangula, província do Niassa, com recurso ao acervo e base de dados da UEM**. Projecto Científico de conclusão da Licenciatura em Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique

Paulino, F. P., Vasconcelos, L., & Marques, J. (2009). **Estratigrafia do Karoo em Moçambique. Novas Unidades.** X Congresso de Geoquímica Dos Países de Língua Portuguesa. Maputo, Moçambique.

Philippe, M., Bamford, M.K. (2008). **A key to morphogenera used for Mesozoic conifer-like woods**. Review of Palaeobotany and Palynology 148, 184-207.

Ríos, C., Cevallos, F., Sergio, R., Pujana, R. (2020). **Cupressaceous woods in the Upper Cretaceous Cabullona Group in Fronteras, Sonora, Mexico**, Journal of South America Earth Sciences, doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102756.

Taylor, T.N., Taylor, E.L. & Krings, M. (2009). **Paleobotany: The Biology and Evolution of Fossil Plants (2nd edn).** Academic Press, Amsterdam.

Verniers, J., Jordan, P., Paulis, R. V., Frasca-Spada, L., De Brock, F. R. (1989). **The Karoo Graben of Metangula, Northern Mozambique.** Journal of African Earth, Vol .9 (1), pp. 137-158.

Zeiller, R. (1883). **Note Sur la flore du basin houiller de Tete (Région du Zambeze)**. An. Des Mines.

Zunguza, S. (2019). **Descrição osteológica e aplicação da estatística descritiva na caracterização da população dos dicinodontes do Graben de Metangula- Província do Niassa**. Projecto Científico de conclusão da Licenciatura em Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. Maputo, Moçambique.

7. ANEXO

Anexo 1. Localização geográfica e formação geológica dos espécimes em estudo. (Fonte: Autor, 2024)

Espécime	Coordenadas Geográficas	Formação
PPM2018-106N	S 12º 38’ 02.2”/ 034º 49’ 57.9” E	**K5**
PPM2018-10Z	S 12º 31’ 16,0”/ 034º 54’ 46,4” E	**K6**
PPM2018-24R	S 12º 31’ 34,4”/ 034º 57’ 48,3” E	**K5**
PPM2018-25R	S 12º 31’ 32,5”/ 034º 57’ 42,2” E	**K5**
PPM2018-41R	S 12° 30’ 34,4” / 035° 2’ 23,6” E	**K5**
PPM2019-35R	S 12º 32’ 53,88” / 034º 54’ 8,58” E	**K6**
PPM2019-55R	S 12º 30’ 45,3”/ 035º 1’ 51,4” E	**K5**
PPM2019-59NN	S 12º 35’ 04,2”/ 034º 59’ 21,4” E	**K4**
PPM2019-68NN	S 12º 35’ 5.7”/ 034º 57’ 59.5” E	**K4**
PPM2019-71NN	S 12º 34’ 25,5”/ 034º 58’ 53,6” E	**K4**

Anexo 2: Comparação das características anatômicas de espécies conhecidas (*Australoxylon*, *Agathoxylon* e *Cupressinoxylon*) e dos espécimes em estudo. (Fonte: Autora, 2024)

Género	Espécie	Anéis de crescimento	Pontuação de traqueído	Campos cruzados	Parênquima axial	Pontuação tangencial	Idade	Referências
Australoxylon	*A. teixeirae*	Distinto, transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio	Pontuação multisseriado (1 – 3 seriados), com arranjos araucária – abientiana e agrupamentos discretos	Pontuação taxódioide, não lotados, 2-4-(6)	Ausente	Unisseriados e baixos bisseriados, com 3-15 células	Pérmico	Marguerier, 1973; Bamford *et al*., 2020.
	A. teixeirae	Indistinto, anéis de crescimento Tipo O	Pontuações bisseriadas, com arranjos abientianos	Pontuação taxódioide, 2 pontuações por campo	Ausente	Unisseriados, com 2-18 células	Pérmico	Em estudo (PPM2019-35R)
	A. teixeirae	Distinto, transição gradual do lenho inicial para o lenho tardio	Pontuações bisseriadas, opostas e abietianas e contém porções baixas de pontuações unisseriadas e trisseriadas, alternas e araucarianas	Pontuação taxódioide, 2-4 pontuações por campo	Ausente	Unisseriados e baixos bisseriados contíguos, com 2-18 células	Pérmico	Em estudo (PPM2019-55R)

Agathoxylon	*A.africanum*	Distinto, transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio	Pontuações bisseriadas (raramente unisseriadas) e alternadas, contíguas a levemente comprimida	Pontuação taxódioide, 2-5 pontuações por campo	Ausente	Unisseriado com baixos bisseriados, com 10-15 células	Pérmico Superior	Bamford, 1999 e Bamford *et al*., 2020.
	A.africanum	Distinto, transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio	Pontuações bisseriados e contém porções baixas unisseriados, e alternadas, araucarianas e ocasionalmente opostas e contíguas	Pontuação araucarióide	Ausente	Unisseriado, com 2-30 células	Pérmico	Em estudo (PPM2018-106N)
	A.africanum	Anéis de crescimento do tipo S	Pontuações bisseriados alternos e auracianos	Pontuação araucarióide	Ausente	Unisseriados, com 2-31 células	Pérmico	Em estudo (PPM2018-25R)
	A.karroenses	Distinto, transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio	Pontuações bisseriadas a trisseriados e alternadas, contíguas a levemente comprimida	Pontuação taxodióide, 3- 6 pontuação por campo	Ausente	Unisseriado com baixos bisseriados, com 6- 21 células	Pérmico	Bamford, 1999 e Bamford *et al*., 2020.

	A.karroenses	Indistinto, anéis de crescimento Tipo O	Pontuações unisseriadas a bisseriados, alternas e contíguas	Pontuação taxodióide, 2-4 pontuação por campo	Ausente	Unisseriados com baixos bisseriados, com 3-27 células	Pérmico	Em estudo (PPM2019-59NN)
	A.karroenses	Indistinto, anéis de crescimento Tipo E	Pontuações bisseriadas, alternas e araucarianos	Pontuação araucarióide, 2 pontuações por campo	Ausente	Unisseriados, com 3-25 células	Pérmico	Em estudo (PPM2018-10Z)
Cupressinoxylon	*Cupressinoxylon* sp. nov.	Distinto, levemente comprimida	Pontuações trisseriadas, espaçadas e ocasionalmente contíguas opostas	Pontuação cupressóide, com 2-5 pontuações por campo	Ausente	Unisseriados com baixos bisseriados, com 1-12 células	Pérmico	Nhamutole, 2021
	Cupressinoxylon sp. nov.	Distinto, transição abrupta do lenho inicial para o lenho tardio	Pontuações bisseriadas, opostas e abientianas a trisseriadas, alternas e araucarianas	Pontuação cupressóide, com 3-5 pontuações por campo	Ausente	----------	Pérmico	Em estudo (PPM2019-68NN)