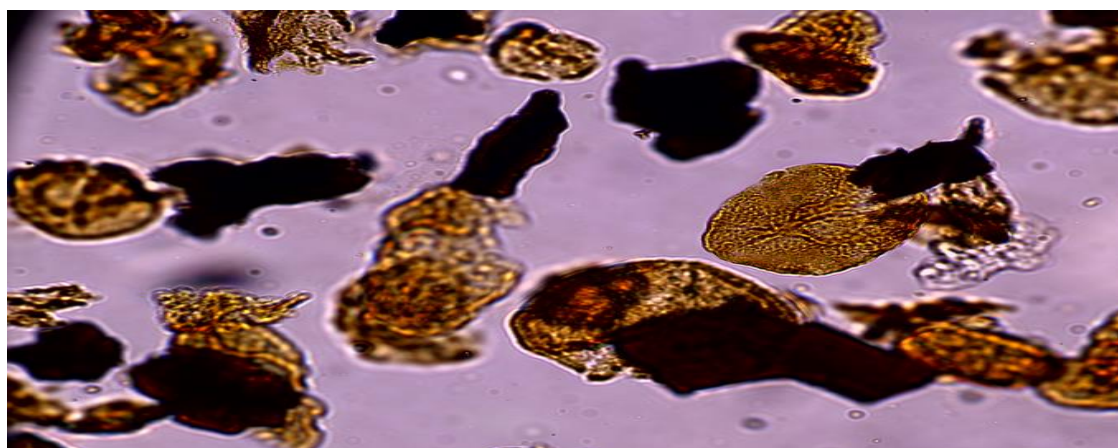




FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LICENCIATURA EM CARTOGRAFIA E PESQUISA GEOLÓGICA

PROJECTO CIENTÍFICO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERADOR DE HIDROCARBONETOS NA SECÇÃO
JOG16N-5 DA FORMAÇÃO K4 - BACIA DE MANIAMBÁ**



Autor: Olímpio Romão de Deus

Maputo, Maio de 2024



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
LICENCIATURA EM CARTOGRAFIA E PESQUISA GEOLÓGICA
PROJECTO CIENTÍFICO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GERADOR DE HIDROCARBONETOS NA SECÇÃO
JOG16N-5 DA FORMAÇÃO K4 - BACIA DE MANIAMBA**

Autor:

Olímpio Romão de Deus

Supervisor:

Mestre Belarmino Massingue

(Universidade Eduardo Mondlane)

Co-Supervisor:

Mestre Nelson Nhamutole

(Museu Nacional de Geologia/ *University of Witwatersrand*, África do Sul)

Maputo, Maio de 2024

AGRADECIMENTOS

Porque nada na vida é possível sem a força de DEUS, primeiro agradeço a ele pelo dom da vida, amor, saúde, sabedoria e pela oportunidade de viver este momento. **Ebenézer** “*Até aqui nos ajudou o Senhor.*” (1 Samuel 7:12).

A minha família, em especial ao meu pai Romão Mucunga João De Deus, que para além do amor, encorajamento incondicional, disponibilizou condições materiais, emocionais e morais para a minha formação. Suas palavras de encorajamento e seus sábios conselhos têm me dado confiança para enfrentar cada obstáculo e superá-lo. Que Deus te abençoe!

Agradeço do fundo do meu coração aos meus irmãos Cristina Matusse, Isis de Deus, Ana Muiambo, Zeningi Muiambo, Olivio de Deus, Ivodia de Deus e ao Kizito de Deus. Aos meus amigos João Sozinho, Jazilo Issufo, Danilo Matessane, Ornélio Mulhovo, Malaque de Jesus, Edmilson Nhate, Eugenio Mioche, Alexandre Dias, Adilson Sitóe, Zulmira Mutine, Sheila Fabiana, Ana Mondlane, Neyd Lúcia, Nárcia Maoco, Carlos Zitha e aos meus companheiros do Ndomba Fc por todos os momentos juntos e pelo suporte, e aos meus Primos irmãos Junior Uamba, Ogui Uamba, Gonçalves Chilaúle e a cunhada Albertina pelo apoio incondicional, por segurar minha mão e enxugar minhas lágrimas sempre e durante a minha formação, aos meus tios (a) Armindo, Marta, Rufina e Idalina pelo apoio e ensinamentos, vai o meu muito obrigado.

Agradeço ao Museu Nacional de Geologia (MNG) e a Direção Nacional de Geologia e Minas (DNGM), pelo acolhimento, estadia e disponibilização do material para realização deste trabalho, em especial ao Dr. Machavate e ao meu supervisor, Dr. Nelson Nhamutole, um excelente profissional. Pela orientação, ensinamentos, rigorosidade, confiança, paciência, atenção, disponibilidade sempre que precisei, por ter sido além de supervisor, um verdadeiro pai para mim e pela oportunidade que me concedeu, endereço a minha profunda gratidão. Sem esquecer aos funcionários do Museu, em especial ao John, Sr. Hélio, Dr. Moiane, Leocádia, Bande, dona Anastácia, dona Carla, dona Marta, Mercio e ao chefe Denny (*em memória*), pelas conversas, debates, confissões, piadas, gargalhadas e cafés, tornando esta etapa ainda mais divertida.

Profunda gratidão ao meu supervisor da faculdade Dr. Belarmino Massingue pelo apoio, disponibilidade, assistência e ensinamentos transmitidos.

Imensa gratidão aos meus colegas de estágio, Ancha, Arlete, Chaido, Cremilda, Edilson, Isarena, Jessica, Jenifer, Shanila e Uwendí, pela amizade, pelo carinho, pelas rizadas, pelos choros, pelos conselhos, pelos cafés, pelos After woks, em fim, por estarem ao meu lado independentemente da situação. Deus vos abençoe grandemente!

A minha grande família da Geologia, meus colegas e amigos do curso, os quais quero sempre por perto, companheiros das trincheiras (João e Adilson), Maurex, Lazaro, Aldevina, Sócrates, Calangue, Mequelina, Mangueze, Zainadino, Mosse, Calisto, Vanusa, Sousa, Oficial, Mulungo, Vitendo, Chaúque, Jardel, Nelvito, Danquel, Alberto, Kennedy, Milton, Mungoi, Ebiuth, Nelma, Márcia, Mano Dinis, Manuel Tivane, Nhacobo, Nhavoto, Alcídio, The Five, Amelia Mapai e Amelia Massingue pela confiança, motivação e troca de conhecimentos ao longo de toda a carreira estudantil.

Agradecer a todo corpo docente do Departamento de Geologia da UEM, pelo bom conhecimento transmitido durante o percurso académico neste Departamento. Por fim, quero agradecer a todos os que, de forma directa ou indirecta contribuíram para a minha formação académica.

MUITO OBRIGADO! KHANIMANBO!

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Olímpio Romão de Deus**, declaro por minha honra a verdade e originalidade do trabalho e que o mesmo é da minha autoria e nunca foi apresentado em nenhuma instituição de ensino para o alcance de qualquer grau académico. Este trabalho é fruto da minha investigação pessoal, das orientações dos meus supervisores e que o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas, tanto no texto como na sua bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho é a primeira vez que submeto para obtenção do grau académico em Licenciatura em Cartografia e Pesquisa Geológica.

O candidato

(Olímpio Romão de Deus)

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais, Romão Mucunga João De Deus, Ana Flora Matusse (em memória) e Assa Patrício Muiambo (em memória), que sempre estiveram ao meu lado, apoiando, incentivando e acreditando em mim. Sem o amor, a orientação e o apoio de vocês, esta jornada acadêmica não teria sido possível. Esta conquista é dedicada a vocês, com todo o meu amor e gratidão.

RESUMO

O estudo das rochas geradoras de hidrocarbonetos constitui uma informação essencial para a avaliação dos riscos que envolvem a exploração petrolífera, principalmente em bacias ainda não exploradas, como é o caso da Bacia de Maniamba. Deste modo, surge a necessidade de efectuar uma pesquisa visando ampliar os conhecimentos dos hidrocarbonetos presentes no karoo do graben de Metangula. O presente projecto científico visa estudar o conteúdo orgânico, presente em 20 amostras do testemunho de sondagem JOG16N-5 (12°33'36.62''S e 34° 58'46.45''E), pertencente a formação K4, Bacia de Maniamba localizado à Noroeste da Província do Niassa. Para o efeito, foram colectadas amostras de forma sistemática e representativa, rochas clásticas de granulometria fina, coloração escura e as rochas que se encontravam em melhores condições de preservação (siltitos, arenitos siltitos e xistos carbonosos) entre os intervalos de 18.80 m e 58.88 m do testemunho de sondagem JOG16N-5, com 213 metros de profundidade. As amostras foram processadas seguindo os procedimentos palinológicos padrões não-oxidativos descritos por Tyson posteriormente analisadas em lâminas organopalinológicas, utilizando análises microscópicas (Análise visual do querogénio). A análise visual do querogénio foi realizada em lâminas organopalinológicas sob microscopia de luz branca transmitida através do exame quantitativo e qualitativo dos componentes da matéria orgânica. A análise quantitativa consistiu na identificação e contagem de 300 componentes orgânicos, o que possibilitou a identificação dos três principais grupos do querogénio: Fitoclastos, Palinomorfos e Matéria Orgânica Amorfa. Essa análise evidenciou o predomínio do grupo dos Fitoclastos, seguido do grupo dos Palinomorfos e em menor quantidade a Matéria Orgânica Amorfa. Baseando-se nestes resultados foram individualizadas três associações de palinofácies distintas, nomeados por palinofácies CD, C e D. A integração de palinofácies permitiu a delimitação dos paleoambientes deposicionais ao longo da secção analisada, indicando um ambiente flúvio-deltaico com alta taxa de sedimentação, sob condições deposicionais proximais óxica a muito óxica, caracterizando uma vegetação que se desenvolveu num clima tropical úmido. A análise qualitativa, consistiu na maturação térmica através do Índice de Coloração dos Esporos (ICE) e Índice de Alteração Termal (TAI), caracterizando um grau de maturação térmica de imaturo, maturo e supermaturo. Quanto ao potencial gerador de hidrocarbonetos, foram classificados três tipos de querogénio, nomeadamente: o tipo II caracterizando um bom potencial para geração de óleo, o tipo III com potencial para geração de gás seco e abundante tipo IV, caracterizado por matéria orgânica altamente oxidada, e sem potencial para geração de hidrocarbonetos.

Palavras-chave: Análise visual do querogénio; Bacia de Maniamba; Maturação térmica; Formação K4; Potencial gerador de hidrocarbonetos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma mostrando as etapas seguidas no presente trabalho de pesquisa.4

Figura 2: A) Testemunhos de sondagem do furo JOG16N-5 usados para amostragem na DNGM;
B) Amostras etiquetadas e prontas para a o processamento laboratorial.6

Figura 3: Log sedimentar do testemunho de sondagem JOG16N-5, com os respectivos pontos de amostragem.....7

Figura 4: Etapas do processamento palinológico: A) Maceração das amostras; B) Dissolução das amostras em HCL e HF; C) Peneiras; D) Resíduos palinológicos; E) e F) colocação do resíduo orgânico sobre a lâmina com auxílio de um palito;G) lamínula em chapa aquecida.9

Figura 5: Fluxograma das etapas de preparação das amostras para análises visual do querogénio, segundo a metodologia de Tyson (1993).....9

Figura6: Fluxograma de etapas de análise visual do querogénio, segundo a metodologia de Tyson (1995)..... 10

Figura 7: Ilustração do processo de contagem de componentes orgânicos. A) modo de fluorescência; B) Luz branca transmitida, na qual, somente são contadas partículas que estão sobre o retículo graduado, como mostrado em (C) (Mendonça et al., 2010; 2011; 2012)..... 11

Figura 8: Fase de análise microscópica em laboratório (Museu Nacional de Geologia). A) Computador acoplado ao microscopio olympus BX-43 para realização da análise visual do querogénio; B) lâminas organopalinológicas; C) Microscópio óptico de luz branca transmitida Leica Dm 500; D) componentes orgânicos analisados ao microscópio óptico de luz branca transmitida. 11

Figura 9: Diagrama ternário com os campos de palinofácies definidos pelos valores percentuais dos principais componentes da matéria orgânica (modificado de Tyson 1993, 1995)..... 12

Figura 10: Diagrama ternário de paleoambiente deposicional de leitos (Hacquebard & Donaldson, 1969)..... 14

Figura 11: Escala de Índice de Coloração de Esporos (ICE) & Índice de Alteração Térmica (TAI), segundo (Barnard et al., 1981)..... 15

Figura 12: Índice de alteração termal de microfósseis orgânicos (Modificado de Traverse, 1988). 16

Figura 13:Mapa de localização da área de estudo..... 18

Figura 14: Distribuição espacial das bacias do Karoo na África sub-shariana (adaptado de Catauneau et al, 2005).20

Figura 15: Ilustração da distribuição do Super Grupo Karoo em Moçambique, com a Bacia de Maniamba no NNE de Moçambique (fonte: INP, 2014).....21

Figura 16: Sequências estratigráficas das principais bacias do Karoo (Adaptado Vasconcelos 2009).....	22
Figura 17: Mapa geológico da área de estudo (Adaptado de Verniers et al., 1989).....	23
Figura18: Composição e quantidade de matéria orgânica em rochas sedimentares (adaptado de Tissot & Welte 1978).	25
Figura 19: Fluxograma de classificação do querogénio (baseado em Tyson, 1993; 1995).	26
Figura 20: Distribuição dos componentes do querogénio nos ambientes sedimentares (modificado de Seyve, 1990).	30
Figura 21: Matéria orgânica particulada encontrada nas lâminas organopalinológicas da secção JOG16N-5, analisado sob luz branca transmitida com objectiva 40x, numa escala de 20µm: A) Fitoclasto opaco equidimensional; B) Fitoclasto opaco alongado; C) Fitoclasto opaco corrido; D) Fitoclasto não opaco, bioestruturado (traqueidio); E) fitoclasto não opaco, não bistruturado; F) Cutícula; G) Hifas de fungo; H) Esporo monolete; I) Esporo Trilete; J) Grão de pólen monossacado; K) Grão de pólen bissacado; L) MOA.....	32
Figura 22: Distribuição percentual dos grupos da matéria orgânica particulada da secção JOG16N-5.....	33
Figura 23: Dendograma de agrupamento dos componentes orgânicos da secção JOG16N-5.....	35
Figura 24: (A e B) -Associação de Palinofácies CD ilustrando Fitoclastos e palinomorfos do total de matéria orgânica.....	36
Figura 25: (A e B) - Associação de Palinofácies C ilustrando Fitoclastos e palinomorfos do total de matéria orgânica.....	37
Figura 26: (A e B)-Associação de Palinofácies D ilustrando o domínio dos fitoclastos do total de matéria orgânica.	38
Figura 27: Diagrama ternário das amostras da secção JOG16N-5 (Adaptado Tyson, 1993).	39
Figura 28: Diagrama ternário de paleoambiente deposicional de leitos (Hacquebard & Donaldson, 1969).....	40
Figura 29: Representação esquemática do paleoambiente da área de estudo (adaptado de Paz, 2018).....	41
Figura 30: Índice de Coloração dos Esporos (ICE), indicando os níveis de maturação térmica das amostras analisados da secção JOG16N-5 (Adaptado autor, 2023).....	42
Figura 31: Índice do Alteração Térmica (TAI), indicando os níveis de maturação térmica das amostras analisados da secção JOG16N-5 (Adaptado autor, 2023).....	43
Figura 32: Gráfico indicando os tipos de querogénio da secção JOG16N-5.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Paleoambientes definidos pelos campos de palinofácies, com as respectivas características e tipos de querogênio (Tyson,1993).....	13
Tabela 2: Classificação do grupo dos fitoclastos (Mendonça et al., 2012).....	27
Tabela 3: Classificação do Grupo dos Palinomorfos (Mendonça Filho et al., 2012).....	28
Tabela 4: Classificação do Grupo da matéria orgânica amorfa (Mendonça Filho et al., 2012)....	29
Tabela 5: Relação entre os componentes do querogênio com o potencial gerador (adaptado de Nobre, 2022).....	29
Tabela 6: Resultados da análise quantitativa da matéria orgânica particulada e associações de Palinofácies da secção JOG16N-5.....	34
Tabela 7: Associação de Palinofácies da secção JOG16N-5 e sua descrição.....	35
Tabela 8: Valores percentuais para os três grupos de matéria orgânica correspondente a associação de palinofacies CD, JOG16N-5.....	36
Tabela 9: Valores percentuais para os três grupos de matéria orgânica correspondente a associação de palinofacies C, JOG16N-5.....	37
Tabela 10: Valores percentuais para os três grupos de matéria orgânica correspondente a associação de palinofácies D, JOG16N-5.....	38
Tabela 11: Correlação dos valores do ICE & TAI e posterior a acção térmica efetiva sofrida da secção JOG16N-5. (Adaptado autor, 2023).....	44

LISTA DE ANEXOS

Anexos 1. Componentes orgânicos particulados encontrados em lâminas orgapalinologica da secção JOG16N-5, analisado sob luz branca transmitida com objectiva 40x, numa escala de 20µm.	ii
Anexos 1.1. Estampa 1 e legenda.....	iii
Anexos 1.2. Estampa 2 e legenda.....	iii
Anexos 1.3. Estampa 3 e legenda.....	iv
Anexos 2. Variação dos valores percentuais dos subgrupos de componentes da matéria orgânica.v	
Anexos 2.1. Grupo dos fitoclastos e legenda	vi
Anexos 2.2. Grupo dos palinomorfos e legenda	vi
Anexos 2.3. Grupo da matéria orgânica amorfa e legenda	vii
Anexos 3. Kimberlitos do Graben de Metangula; Fonte: Adaptado de Key et al., 2007.....	vii
Anexos 4. Ficha de contagem de componentes particulados da matéria orgânica.....	viii

Anexos 5. Valores percentuais dos grupos e subgrupos da matéria orgânica da secção JOG16N-5

.....ix

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS

DNG - Direção Nacional de Geologia e Minas	mm - Milímetros
E - Este	M.a - Milhões de anos
et al. - e outros	MAE - Ministério da Administração Estatal
Fig - Figura	MNG - Museu Nacional de Geologia
FO - Fitoclasto opaco	MO - Matéria orgânica
FNO - Fitoclasto não opaco	MOA - Matéria orgânica amorfa
g - Grama	N - Norte
g/cm³ - Grama por centímetro cúbico	P - Profundidade
HCl - Ácido clorídrico	PAST - Paleontological statistic
HF - Ácido fluorídrico	Ph - Potencial de hidrogénio
ICE - índice de coloração de esporos	PL - Palinómorfos
JOG - Japan Oil, Gas	TAI - Índice de Alteração Térmica
JOGMEC - Japan Oil, Gas and Metal National Corporation	Tab - Tabela
KLIP - Karoo Large Igneous Province	S - sul
KSa - Formação do Monte Lilonga	SGK - Supergupo do Karoo
KSb - Formação de Fubue	SW - Sudoeste
KSc - Formação Mecondece, Moola e Congresso	W - Oeste
KSd - Formação de Tende e Matchedje	ZnCl₂ - Cloreto de Zinco
KSe - Formação de Lupilichi	µm - Micrómetros
m - Metro	

<u>Conteúdo</u>	<u>ÍNDICE</u>	<u>Pagina</u>
AGRADECIMENTOS		i
DECLARAÇÃO DE HONRA.....		iii
DEDICATÓRIA		iv
RESUMO.....		v
LISTA DE FIGURAS.....		vi
LISTA DE TABELAS		viii
LISTA DE ANEXOS.....		viii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS.....		xi
1. INTRODUÇÃO		1
1.1. Problematização		2
1.2. Justificativa/ Relevância de Estudo.....		2
1.3. Objectivos		3
1.3.1. Objectivo geral.....		3
1.3.2. Objectivos específicos		3
2. MATERIAIS E MÉTODOS		3
2.1. Materiais		3
2.2. Metodologia		4
2.2.1. Pesquisa Bibliográfica		4
2.2.2. Amostragem.....		5
2.2.2.1. Descrição do testemunho de sondagem		6
2.2.3. Trabalho laboratorial.....		8
2.2.3.1. Preparação das amostras.....		8
2.2.4. Análises Microscópicas (Análise visual do querogénio).....		10
2.2.4.1. Análise quantitativa do querogénio		10
2.2.4.1.1. Identificação e Contagem dos componentes orgânicos particulados.....		10
2.2.4.1.2. Tratamento estatístico e representação de dados		12

2.2.4.1.3. Análise de Agrupamento.....	12
2.2.4.1.4. Interpretações paleoambientais	12
2.2.4.2. Análise qualitativa do querogénio	14
2.2.4.2.1. Maturação Térmica da Matéria Orgânica	14
2.2.4.2.1.1. Índice de Coloração de Esporos (ICE).....	15
2.2.4.2.1.2. Índice de Alteração Térmica (Thermal Alteration Index – TAI).....	16
2.5. Trabalho de Gabinete	17
2.5.1. Softwares usados.....	17
2.6. Elaboração do relatório final.....	17
3. GENERALIDADES DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.1. Enquadramento Geográfico.....	18
3.1.1. Localização Geográfica da Área de Estudo	18
3.2. Topografia e relevo	18
3.3. Clima e vegetação	19
3.4. Hidrografia.....	19
3.5. Enquadramento Geológico.....	19
3.5.1. Geologia Regional	19
3.5.2. Karoo da África Central e Austral	19
3.5.3. Karoo do Graben de Metangula	20
3.5.4. Estratigrafia de sequências sedimentar do Graben de Metangula	21
3.5.4.1. Karoo inferior.....	22
3.5.4.2. Karoo Médio	22
3.5.4.3. Karoo Superior.....	23
3.5.4.4. Descrição da formação em estudo	23
3.6. Elementos estruturais e tectónicos do Graben de Metangula	24
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
4.1. Conceitualização	24

4.2. Composição orgânica.....	24
4.3. Querogénio.....	25
4.3.1. Classificação do querogénio	25
4.3.1.1. Grupo dos Fitoclastos	26
4.3.1.2. Grupo dos Palinomorfos	28
4.3.1.3. Grupo da Matéria Orgânica Amorfa	28
4.4. Tendências na distribuição do querogénio.....	30
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	31
5.1. Análise visual do querogénio.....	31
5.1.1. Identificação e caracterização dos componentes do querogénio	31
5.1.1.1. Grupo dos Fitoclastos	31
5.1.1.2. Grupo dos Palinomorfos	31
5.1.1.3. Grupo da Matéria Orgânica Amorfa	31
5.2. Tratamento estatístico e representação de dados	32
5.3. Análise de agrupamento.....	34
5.3.1. Associação de Palinofácies CD	35
5.3.2. Associação de Palinofácies C	36
5.3.3. Associação de Palinofácies D	37
5.4. Interpretação paleoambiental	38
5.5. Maturação Térmica da Matéria Orgânica	41
5.6. Potencial Gerador de Hidrocarbonetos	44
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
6.1. Conclusões	46
6.2. Recomendações.....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA.....	48
ANEXOS.....	i

1. INTRODUÇÃO

O Graben de Metangula, também conhecido como “Mancha do Lago abrange uma área de aproximadamente 8.000 km² do território Moçambicano, estendendo-se pela Tanzânia, até a costa do Quênia (Verniers et al., 1989). A bacia é considerada intracratónica, com estrutura em graben e semi-graben, preenchida por rochas sedimentares do Karoo, circundadas por rochas fortemente metamorfizadas ou rochas ígneas do Pré-Câmbrico (Verniers et al., 1989).

Nas últimas décadas, estudos efectuados por diversos autores, na Bacia Carbonífera de Maniamba, tais como: Amaro (1950); Vincente et al (1950); Borges et al. (1952); Antunes (1975); De Bock (1983), Verniers et al (1989), Norconsult (2007); Castanhinha et al. (2013); Vale Mocambique (2014); JOGMEC (2015); Araújo et al (2020); Macungo et al (2020); Nhamutole et al (2021) e algumas teses de Licenciatura tais como: Nhassengo (2016); Paz (2018); Cumbane (2021); Cucheque (2022); Cumbane (2022) e Zimba (2022) têm estudado a bacia de Maniamba do ponto de vista estratigráfico, biostratigráfico, sedimentológico e fósseis de vertebrados. Poucos trabalhos de interesse científico e económico foram efectuados nesta porção da bacia com a finalidade de definir o potencial de ocorrência de hidrocarbonetos, destacando-se os trabalhos de Nobre (2022); Boi (2023); Maria (2023) e Nhamutole et al (2023) através da análise visual do querogénio, caracterizou o conteúdo orgânico com objectivo de determinar o potencial ocorrência para geração de hidrocarbonetos. No entanto, apesar dos trabalhos realizados, o potencial de geração de hidrocarbonetos na área de estudo, ainda não é muito bem conhecido, uma vez que faltam informações, dados geológicos e análises feitas no campo sobre o possível potencial de geração de hidrocarbonetos.

Análise visual do querogénio, também conhecida como análise de palinofácies, refere-se ao estudo palinológico dos ambientes de deposição e do potencial de rochas como fontes de hidrocarbonetos. Este método baseia-se na avaliação abrangente dos componentes da matéria orgânica particulada, conforme proposto por (Tyson, 1995). A análise das palinofácies possibilita a interpretação dos paleoambientes nos quais a matéria orgânica foi depositada, assim como das condições durante e após a sedimentação. Essa técnica também é eficaz na avaliação da quantidade, qualidade da matéria orgânica e maturação térmica especialmente em relação à geração de hidrocarbonetos. Neste contexto, o presente projecto científico pretende avaliar o potencial gerador de hidrocarbonetos na secção JOG16N-5 da formação K4 na Bacia de Maniamba, utilizando a técnica de palinofácies, visando ampliar os conhecimentos dos hidrocarbonetos presentes no karoo do graben de Metangula.

1.1. Problematização

A caracterização das rochas geradoras de hidrocarbonetos constitui uma informação essencial para a avaliação dos riscos que envolvem a exploração petrolífera, principalmente em bacias ainda não exploradas, como é o caso da Bacia de Maniamba.

A Bacia Carbonífera de Maniamba, em comparação com outras bacias sedimentares de Moçambique, é menos conhecida, recebendo pouca atenção no estudo das rochas geradoras para auxílio à pesquisa de hidrocarbonetos. As investigações existentes se limitaram à descrição da qualidade do carvão e da geologia, conforme apontado por Amaro (1950), Borges et al. (1950), Vincente et al. (1950), De Bock (1983), ECL & ENH (2000), além de abordagens superficiais sobre sistemas deposicionais realizadas por Vernieres et al. (1989), Vasconcelos & Achimo (2010) e Paz (2018). No entanto, há escassez de trabalhos que abordem informações sobre as condições de deposição, história térmica e do potencial de geração de hidrocarbonetos. Alguns desses estudos mais recentes incluem as contribuições de Nobre (2022), Boi (2023), Maria (2023) e Nhamutole et al. (2023), sendo esses dados de extrema importância para a indústria do petróleo.

Segundo pesquisas conduzidas por (ECL & ENH, 2000), a Bacia Carbonífera de Maniamba apresenta características geológicas que indicam potencial para a presença de hidrocarbonetos como gás seco. Entretanto, essas características ainda não são totalmente compreendidas, destacando a importância de aprofundar estudos nessa bacia. A partir dessa premissa, há necessidade de fazer-se um estudo detalhado que auxilie na compreensão mais aprofundada das rochas geradoras de hidrocarbonetos na bacia em estudo. Mediante esta problemática, a pesquisa pretendeu responder as seguintes questões científicas: *Quais são os paleoambientes deposicionais da formação K4? Qual é o grau de evolução térmica dos sedimentos da formação K4? Será que a formação K4 possui potencial para geração de Hidrocarbonetos?*

1.2. Justificativa/ Relevância de Estudo

A escolha do tema aqui abordado deve-se, principalmente, à carência de dados e de trabalhos publicados referentes à Bacia de Maniamba, em especial, do seu potencial para geração de hidrocarbonetos de modo quantitativo e qualitativo.

O presente Projecto científico é de extrema importância, uma vez que a área de estudo foi muito pouco estudada através da técnica de análise visual do querogénio e fácies orgânicas, permitindo assim actualizar as informações já existentes e adicionar mais conhecimentos importantes que podem estar relacionados com as condições deposição dos sedimentos, a história térmica dos sedimentos e do potencial de geração de hidrocarbonetos.

Por outro lado, um estudo detalhado desta bacia vai ajudar as entidades e os responsáveis de projectos na área de hidrocarbonetos na contribuição para o planeamento energético, reduzindo os riscos que envolvem a exploração de hidrocarbonetos, maximizando cada vez mais os benefícios económicos. Assim como também pode despertar interesse no estudo de outras áreas com características geológicas similares e testar se as técnicas podem ser aplicados para descoberta de novas áreas potenciais.

1.3.Objectivos

Considerando o contexto, a pesquisa a ser desenvolvida tem os seguintes objectivos:

1.3.1.Objectivo geral:

- ❖ Avaliar o potencial gerador de hidrocarbonetos na secção JOG16N-5 da formação K4 na Bacia de Maniamba.

1.3.2. Objectivos específicos:

- ❖ Identificar e quantificar os componentes orgânicos presentes nos sedimentos da formação K4;
- ❖ Individualizar as palinofácies para caracterização dos paleoambientes deposicionais;
- ❖ Determinar a maturação térmica dos sedimentos através do Índice de Coloração de Esporos (ICE) e Índice de Alteração Térmica (TAI);
- ❖ Classificar o querogénio e determinar o potencial gerador de hidrocarbonetos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos todos os materiais e métodos utilizados de modo a responder aos objectivos traçados para elaboração do presente trabalho.

2.1. Materiais

Para efectivação do presente trabalho foram necessários os seguintes materiais listados abaixo:

- ❖ **Equipamentos de Protecção Individual (EPI's):** botas, luvas, óculos, máscaras, capacete e reflector;
- ❖ **Testemunho de sondagem:** JOG16N-5, testemunho colhido na Formação K4 do Graben de Metangula, com as coordenadas: 12°33'36.62''S e 34° 58'46.45''E;
- ❖ **Materiais de limpeza:** água corrente, baldes e esponja húmida (usados para a remoção da poeira);
- ❖ **Fita-métrica:** para medir a profundidade de retirada da amostra;
- ❖ **Martelo:** para a fragmentação da amostra;
- ❖ **Saco plástico:** para armazenar a amostra;

- ❖ **Papel branco A4:** para a produção de etiquetas;
- ❖ **Telemóvel:** usada para fotografar algumas imagens durante a elaboração do trabalho;
- ❖ **Lâminas organopalinológicas:** para concentração do resíduo orgânico;
- ❖ **Microscópio óptico de luz branca transmitida Leica Dm 500:** para análise quantitativa e qualitativa dos componentes orgânicos particulados;
- ❖ **Microscópio óptico de luz branca transmitida e refletida Olympus BX-43 com câmara acoplada (Olympus EP50):** para captura de microfotografias dos componentes de matéria orgânica em alta resolução;
- ❖ **Tabelas:** para a contagem de componentes de matéria orgânica;
- ❖ **Material de escritório:** (papel, canetas, lápis, caderneta, borracha, etc);
- ❖ **Materiais diversos:** marcador, régua, calculadora, e computador.

2.2. Metodologia

Para alcançar os objectivos supracitados no capítulo I, foram utilizados os seguintes métodos, conforme é ilustrado no fluxograma da (Fig. 1).

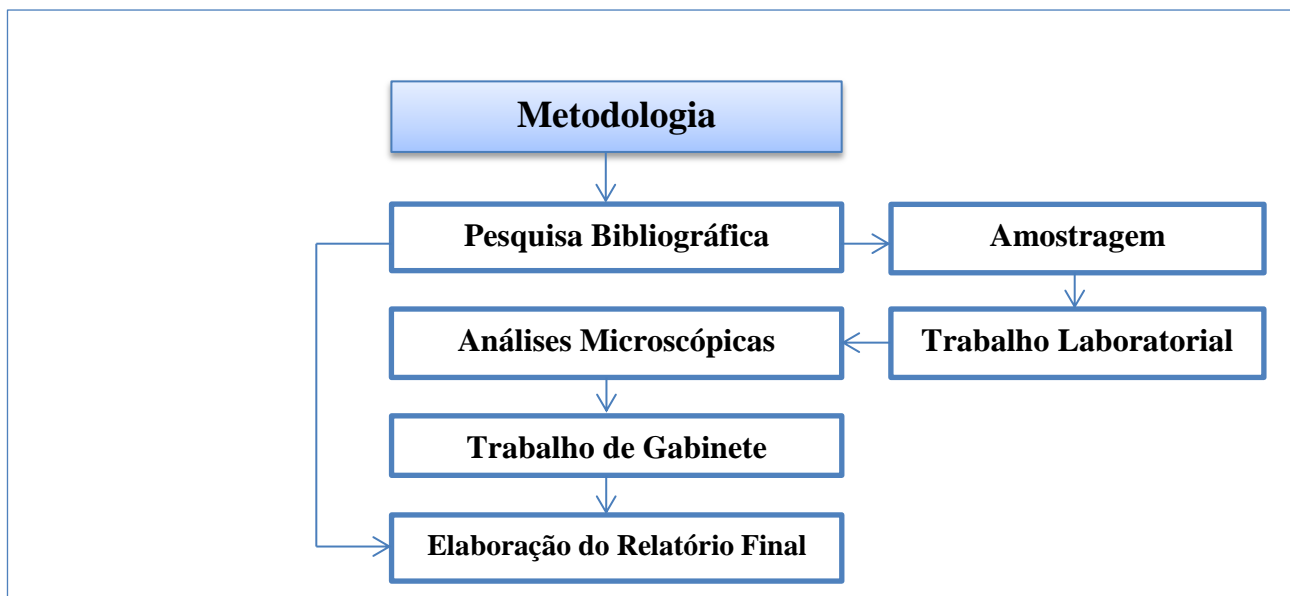


Figura 1: Fluxograma mostrando as etapas seguidas no presente trabalho de pesquisa.

2.2.1. Pesquisa Bibliográfica

Esta etapa consistiu na recolha de informações necessárias para elaboração do projecto final, para tal, recorreu-se a relatórios, artigos científicos, livros e teses. A pesquisa bibliográfica teve como objectivo principal obter o máximo de informações relacionadas ao estudo de palinofácies. Entretanto, teve como suporte as obras de Tyson (1993 & 1995) e Mendonça (1999).

Assim como a literatura acerca dos estudos já realizados no Graben de Metangula, citando-se Verniers et al. (1989); ECL & ENH (2000); Vasconcelos & Achimo (2010); Castanhinha et al (2013); JOGMEC (2015); Paz (2018); Araújo et al (2020); Macungo et al (2020); Nhamutole et al (2021); Nobre (2022); Zimba (2022); Boi (2023); Maria (2023) e Nhamutole et al (2023), acervos estes disponíveis no Museu Nacional de Geologia (MNG) e nos sítios da internet.

2.2.2. Amostragem

As amostras utilizadas nesse trabalho foram colectadas a partir do testemunho de sondagem JOG16N-5 (12°33'36.62''S e 34° 58'46.45''E), perfurado pela empresa *Japan Oil, Gas and Metal National Corporation (JOGMEC)* na bacia de Maniamba, localizada no distrito de Lago, província do Niassa, região Norte de Moçambique.

A amostragem foi realizada no Laboratório da Direcção Nacional de Geologia e Minas (DNGM), sob orientação do supervisor MSc. Nelson Nhamutole do Museu Nacional de geologia e da Universidade de Witwatersrand, África do Sul.

No entanto, foram colhidas 20 amostras entre o intervalo de 18.80 m e 58.88 m do testemunho de sondagem JOG16N-5, com 213 m de profundidade, de acordo com os tipos litológicos e o seu potencial para estudo da matéria orgânica.

A amostragem consistiu na colecta sistemática e representativa das amostras de rochas clásticas de granulometria fina, coloração escura e não oxidados (siltitos, arenitos siltitos e xistos carbonosos) por constituírem sedimentos ricos em matéria orgânica.

Para a colecta, primeiramente foi feita limpeza dos testemunhos de sondagem, com esponja e água para uma melhor visibilidade das litologias, depois de identificados as litologias de rochas de granulometria fina e coloração escuros e não oxidados, usou-se o martelo para quebrar as amostras (100g) em algumas profundidades de forma aleatória, de seguida fez-se a medição da profundidade onde foi tirada cada amostra e colocou-se etiquetas nos mesmos lugares e nos sacos plásticos de modo a evitar contaminação, e devidamente identificadas (Fig. 2).

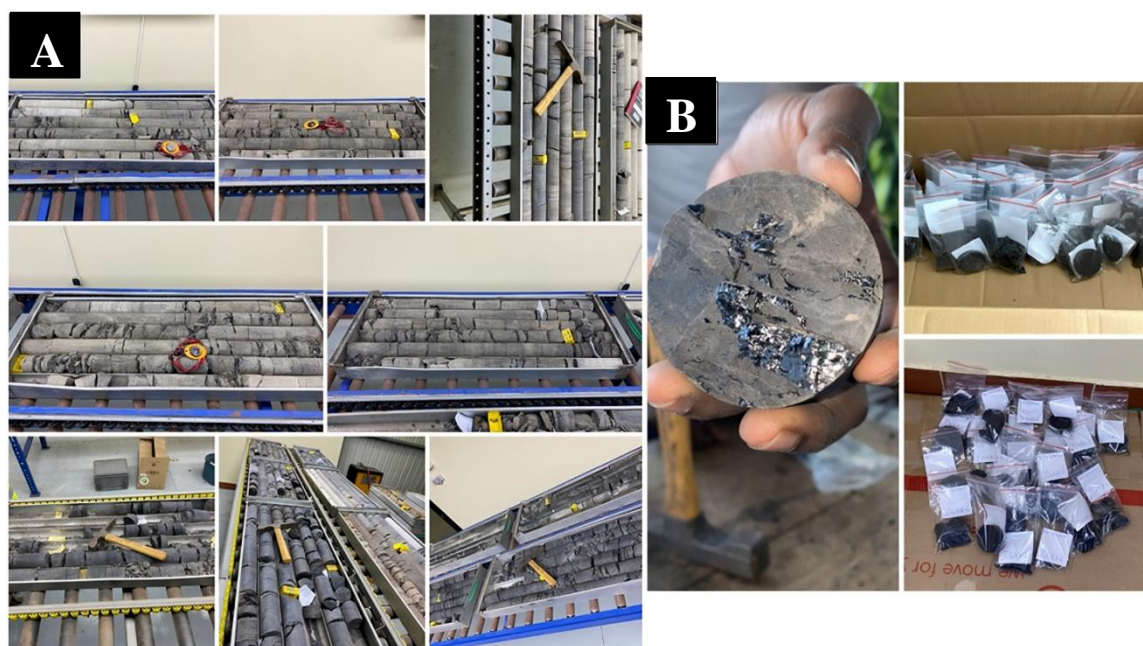


Figura 2: A) Testemunhos de sondagem do furo JOG16N-5 usados para amostragem na DNGM; B) Amostras etiquetadas e prontas para o processamento laboratorial.

2.2.2.1. Descrição do testemunho de sondagem

Foi realizada a descrição litológica do testemunho de sondagem do furo JOG16N-5, utilizado nesse trabalho e por fim a confecção do log sedimentar.

Nesta perfuração, a sequência de camadas sedimentares é composta principalmente por arenitos, arenitos siltsos de cor cinzenta, arenito silito, arenito com carvão, arenito conglomerático, silito, siltitos que apresentam múltiplas camadas de carvão e intercalações carbonáceas. Em outras regiões, os arenitos apresentam cores escuras e acinzentadas. Além disso, há a presença de xistos carbonosos que contêm veios de carvão (Fig. 3).

Log Sedimentar do Furo JOG16N-5

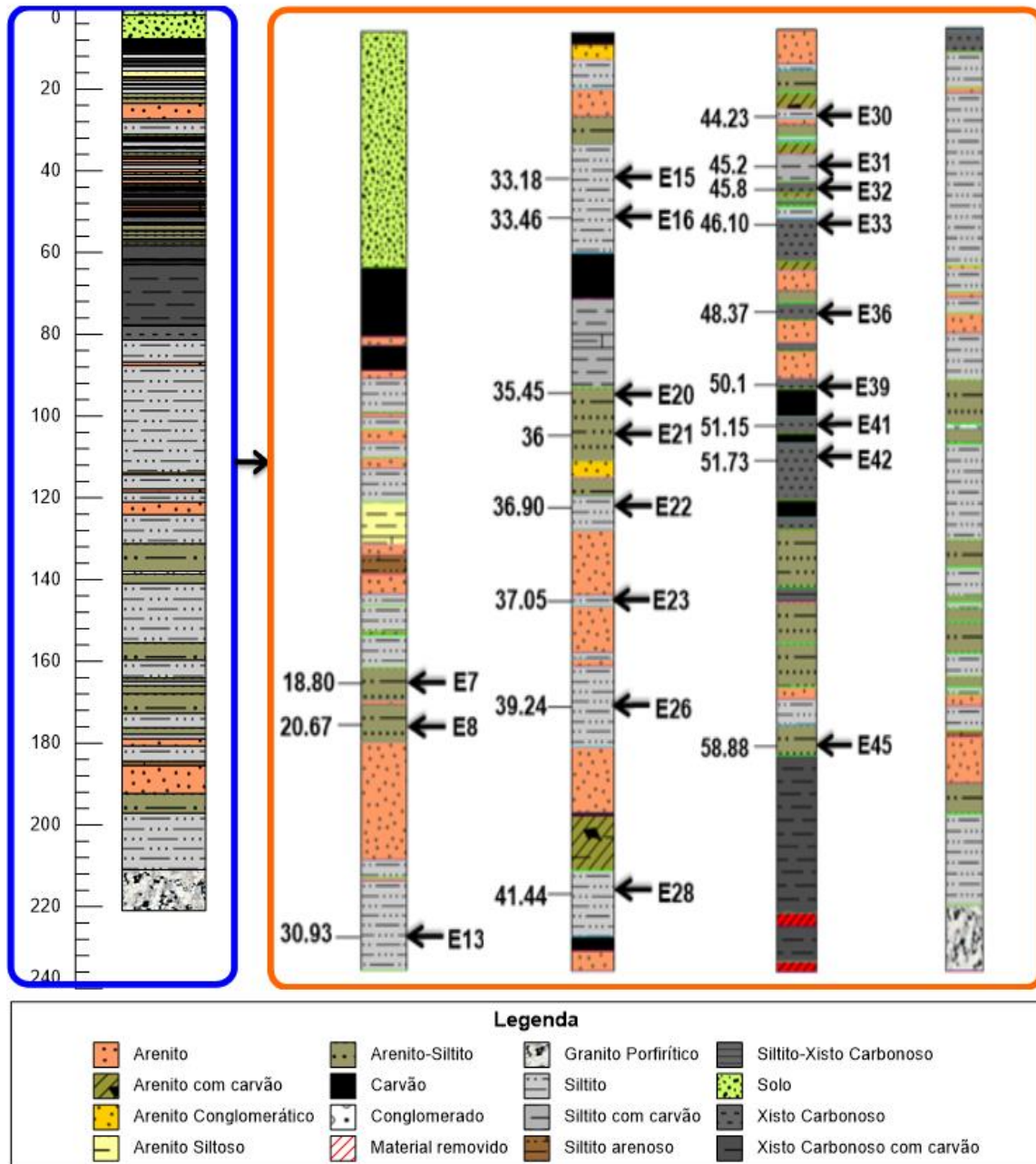


Figura 3: Log sedimentar do testemunho de sondagem JOG16N-5, com os respectivos pontos de amostragem.

2.2.3. Trabalho laboratorial

As Análises Laboratoriais, foram realizadas no Laboratório de Paleobotânica e Palinologia da escola de geociências da universidade Sul-africana de Witwatersrand, pelo supervisor MSc. Nelson Nhamutole do Museu Nacional de geologia e da Universidade de Witwatersrand, África do Sul.

2.2.3.1. Preparação das amostras

A preparação das amostras foi realizada utilizando os procedimentos palinológicos padrões não-oxidativos descritos por Tyson (1993). O objectivo principal dessa preparação é concentrar ao máximo o material orgânico particulado contido nas amostras. O procedimento inicial consistiu na fragmentação mecânica (20g) e peneiração para reduzir o tamanho e conseqüentemente facilitar a reacção com os ácidos. As amostras foram peneiradas com uma peneira de 250 μm para que os fragmentos menores fossem descartados.

A primeira etapa do processamento químico consistiu na acidificação da amostra com o ácido clorídrico (HCl) para eliminação da fração carbonática. Na segunda etapa consistiu na acidificação da amostra com o ácido fluorídrico (HF) para eliminação da fração silicosa. A amostra foi novamente acidificada com (HCl) para eliminação dos possíveis cristais de fluoreto que podem ter-se formado na etapa anterior. Novamente foi acidificada com cloreto de zinco (ZnCl_2) para separação por flotação da fração orgânica. A fracção sobrenadante (material orgânico) foi retirada para a confecção das lâminas organopalinológicas e o precipitado foi descartado. Ao final de cada adição de ácidos, foi feita a lavagem com água destilada, até que o pH se neutralizasse ($\text{pH}=7$) e foi necessário deixar decantar para que os componentes orgânicos se depositem (baseado em Tyson, 1993). Ao final desse processo, obtém-se o resíduo orgânico na qual são confeccionadas lâminas organopalinológicas para a análise de visual do querogénio (Fig. 4 e 5).

❖ Montagem das lâminas organopalinológicas

Para a preparação das lâminas organopalinológicas colocou-se o resíduo orgânico sobre as lamínulas juntamente com cellosize, de seguida as lamínulas foram colocadas em uma chapa aquecida até a completa secagem. Por fim, utilizou-se Entellan (resina) para colar as lamínulas em lâminas de vidro, que depois de secas foram devidamente identificadas e disponibilizadas para análises microscópicas (Fig. 4).

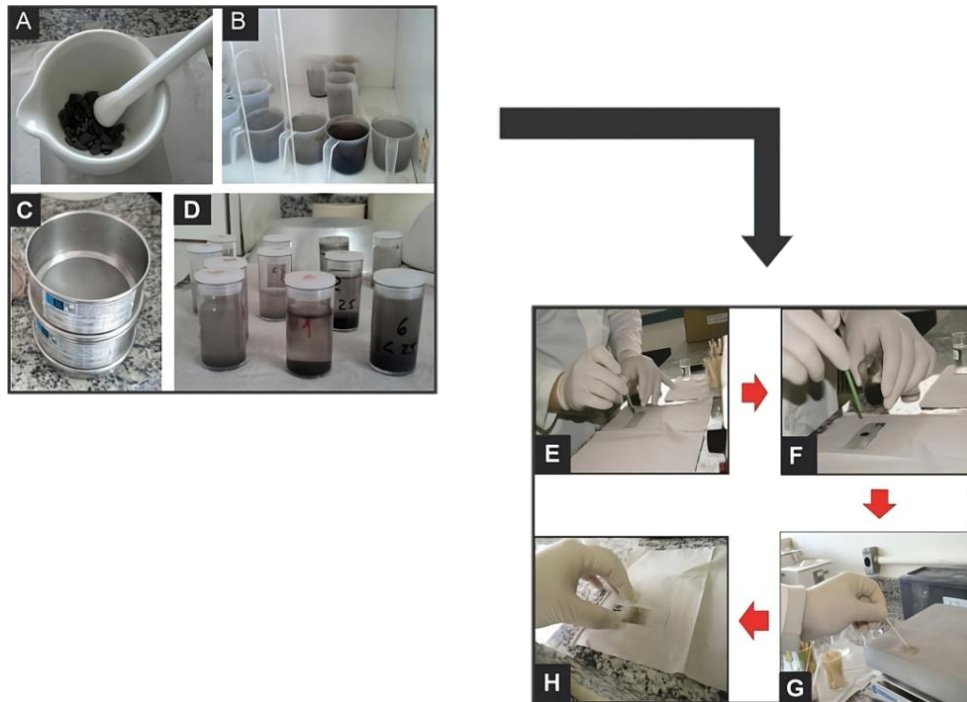


Figura 4: Etapas do processamento palinológico: A) Maceração das amostras; B) Dissolução das amostras em HCL e HF; C) Peneiras; D) Resíduos palinológicos; E) e F) colocação do resíduo orgânico sobre a lâmina com auxílio de um palito; G) lamínula em chapa aquecida; H) Lâmina organopalinológicas.

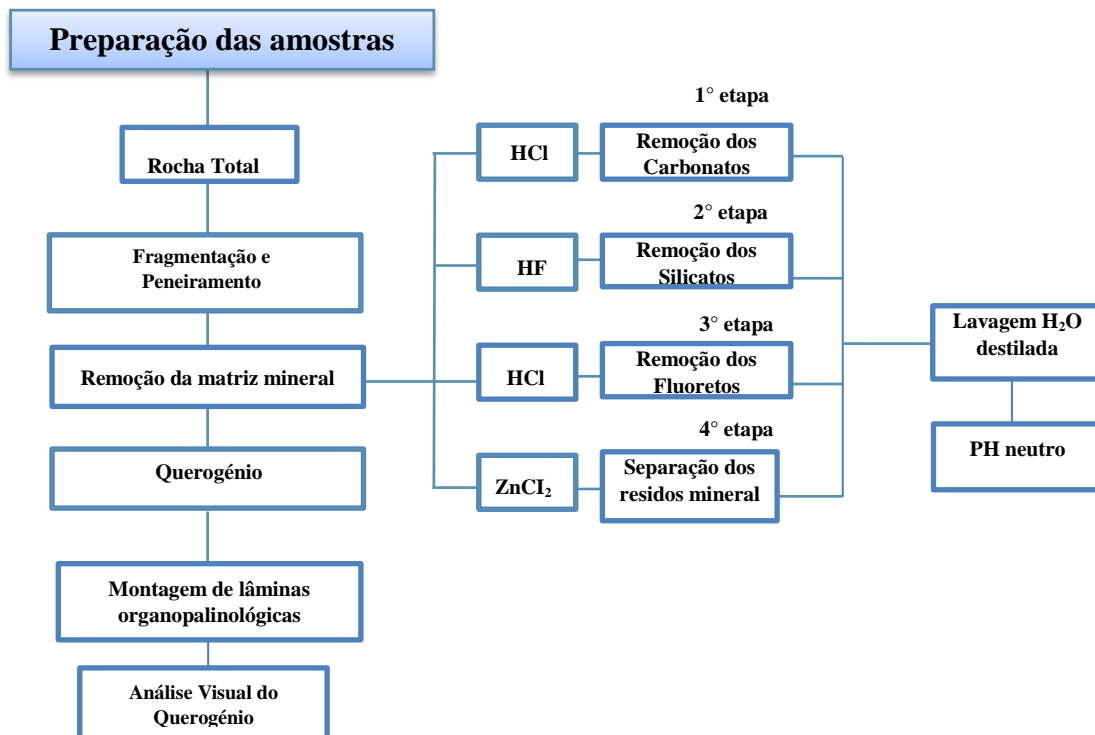


Figura 5: Fluxograma das etapas de preparação das amostras para análises visual do querogénio, segundo a metodologia de Tyson (1993).

2.2.4. Análises Microscópicas (Análise visual do querogénio)

As análises microscópicas foram realizadas no Museu Nacional de Geologia (MNG).

Para análise visual do querogénio foi realizado, em cada lâmina, o exame quantitativo (identificação e contagem de 300 partículas) e qualitativo (identificação das partículas) dos grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada. Além disso, foi conduzida a análise do Índice de Coloração de Esporos (ICE) e do Índice de Alteração Térmica (TAI), visando a determinação do estágio de maturação térmica das amostras (Fig.6).

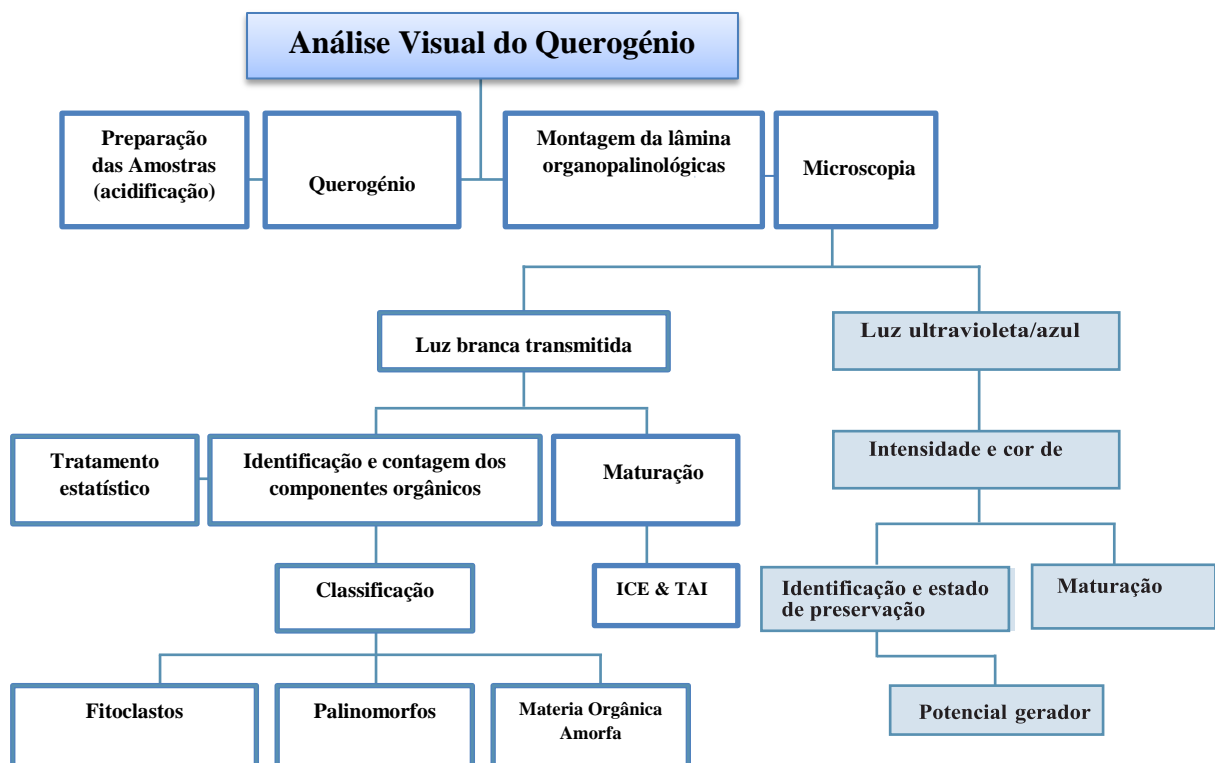


Figura 6: Fluxograma de etapas de análise visual do querogénio, segundo a metodologia de Tyson (1995).

2.2.4.1. Análise quantitativa do querogénio

2.2.4.1.1. Identificação e Contagem dos componentes orgânicos particulados

Primeiramente foi feita uma varredura geral em cada lâmina para contagem das 300 partículas, utilizando, o microscópio de luz branca transmitida, LEICA DM 500 e reflectida, Olympus BX-43, com objectiva de 40X, através de seções transversais verticais, na qual foram contadas as partículas que passavam pelos retículos cruzados (Fig. 7; 8) (Tyson, 1995; Mendonça, 1999). É importante ressaltar que, eventualmente a objectiva de 100x com óleo de imersão foi utilizada para melhor visualização das partículas, e a objectiva de 40x para partículas individuais e 4x para microfotografias panorâmicas das associações de Palinofácies.

Os dados de contagem foram registrados e recalculado manualmente em ficha de contagem (Anexos 4) obedecendo a classificação proposta por Tyson (1993; 1995) e Mendonça et al., (2010). Esta assembleia orgânica foi classificada por meio de propriedades ópticas: como tipo de organismo, a forma, estrutura e cor (Coelho et al., 2014). As partículas identificadas, foram subdivididas em três grupos principais do querogénio: (Fitoclastos, Palinomorfos e Matéria orgânica amorfa). Em seguida calculou-se a percentagem relativa de cada grupo. Dentro dos grupos principais do querogénio foram avaliadas as subcategorias, para cálculo de percentagem individual de cada grupo (Tyson, 1993).

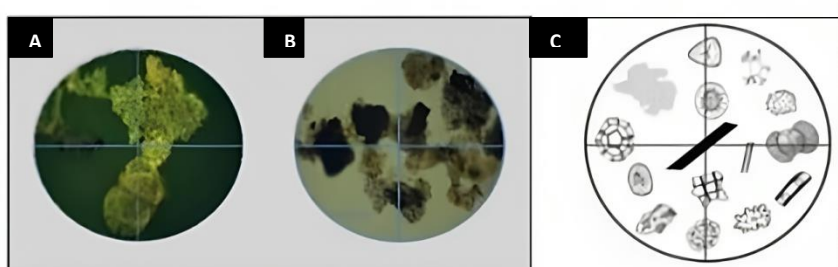


Figura 7: Ilustração do processo de contagem de componentes orgânicos. **A)** modo de fluorescência; **B)** Luz branca transmitida, na qual, somente são contadas partículas que estão sobre o retículo graduado, como mostrado em **(C)** (Mendonça et al., 2010; 2011; 2012).

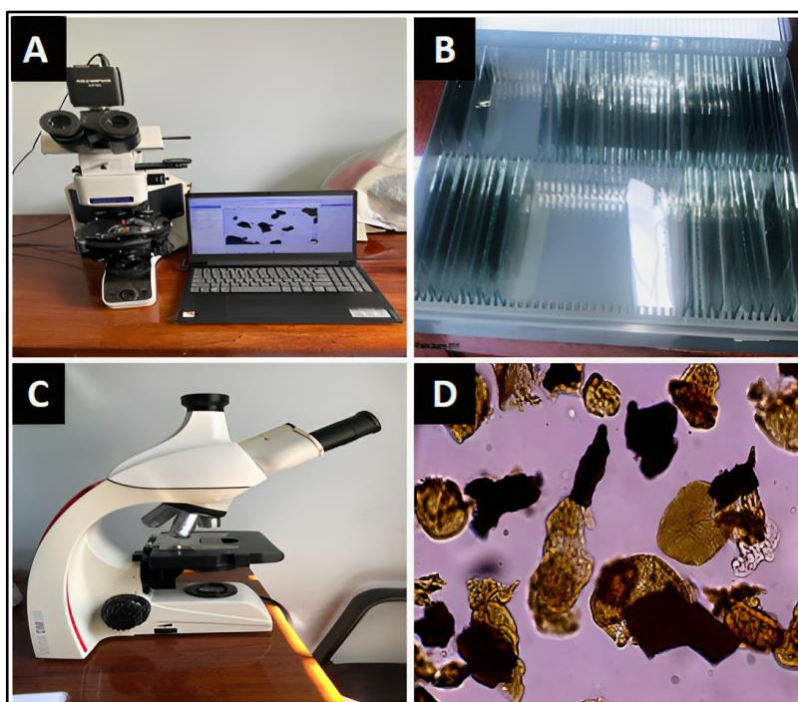


Figura 8: Fase de análise microscópica em laboratório (Museu Nacional de Geologia). **A)** Computador acoplado ao Microscópio olympus BX-43 para microfotografar partículas orgânicas; **B)** lâminas organopalinológicas; **C)** Microscópio óptico de luz branca transmitida Leica Dm 500; **D)** componentes orgânicos analisados ao microscópio óptico de luz branca transmitida.

2.2.4.1.2. Tratamento estatístico e representação de dados

A partir da avaliação quantitativa dos componentes orgânicos particulados, procedeu-se à aplicação de um tratamento estatístico aos dados. Essa análise tem como objectivo, proporcionar uma melhor compreensão dos resultados obtidos, os dados foram transformados em valores percentuais e normalizados para 100%. Em seguida, diagramas e gráficos foram elaborados para apresentar de forma clara a proporção de cada componente presente nas amostras.

2.2.4.1.3. Análise de Agrupamento

Com base na abundância e composição do querogénio presente nas amostras, a análise de agrupamento (modo-Q) foi utilizada para formar grupos que apresentam maior afinidade. Esse método permitiu agrupar os grupos e subgrupos em populações de componentes orgânicos que possuem características semelhantes em termos de abundância, possibilitando a classificação desses componentes em populações similares.

2.2.4.1.4. Interpretações paleoambientais

Quanto as interpretações dos paleoambientes deposicionais, foram utilizadas duas classificações em diagramas ternários. A primeira corresponde à classificação proposta por Tyson (1993;1995), a qual leva em consideração a combinação dos dados de palinofácies, que forneceram informações sobre as tendências paleoambientais e a tendências proximais-distais. Essa interpretação é sugerida a partir do uso de diagramas ternários de Tyson (1993;1995), que descreve nove campos de palinofácies correspondentes a diferentes paleoambientes. Esse diagrama utiliza os valores percentuais dos três grupos principais do querogénio: (Fitoclastos, Palinomorfos e Matéria orgânica amorfa) (Fig. 9) (Tab. 1).

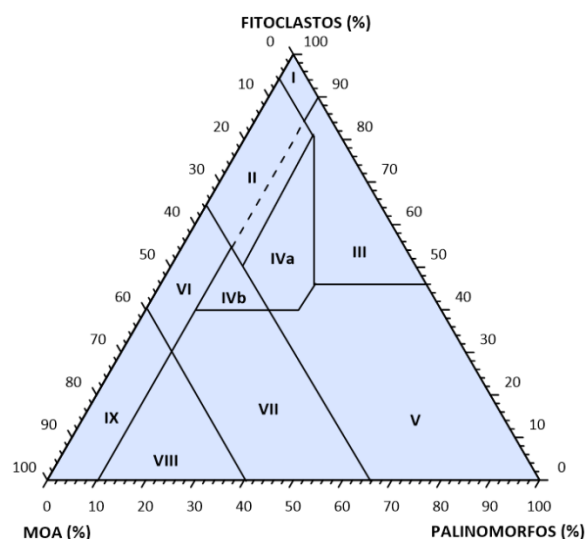


Figura 9: Diagrama ternário com os campos de palinofácies definidos pelos valores percentuais dos principais componentes da matéria orgânica (modificado de Tyson 1993, 1995).

CAMPOS DE PALINOFÁCIES	CARACTERÍSTICAS DEPOSICIONAIS DA MATÉRIA ORGÂNICA	TIPOS DE QUEROGÉNIO
I	Bacia ou plataforma altamente proximal <i>Alto suprimento de fitoclastos dilui todos os outros componentes</i>	III (Propenso a gás)
II	Bacia marginal disóxica-anóxica <i>MOA diluída pelo alto suprimento de fitoclastos, mas com moderada a boa preservação. Qualidade de COT marinho depende do estado redox da bacia.</i>	III (Propenso a gás)
III	Plataforma óxica heterolítica (“plataforma proximal”) <i>Geralmente baixa taxa de preservação de MOA, abundância absoluta de fitoclastos depende da proximidade de fontes flúvio-deltaicos. Oxidação e retrabalhamento comuns.</i>	III ou IV (Propenso a gás)
IV	Transição plataforma-bacia <i>Transição plataforma-bacia no tempo (e.g. aumento de subsidência/profundidade da lâmina d'água) ou espaço (talude). Abundância absoluta de fitoclastos depende da proximidade da fonte fluvial e do grau de redeposição. Qualidade de COT marinho depende do estado redox da bacia. IVa: disóxico. IVb: subóxico-anóxico.</i>	III ou II (Principalmente propenso a gás)
V	Plataforma óxica dominada por lama (“plataforma distal”) <i>Baixa a moderada MOA (geralmente degradada). Palinomorfos abundantes. Margas de coloração clara, bioturbadas são comuns.</i>	III > IV (Propenso a gás)
VI	Plataforma proximal subóxica-anóxica <i>Boa taxa de preservação de MOA, bacia apresenta condições redutoras. Conteúdo de fitoclastos deve ser moderado a alto, devido ao input de turbiditos e/ou proximidade da fonte flúvio-deltaica.</i>	II (Propenso a óleo)
VII	“Plataforma” distal disóxica-anóxica <i>MOA dominante a boa taxa de MO, baixo a moderado conteúdo de palinomorfos, Lamitos escuros bioturbados são comuns.</i>	II (Propenso a óleo)
VIII	Plataforma distal disóxica-óxica <i>MOA dominante, excelente taxa de preservação. Baixo a moderado conteúdo de palinomorfos. Folhelhos ricos em matéria orgânica são depositados sob condições de coluna d'água estratificada.</i>	II >> I (Propenso a óleo)
IX	Bacia distal subóxica-anóxica/Plataforma carbonática/Marinho Restrito <i>MOA dominante. Baixo conteúdo de palinomorfos. Frequentemente rico em alginitas. Depósitos de águas profundas ou depósitos de condições de coluna d'água estratificada ou sedimentos de bacia faminta.</i>	II ≥ I (Altamente propenso a óleo)

Tabela 1: Paleoambientes definidos pelos campos de palinofácies, com as respectivas características e tipos de querogénio (Tyson, 1993).

A segunda classificação foi proposta por Hacquebard e Donaldson (1969), na qual fornece informações sobre os leitos deposicionais. Esta classificação apoia-se na razão dos constituintes orgânicos como os fitoclastos opacos, palinomorfos + fitoclastos não opacos e Moa (Fig. 10).

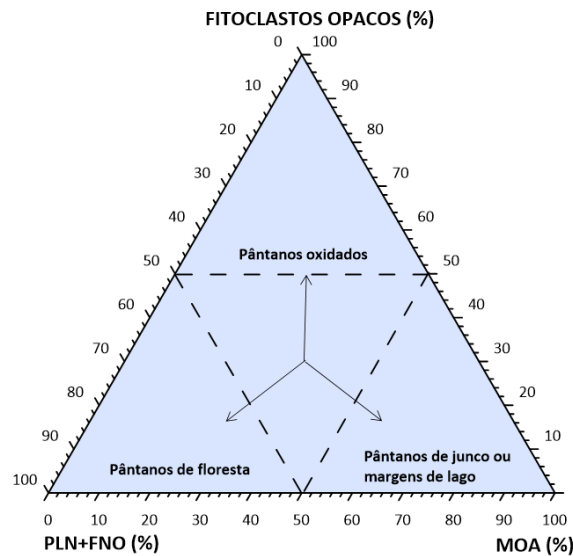


Figura 10: Diagrama ternário de paleoambiente deposicional de leitos (Hacquebard & Donaldson, 1969).

2.2.4.2. Análise qualitativa do querogénio

2.2.4.2.1. Maturação Térmica da Matéria Orgânica

Maturação é o processo químico que ocorre na matéria orgânica sedimentar quando essa é submetida ao soterramento, isto é, ao aumento gradual de temperatura e pressão durante um período de tempo geológico. Essas condições de temperatura e pressão modificam a composição química da matéria orgânica, afectando suas propriedades e qualidade (Miles, 1989).

Para determinar o grau de maturação térmica nas amostras foram empregues os seguintes métodos: Índice de Coloração de Esporos (ICE) e o Índice de Alteração Térmica (IAT). Esses métodos medem o grau de maturação térmica utilizando a microscopia de luz branca transmitida em lâminas organopalinológicas, tendo como referência o grupo dos palinomorfos, também conhecidos como esporomorfos (grãos de pólen e esporos), na qual são atribuídos valores numéricos às suas variações de coloração (Spigolon, 2003). Para cada amostra previamente selecionada, especialmente aquelas que possuíam uma grande quantidade de esporomorfos, a cor predominante foi identificada como um indicador, e a variação de cor dos componentes foi comparada com a escala numérica padrão da *Robertson Research International Limited*, conforme ilustrado na (Fig. 11).

2.2.4.2.1.1. Índice de Coloração de Esporos (ICE)

Para Barnard et al. (1981), o ICE baseia-se na coloração de componentes orgânicos presentes nas rochas sedimentares pertencentes ao grupo dos esporomorfos (esporos e grãos de pólen), os quais sofrem com o efeito da evolução térmica, ficando progressivamente mais escuros à medida que a temperatura aumenta. As medidas do ICE são determinadas em lâminas organopalinológicas sob microscopia de luz transmitida, utilizando como referência as lâminas-padrão da *Robertson Research International Limited*, calibrado em escala de 1 a 10, sendo imaturas de 1 à 5, maduras de 5 à 8 e supermaturo 8 à 10. A escala é dividida em intervalos de 0,5 conforme o aumento da profundidade e, conseqüentemente, a temperatura aumenta, ou seja por soterramento natural ou por intrusões ígneas (Fig. 11).




















ESTÁGIOS DE EVOLUÇÃO TÉRMICA	GRAU DE MATURACÃO	VARIACÃO DE CORES EM ESPOROS	INDICADORES DE MATURACÃO TÉRMICA				
			ICE	% Ro	IAT	Fluoresc. palinomorfas	T-máx °C
DIA GÊN E S E	IMATURO	 incolor	1	0.2			
		 amarelo pálido	1,5		1		
		 amarelo claro	2		1.5	verde amarela	
		 amarelo	2,5	0.3			
		 amarelo ouro	3		2		
	TRANSIÇÃO	 amarelo escuro	3,5				
		 amarelo escuro laranja	4	0.4			430
		 laranja	4,5				
		 laranja	5	0.5		amarela laranja	
		 laranja	5,5	0.6	2.5	laranja	440
C A T A GÊN E S E	MATURO	 laranja escuro	6			laranja	
		 laranja escuro	6,5	0.7			
		 laranja escuro	7	0.8		laranja marrom	
		 laranja escuro	7,5	0.9			
		 marrom escuro	8	1.0		ausente	450
M E T A GÊN E S E	SUPERMATURO	 marrom escuro	8,5	1.3	3		
		 marrom escuro preto	9	2.0	3.5		
		 preto	9,5		4		
		 preto	10	3.0	5		

Figura 11: Escala de Índice de Coloração de Esporos (ICE) & Índice de Alteração Térmica (TAI), segundo (Barnard et al., 1981).

2.2.4.2.2. Índice de Alteração Térmica (Thermal Alteration Index – TAI)

Esta técnica foi desenvolvida por Staplin (1969), é relativamente simples e rápida, de avaliação dos níveis de maturação dos concentrados de querogénio, utilizando as alterações de cor dos grãos de pólen e esporos. A escala adotada nesta técnica varia de 1 a 5 valores que representam as mudanças de cor do querogénio, indicam diferentes graus de maturidade dos palinomorfos, sendo que o amarelo corresponde a rochas imaturas, o castanho claro e o castanho a rochas maduras e o castanho-escuro e o preto a rochas supermatargas (Fig. 12).






Índice de alteração termal	1	2	3	4	5
Cor do microfóssil orgânico					
Maturidade termal	IMATURO		MATURO Fase principal de geração de petróleo		Gás ou estéril

Figura 12: Índice de alteração termal de microfósseis orgânicos (Modificado de Traverse, 1988).

2.5. Trabalho de Gabinete

Nesta fase consistiu no processamento e interpretação de dados.

2.5.1. Softwares usados

Para materialização do presente trabalho foram usados os seguintes *softwares*:

- ❖ **ArcGis 10.8:** usado para a elaboração do mapa de mapa geológico e a inserção das coordenadas geográficas do ponto da colheita da amostra;
- ❖ **Qgis:** usado para a elaboração do mapa de localização geográfico da área de estudo, e a inserção das coordenadas geográficas do ponto da colheita da amostra;
- ❖ **Adobe Illustrator CC 2015:** usado para fazer modelo deposicional hipotético da bacia em estudo;
- ❖ **Origin Pro 8.5 (64 Bit):** usado para elaborar diagrama de distribuição percentual dos grupos da matéria orgânica particulada;
- ❖ **Grapher:** usado para elaborar diagramas ternários para interpretação paleoambiental;
- ❖ **Strater 5:** usado para elaborar log sedimentar dos componentes orgânicos em função da profundidade;
- ❖ **Ep view:** programa usado em conexão com o microscópio BX-43 (câmera EP50) para captura de microfotografias;
- ❖ **Microsoft Excel 2010:** usado para tratamento estatístico dos componentes orgânicos do querogénio e gráfico de geração de hidrocarbonetos;
- ❖ **Microsoft Powerpoint 2010:** usado para elaboração de fluxogramas;
- ❖ **Microsoft Word 2010:** usado para digitalização do trabalho final;
- ❖ **Past 4.04:** para elaboração de dendogramas (gráficos de agrupamento);
- ❖ **Canva:** para elaboração de pranchas e edição de imagens.

2.6. Elaboração do relatório final

A elaboração do relatório final é o produto da compilação de toda a revisão bibliográfica relevante, a coleta e processamento de dados, a interpretação e discussão dos resultados obtidos, bem como a formulação das conclusões e sugestões.

3. GENERALIDADES DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Enquadramento Geográfico

3.1.1. Localização Geográfica da Área de Estudo

O Graben de Metangula, também conhecido como “Mancha do Lago” localiza-se na região norte de Moçambique, à Noroeste da Província do Niassa, no distrito de Lago, cobrindo cerca de 8.000 km² do território Moçambicano (Verniers et al.,1989).

O distrito de Lago é limitado a Norte pela Tanzânia, a Sul pela Cidade de Lichinga, a Este pelo distrito de Sanga e Oeste com o Lago Niassa, fazendo fronteira com a República do Malawi, conforme ilustrado na (Fig.13) (MAE, 2005).



Figura 13:Mapa de localização da área de estudo (Adaptado Autor 2023).

3.2. Topografia e relevo

Em termos geomorfológicos, o graben de Metangula é uma fossa tectônica que apresenta pontos elevados (montanhas do Pré-câmbrico) e áreas mais baixas resultantes da erosão e da formação de aluviões e coluviões ao longo dos grandes rios que cortam a província de Niassa (Jourdan et al., 1981).

A erosão e a activação de falhas contribuíram para a rejuvenescimento da geomorfologia, que é caracterizada por costas acentuadas associadas a intrusões, resultando nas bacias dos rios Lunho, Chissongo-Fúbuè e Mecondece-Cobué.

3.3. Clima e vegetação

A região de Metangula, sob ponto de vista físico apresenta um clima tropical húmido com duas estações distintas, verões chuvosos, húmidos e invernos secos. A temperatura média varia entre 22° e 24°C e a precipitação média anual varia entre 1000 e 1400 mm. As chuvas ocorrem geralmente entre Novembro e Abril, sendo intensas e acompanhadas de fortes tempestades (MAE, 2005).

Quanto à vegetação, encontra-se uma floresta aberta sobre um solo argiloso-siltoso, com poucas árvores. Nas margens dos principais rios, durante a época das chuvas, encontra-se uma floresta densa e sempre verde (Verniers et al.,1982).

3.4. Hidrografia

A metade da rede hidrográfica do distrito pertence à sub-bacia do Lago Niassa, que por sua vez faz parte da grande bacia hidrográfica do Rio Zambeze. A região é repleta de rios, riachos e torrentes com orientação predominantemente Este-Oeste, apresentando um grande número de cursos de água. Esses rios são geralmente rápidos, possuindo um baixo volume de água, e apresentam um regime periódico, secando e desaparecendo durante o inverno, com exceção do rio Lunho, que é o curso mais importante da sub-bacia (MAE, 2005).

3.5. Enquadramento Geológico

3.5.1. Geologia Regional

3.5.2. Karoo da África Central e Austral

De acordo com Catuneanu et al (2005), as bacias sedimentares do Karoo da África Central e Austral, preservam características de um momento especial na história da Terra, quando as massas continentais se concentravam num único continente gigante “Pangea”, entre o Paleozóico Superior e o Mesozóico Inferior. Estas bacias desenvolveram-se durante a fragmentação do Pangeia, sob influência de dois principais regimes tectónicos distintos, originados na margem Sul e Norte do Gondwana. Segundo o mesmo autor, o regime tectónico Sul estava relacionado com o processo de subdução e orogénese ao longo da margem do Panthalassan (Paleo-Pacífico) do Gondwana, que resultou na formação de um sistema *retro-arco foreland* conhecido como sendo a Principal Bacia do Karoo, com mecanismos de subsidência primária representado pela dinâmica de sobrecarga e flexural, para extensional no Norte.

A sedimentação nestas bacias teve início no Carbonífero Superior, cerca de 300 Ma, continuando até ao Jurássico Médio, altura em que se iniciou a fragmentação do Gondwana, quando a acumulação dos sedimentos foi substituída pela implantação da chamada vasta província ígnea do Karoo (Karoo Large Igneous Province – KLIP). A parte superior da sequência do Karoo estava sujeita a erosão durante o tempo Pós-Gondwana e, portanto, a idade dos depósitos mais recentes do Karoo, ainda preservados, encontram-se entre o Triássico e o Jurássico Médio. O mapa das principais bacias do Karoo da África, com destaque para Moçambique (Fig. 14).

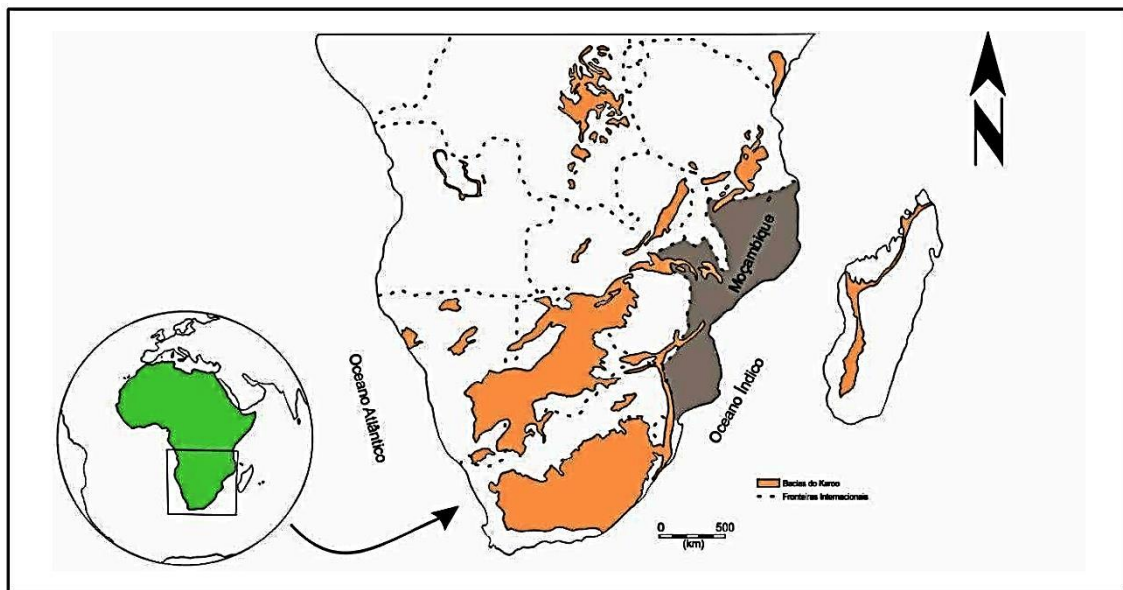


Figura 14: Distribuição espacial das bacias do Karoo na África sub-shariana (adaptado de Catauneau et al, 2005).

3.5.3. Karoo do Graben de Metangula

O termo “Karoo” é referente à grande bacia do Karoo, localizada na parte central da África do Sul. O Super grupo do Karoo é uma sequência estratigráfica representada por um conjunto de formações sedimentares continentais, marinhas e formações ígneas, do Carbonífero superior (300M.a.) ao Jurássico médio (183M.a.). Encontra-se distribuído por quase todos países da África Austral e alguns da África Central (Catauneau et al., 2005).

O Karoo em Moçambique encontra-se distribuído pelas províncias do Niassa, Cabo Delgado, Nampula, Zambézia, Tete, Manica, Sofala, Gaza e Maputo. Na região norte do país o Karoo é sedimentar, na região sul o Karoo é ígneo e na zona centro ocorre o sedimentar e o ígneo (Fig. 15) (Paulino, 2009). A sedimentação do Graben de Metangula começa com uma sequência Carbonífera do Ecca, consistindo de sedimentos límnicos, em contraste com as bacias de Tete (médio Zambeze na Formação de Vuzi) que começam com sedimentos glaciares ou periglaciares do Carbonífero superior.

O Karoo do Graben de Metangula é caracterizado ainda pela ausência do Karoo ígneo. Estas diferenças dão-se pela localização geográfica das bacias que estão distantes umas das outras e situações climáticas diferentes (Vasconcelos, 2009).

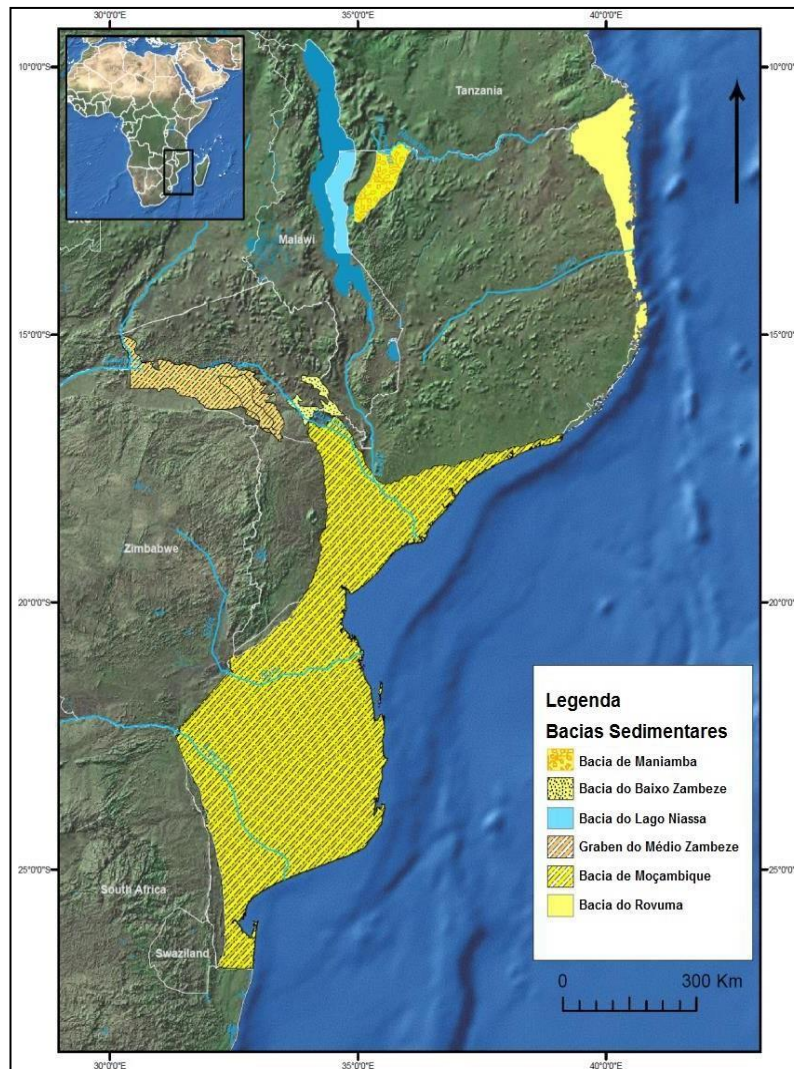


Figura 15: Ilustração da distribuição do Super Grupo Karoo em Moçambique, com a Bacia de Maniamba no NNE de Moçambique (fonte: INP, 2014)

3.5.4. Estratigrafia de seqüências sedimentar do Graben de Metangula

A principal bacia do Karoo, preserva seqüências estratigráficas com idades que variam do Carbonífero Superior até o Jurássico Médio, sendo constituída, da base ao topo, pelas unidades litoestratigráficas Dwyka, Eccca, Beaufort, Stormberg e Drakensberg (Fig. 16) (Afonso, 1978).

Em função da idade das unidades, o Supergrupo, o qual se divide em três Grupos, **Karoo Inferior, Karoo Médio e Karoo Superior** (Verniers et al., 1989).

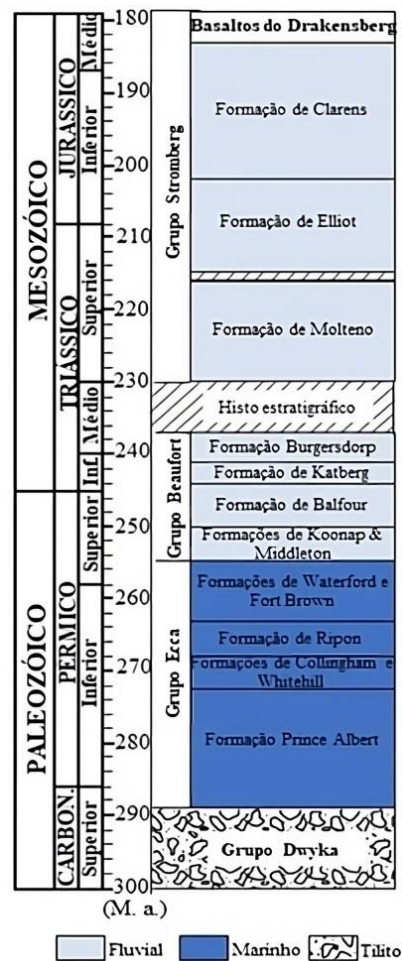


Figura 16: Sequências estratigráficas das principais bacias do Karoo (Adaptado Vasconcelos 2009).

3.5.4.1. Karoo inferior

Apresenta uma espessura entre 125-330m, é constituído por argilitos cinzentos e arenitos com intercalações carbonosas. (Verniers et al., 1989). O grupo é subdividido em três formações a destacar: a Formação K2, K3 e K4.

O Karoo inferior, concretamente a Formação K4 será descrito com mais detalhe, pois esta é a Formação interceptada pelo furo JOG16N-5.

3.5.4.2. Karoo Médio

Compreende cerca de 600 m de camadas de siltitos argilosos avermelhados. O Karoo médio encontra-se dividido em duas formações nomeadamente: Formação K5 e a Formação K6 (Verniers et al., 1989).

3.5.4.3. Karoo Superior

Apresenta uma espessura de cerca de 5000 à 6000m de rochas sedimentares, constituídas por uma sequência fluvial cíclica de arenito e siltitos, ocorrendo ocasionalmente argilitos e conglomerados. O grupo é subdividido em 8 formações a destacar da base ao topo: Formação do Monte Lilonga, Fúbuè, Congresso, Moola, Mecondece, Matchedje, Formação de Tende, e a Formação de Lipirichi (Verniers et al., 1989; Araújo et al., 2020).

3.5.4.4. Descrição da formação em estudo

❖ Formação K4

A formação K4, esta inserida no Karoo inferior, localmente esta formação é composta por arenitos siltosos cinzentos, siltitos e argilitos contendo várias camadas de carvão e intercalações carbonáceas, todos depositados em sequências fluviais cíclicas (Fig.17) (Verniers et al., 1989). Os arenitos e argilitos são escuros e acinzentados noutros cantos. Possui também xistos carbonosos com camadas de carvão e algumas folhas de *Glossopteris* preservadas e troncos fósseis com anéis de crescimento anuais (Verniers et al., 1989), do género *Agathoxylon africanun* (Nhamutole et al., 2021).

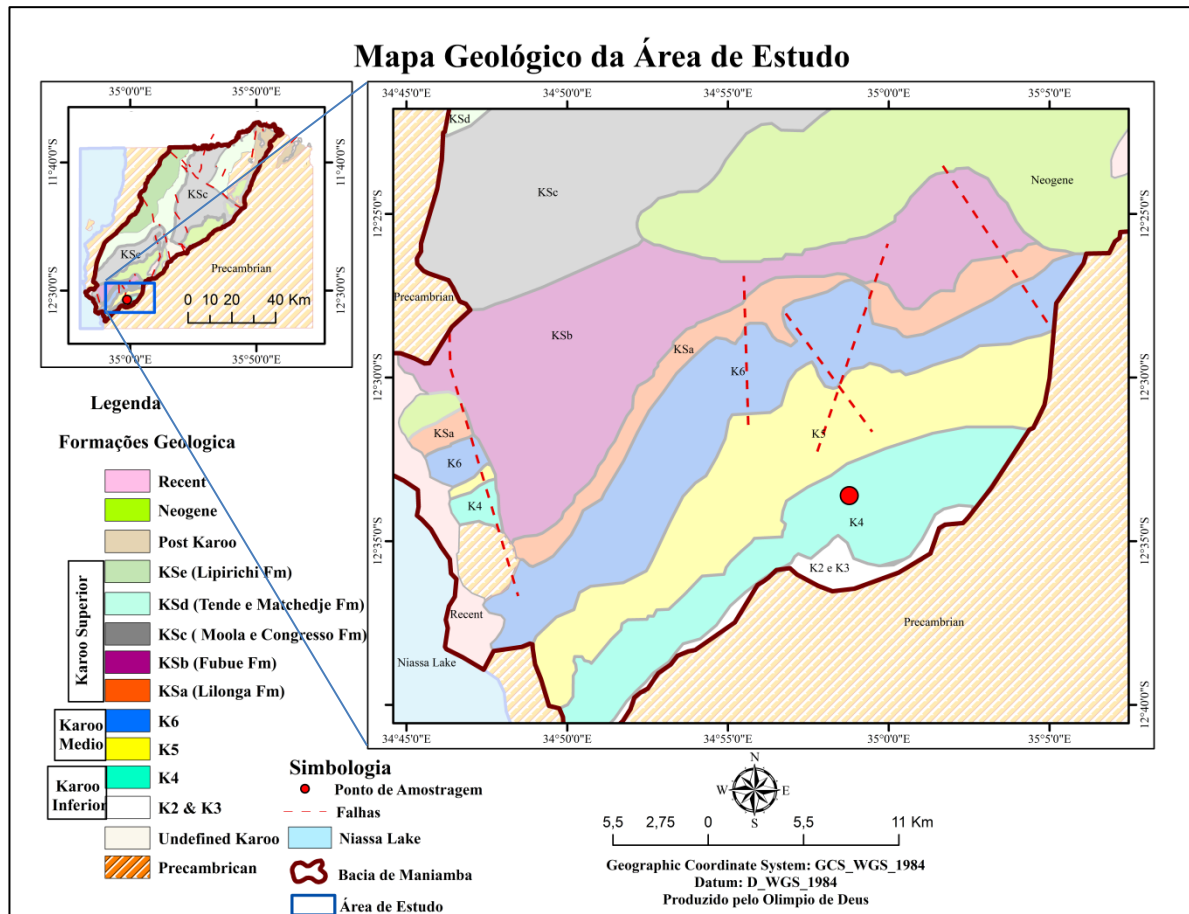


Figura 17: Mapa geológico da área de estudo (Adaptado de Verniers et al., 1989).

3.6. Elementos estruturais e tectónicos do Graben de Metangula

O Karoo presente no Graben de Metangula faz parte das bacias do leste da África, localizadas a sudoeste do cinturão de Moçambique. Esta bacia é delimitada por falhas de bordadura orientadas NE-SW, que separam o soco cristalino dos sedimentos do Karoo. Além disso, o Graben é cortado por um sistema de falhas transversais, que o divide em três grandes blocos, incluindo a falha do rio Moola e a falha do rio Txuine. Essas falhas são normais e subverticais, sugerindo que a formação da bacia ocorreu devido a um regime de forças distensivas (Afonso, 1986) *apude* (Paulino et al., 2009).

O Graben de Metangula foi formado durante a fase de rifteamento do Gondwana, caracterizado por fracturamento tectónico. As zonas de borda de cratões e zonas de fraqueza foram reactivadas, e durante esse período formaram-se os rifts do Karoo, incluindo o Zambeze e o Metangula (Vasconcelos, 2009).

A bacia de Metangula foi instalada em um Rift em uma fase embrionária do pré-Karoo devido ao reajustamento de estruturas pré-cambrianas. À medida que a bacia foi enchendo-se de sedimentos, afundou-se progressivamente devido ao peso desses sedimentos (Afonso, 1986) *apude* (Paulino et al., 2009). As formações sedimentares distribuem-se desde o Pérmico Inferior ao Jurássico Inferior, e camadas de carvão são encontradas em sua parte sul (Paulino et al., 2009).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Conceitualização

O conceito de análise visual do querogénio ou palinofácies foi introduzido por Combaz (1964), na qual define como sendo “*o estudo palinológico da associação total de matéria orgânica contida em um sedimento após a remoção da matriz sedimentar (mineral) pela acidificação com HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico)*”

Análise visual do querogénio é uma ferramenta valiosa usada na determinação do potencial para geração de hidrocarbonetos e reconstrução do paleoambiente deposicional com base na classificação e quantificação dos componentes da matéria orgânica contida em rochas sedimentares (Tyson 1993;1995)

4.2. Composição orgânica

Hunt (1996), concebe rochas geradoras de hidrocarbonetos, como sendo “*qualquer rocha que tenha a capacidade de gerar e expulsar quantidade de hidrocarbonetos suficientes para formar uma acumulação de petróleo ou gás.*”

Peters & Cassa (1994), salientam que, uma rocha geradora de hidrocarbonetos deve satisfazer três requisitos “ *quantidade (conteúdo mínimo de matéria orgânica), qualidade (tipo de matéria orgânica) e maturação térmica (conversão do querogenio em óleo ou gas).*”

A matéria orgânica encontrada nas rochas sedimentares é formada a partir da acumulação de restos de plantas terrestres (compostas de lignina e carboidratos), além de organismos planctónicos e bactérias (compostas basicamente por lipídios e proteínas), que ocorrem no ambiente de sedimentação. A preservação desse material é condicionada pela produção de matéria orgânica, bem como pela existência de ambientes de baixa energia e sem oxigênio (anóxicos). Esses ambientes são frequentemente encontrados em ambientes continentais, como lagos, e em ambientes marinhos de circulação restrita (Tyson, 1993; 1995).

Após a deposição, esse material de origem orgânica passa por diversas alterações devido ao aumento do soterramento e o conseqüente aumento da temperatura, transformando-se, progressivamente, em querogénio (Tissot & Welte 1984).

4.3. Querogénio

A matéria orgânica é composta por duas frações: querogénio e betume (Fig.18). Querogénio é composto pela matéria orgânica particulada insolúvel em solventes orgânicos, enquanto betume é a fração solúvel em solventes orgânicos, geralmente representando apenas cinco por cento de toda a matéria orgânica da amostra (Mendonça et al., 2012).

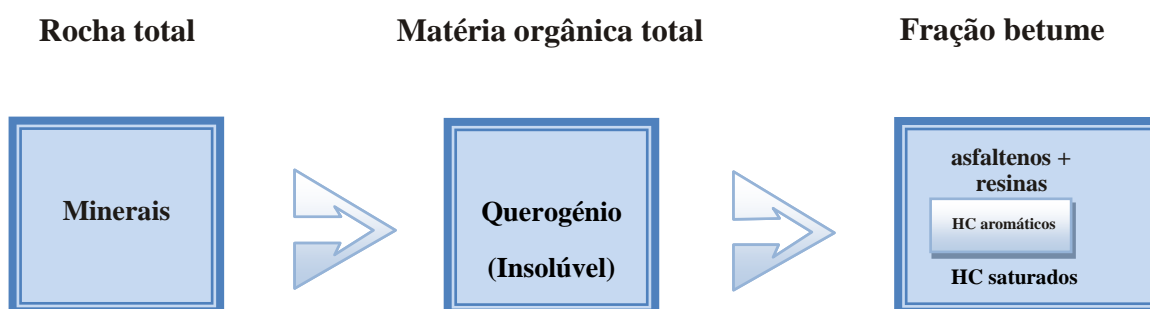


Figura18: Composição e quantidade de matéria orgânica em rochas sedimentares (adaptado de Tissot & Welte 1978).

4.3.1. Classificação do querogenio

A classificação do querogénio baseia-se em suas propriedades ópticas microscópicas tais como: (estrutura, forma, cor, fluorescência, dentre outros) é analisada a partir da origem biológica e no estado de degradação das partículas orgânicas. Contudo, o querogénio é subdividido em três principais grupos de componentes orgânicos: **Fitoclastos, Palinomorfos e MOA** conforme discriminado no fluxograma da (Fig.19) segundo o modelo proposto por Tyson (1993; 1995).

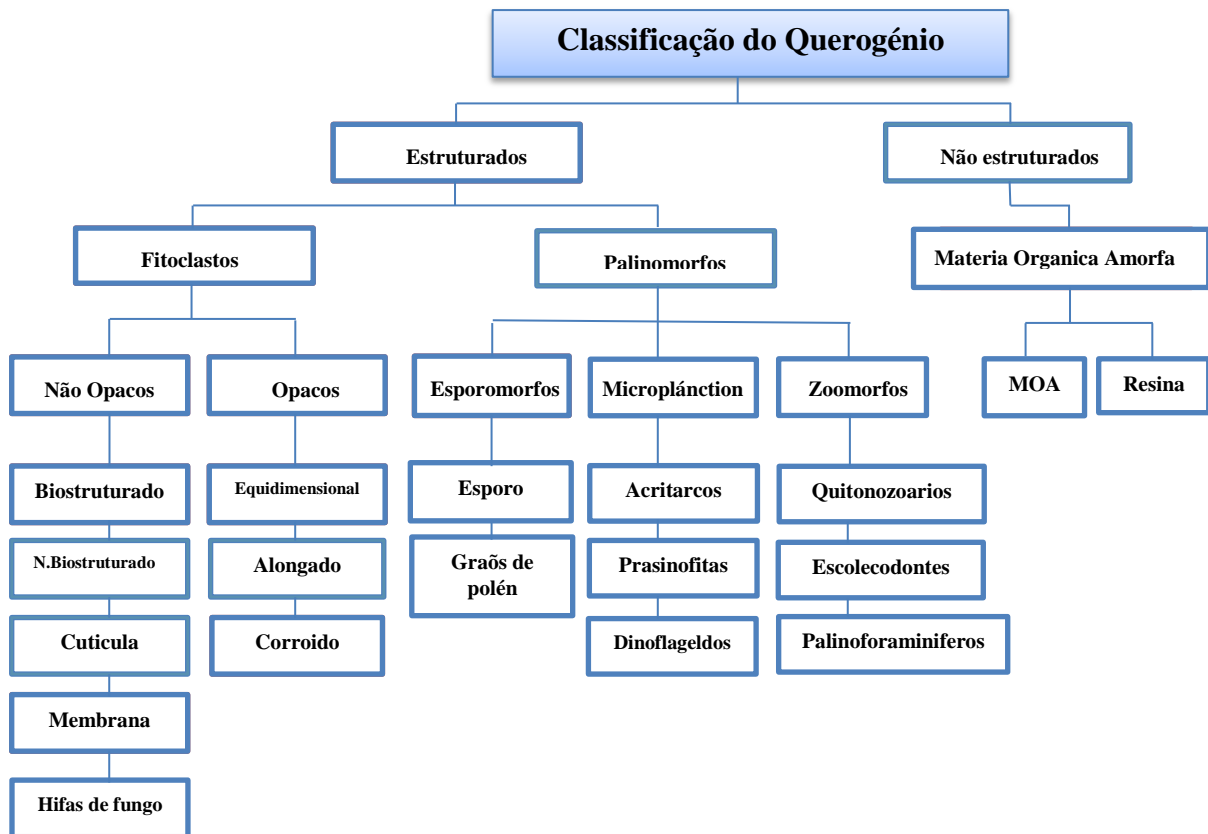


Figura 19: Fluxograma de classificação do querogénio (baseado em Tyson, 1993; 1995).

4.3.1.1. Grupo dos Fitoclastos

São todas as partículas orgânicas de plantas terrestres que provêm dos tecidos lenhosos (xilema) de plantas superiores, membranas, cutículas e hifas de fungos (Mendonça Filho et al., 2012; Batten, 1996).

Na verdade, o aspecto que os fitoclastos apresentam quando observados ao microscópio leva a dividi-los em dois subgrupos de acordo com a quantidade de luz vinda do microscópio que deixam passar. Podem ser opacos e não-opacos (Tab.2).

Os **fitoclastos opacos** são fragmentos de tecidos de plantas que sofreram o processo de carbonização (carbonificação, combustão ou oxidação) e possui coloração preta. Por outro lado, os **fitoclastos não-opacos** são tecidos translúcidos, tendo em conta a morfologia, presença ou ausência de estruturas e diferença no estado de preservação e apresentam coloração que varia de amarelada a castanha muito escura (Carvalho et al., 2005; Mendonça et al., 2011).

GRUPO	SUBGRUPOS	DESCRIÇÃO	
Fitoclastos	Equidimensionais	Partículas de cor negra sem estrutura interna e com forma quadrangular.	
	Opacos	Alongados	Partículas negras em que o comprimento é três vezes superior à largura.
		Corroidos	Partícula de cor preta com contorno difusos e irregulares.
		Bioestruturados	Partículas geralmente de cor castanha com forma variada e com estrutura interna visível (listradas, estriadas, bandadas, perfuradas).
	Não-opacos	Não-bioestruturados	Partículas geralmente castanhas, com forma variada e não apresentam estrutura botânica.
		Cutículas	Partículas de coloração amarelo-pálido a castanho claro, com estrutura celular definida.
		Membranas	Partículas de cor amarelo-pálido e sem estrutura celular.
		Hifas de fungos	Filamentos isolados pertencentes ao micélio da fase vegetativa de fungos.

Tabela 2: Classificação do grupo dos fitoclastos (Mendonça et al., 2012).

4.3.1.2. Grupo dos Palinomorfos

O termo palinomorfo foi introduzido por Tschudy (1961) e refere-se a todo componente de parede orgânica resistente ao ataque com HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico), sendo dividido em: palinomorfos continentais (esporomorfos e microplâncton de água doce) e marinhos (microplâncton de parede orgânica marinho e zoomorfos (Tab.3) (Tyson, 1995).

GRUPO	SUBGRUPOS	DESCRIÇÃO
Esporomorfos	Esporos	Palinomorfos de forma triangular ou circular, com marca trilete ou monolete e ornamentação variada. Derivam de briófitas, pteridófitas e fungos.
	Pólenes	Palinomorfos de morfologia variada (monossacados, bissacados ou colpados, etc) e ornamentação variada. Derivam de gimnospérmicas e angiospérmicas.
Zoomorfos	Palinoforaminíferos	Película interna quitinosa que reveste a carapaça de foraminíferos.
	Escolecodontes	Elementos dispersos do aparelho bucal de anelídeos poliquetas.
	Quitinozoários	Palinomorfos com paredes orgânicas, quitinosas.
Microplâncton de água doce		Colónias de algas globulares irregulares (<i>Botryococcus</i>). Colónias de algas verdes (<i>Pediastrum</i>).
Microplâncton marinho		Engloba os dinoflagelados, acritarcas e prasinófitas.

Tabela 3: Classificação do Grupo dos Palinomorfos (Mendonça Filho et al., 2012).

4.3.1.3. Grupo da Matéria Orgânica Amorfa

Corresponde a todo componente orgânico particulado derivado de bactérias, fitoplâncton e agregados orgânicos degradados, caracterizados pela ausência de estruturação, contorno irregular e matriz granular heterogénea. Ocorre sob a forma de grumos ou dispersa, com diferentes tonalidades de marrom, quando analisada sob microscopia de luz branca transmitida, e coloração

de alaranjada a amarelada, quando analisada em modo fluorescência Pode ser dividido em: matéria orgânica amorfa (MOA) e resinas (Tab.4) (Tyson,1993; 1995).

GRUPO	SUBGRUPOS	DESCRIÇÃO
MOA	MOA	Material de tonalidade clara ou translúcido não estruturado, podendo apresentar diversas formas e conter inclusões de pirite.
	Resina	Partículas não estruturadas, geralmente arredondadas.

Tabela 4: Classificação do Grupo da matéria orgânica amorfa (Mendonça Filho et al., 2012).

Em suma, é possível estabelecer relações entre os componentes do querogenio e os tipos de querogênio, a fim de obter informações sobre o potencial de geração de hidrocarbonetos (Tab.5).

COMPONENTES DO QUEROGÊNIO	CLASSIFICAÇÃO DO QUEROGÊNIO	ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA	POTENCIAL GERADOR DE HC	TIPO DE QUEROGÊNIO
	MOA	MOA, algas, bactéria, fitoplâncton	Potencial muito elevado de petróleo	I
	(Exinite) Esporomorfos	Principalmente palinomorfos terrestres, tecidos Vegetais	Elevado potencial de petróleo	II
	(Vitrinite) Fitoclastos não opacos	Principalmente restos de plantas lenhosas (de plantas terrestres superiores)	Baixo potencial de petróleo e alto potencial de gás	III
	(Inertinite) Fitoclasto opaco	Alto conteúdo de MO refretaria, altamente carbonizado, Oxidado, matéria orgânica inerte	Muito baixo- sem potencial de hidrocarbonetos	IV

Tabela 5: Relação entre os componentes do querogênio com o potencial gerador (adaptado de Nobre, 2022)

4.4. Tendências na distribuição do querogénio

A tendência de distribuição dos componentes orgânicos particulados é baseada na percentagem de frequência relativa de partículas do querogénio total (Tyson 1993; 1995). Entretanto, Mendonça (1999), destaca que a variável mais importante para avaliar a tendência na distribuição do querogénio é o factor proximidade, ou seja, a tendência proximal-distal. Os componentes da matéria orgânica presentes em sedimentos e rochas sedimentares reflectem as condições redox do ambiente em que foram depositados, indicando a proximidade de fontes fluviais activas (Fig.20).

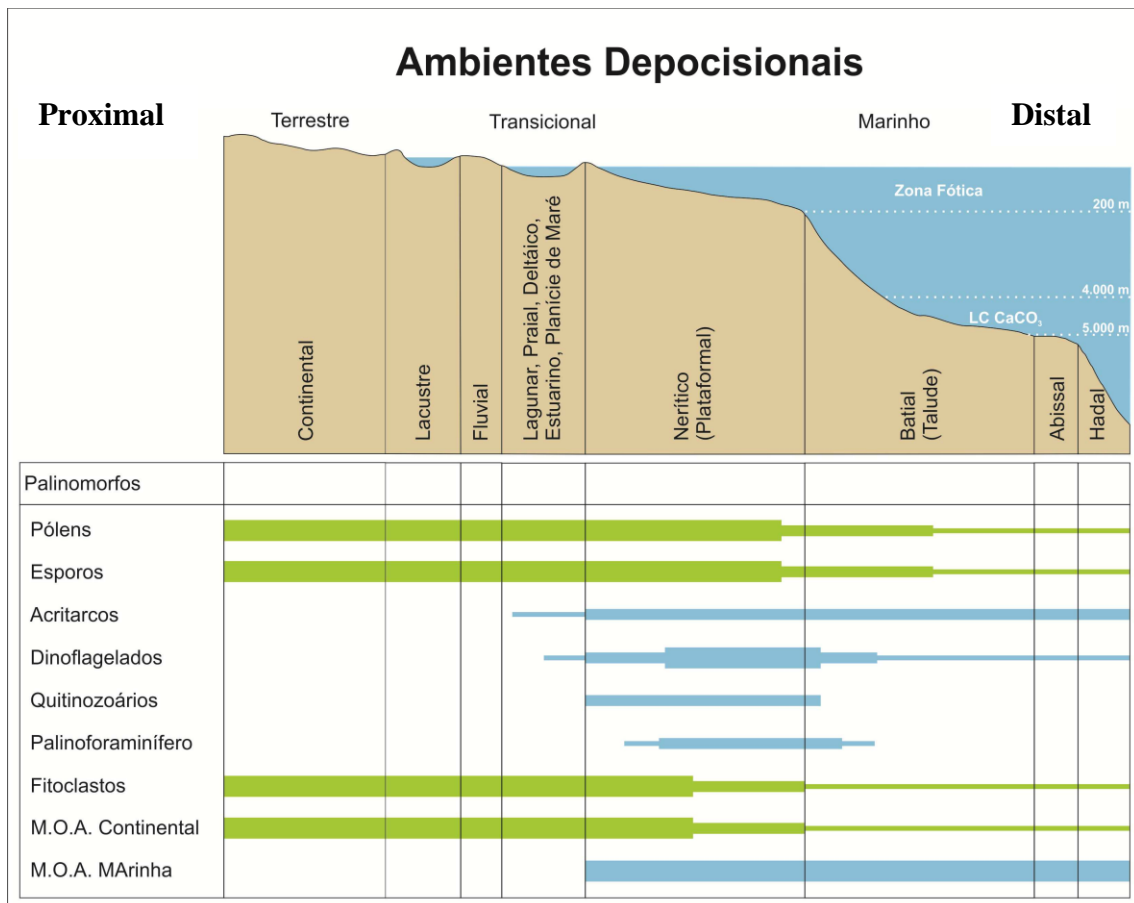


Figura 20: Distribuição dos componentes do querogénio nos ambientes sedimentares (modificado de Seyve, 1990).

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A apresentação dos resultados seguirá a ordem em que foram colectados os dados durante o desenvolvimento do projecto, e suas respectivas interpretações serão mencionadas em cada subcapítulo. Essa abordagem permitirá uma análise mais aprofundada dos dados obtidos neste trabalho e uma discussão mais embasada.

5.1. Análise visual do querogénio

A partir das análises microscópicas de vinte (20) lâminas produtivas (E7, E8, E13, E15, E16, E20, E21, E22, E23, E26, E28, E30, E31, E32, E33, E36, E39, E41, E42, E45) obtidas no testemunho de sondagem JOG16N-5, pôde-se distinguir os diferentes grupos e subgrupos do querogénio.

5.1.1. Identificação e caracterização dos componentes do querogénio

A análise visual do querogênio, foi feita por meio da microscopia de luz branca transmitida tendo como base nas propriedades ópticas (tipo de organismo, a forma, estrutura e cor), sendo assim foi possível observar a ocorrência dos três grupos do querogénio: Fitoclastos, Palinomorfos e Matéria Orgânica Amorfa.

5.1.1.1. Grupo dos Fitoclastos

Os fitoclastos são constituintes orgânicos dominantes em grande parte na secção. Estes são encontrados em diferentes formas e tamanhos, sendo identificados: opacos e não opacos. Os opacos são caracterizados por apresentar coloração preta, tamanhos variáveis, formas equidimensionais, alongadas e corroídos (Fig. 21 A,B e C). Já os não opacos, apresentam coloração marrom, e são subdivididos em bioestruturados, não bioestruturados, cutículas e hifas de fungos (Fig. 21 D,E,F e G).

5.1.1.2. Grupo dos Palinomorfos

Os palinomorfos são caracterizados por apresentar coloração amarelada, amarelo ouro ou escuro, amarelo escuro laranja, laranja e preto. Este grupo é representado somente pelos palinomorfos continentais com predomínio dos esporomorfos grãos de pólenes (monossacado e bissacado) (Fig. 21 J e K) e esporos (monolete e trilete) (Fig. 21 H e I).

5.1.1.3. Grupo da Matéria Orgânica Amorfa

No grupo da MOA, foi identificado somente o subgrupo da matéria orgânica amorfa cuja apresenta coloração amarelada, amarelo ouro ou escuro (Fig. 21 L).

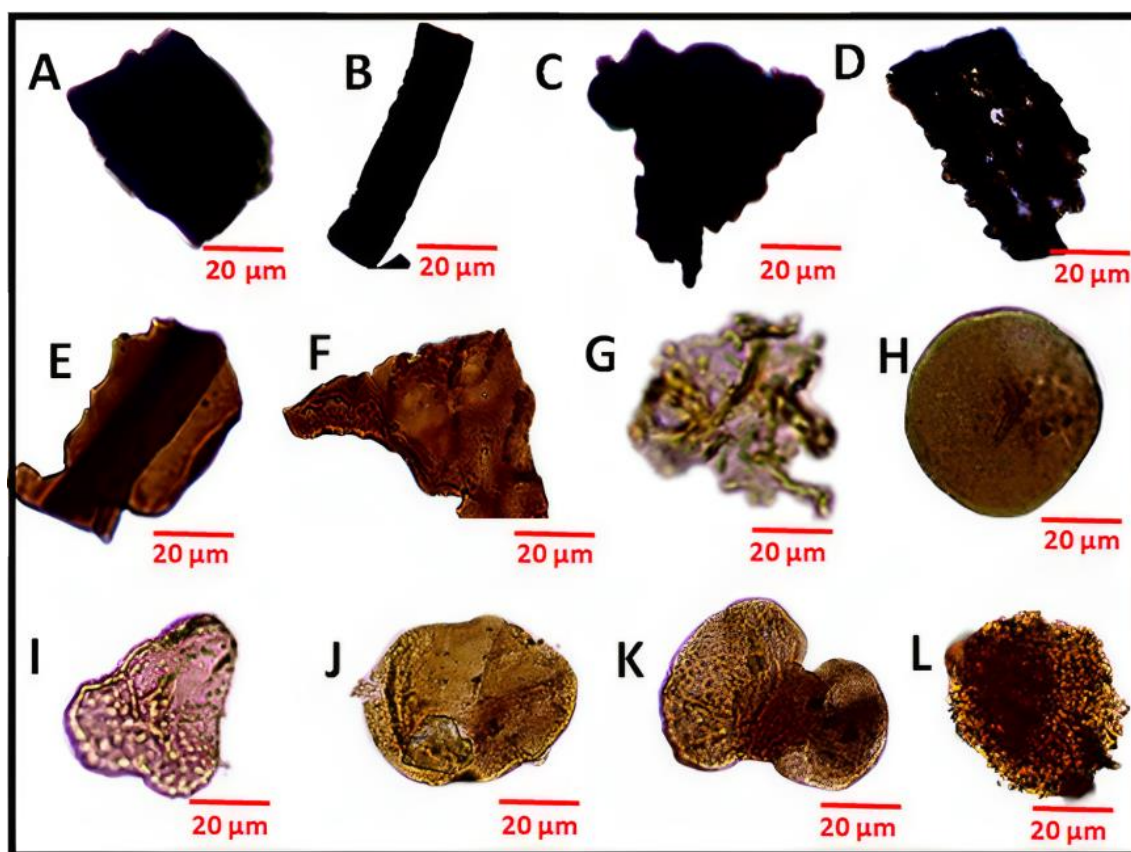


Figura 21: Matéria orgânica particulada encontrada nas lâminas organopalinológicas da secção JOG16N-5, analisado sob luz branca transmitida com objectiva 40x, numa escala de 20µm: **A)** Fitoclasto opaco equidimensional; **B)** Fitoclasto opaco alongado; **C)** Fitoclasto opaco corrido; **D)** Fitoclasto não opaco, bioestruturado (traqueídio); **E)** fitoclasto não opaco, não bistruturado; **F)** Cutícula; **G)** Hifas de fungo; **H)** Esporo monolete; **I)** Esporo Trilete; **J)** Grão de pólen monossacado; **K)** Grão de pólen bissacado; **L)** MOA.

5.2. Tratamento estatístico e representação de dados

Como pode ser observado na (Fig. 22) (Tab. 6), a secção estudada é dominado pelo grupo dos fitoclastos com 66%, seguido dos palinomorfos com 24% e subordinadamente matéria orgânica amorfa com 10%.

Relativamente aos subgrupos dos fitoclastos, observa-se uma tendência para maior representatividade de fitoclastos opacos.

Entretanto, destacou-se a predominância de fitoclastos opacos corroídos com 23.5%, seguido dos alongados com 10.4% e equidimensionais com 7.9%, por outro lado os fitoclastos não opacos com maior domínio para os não bioestruturados com 13%, os bioestruturados com 10%, as cutículas com 1% e por último, hifas de fungo com 0.4% da matéria orgânica total.

O grupo dos palinomorfos apresentou maior predominância de grãos de pólen monossacados com 22.40%, em relação à matéria orgânica total e os demais ocorrem em quantidades ínfimas até 1.4% da matéria orgânica total.

No grupo da MOA apenas foi identificada a matéria orgânica amorfa com 10%.

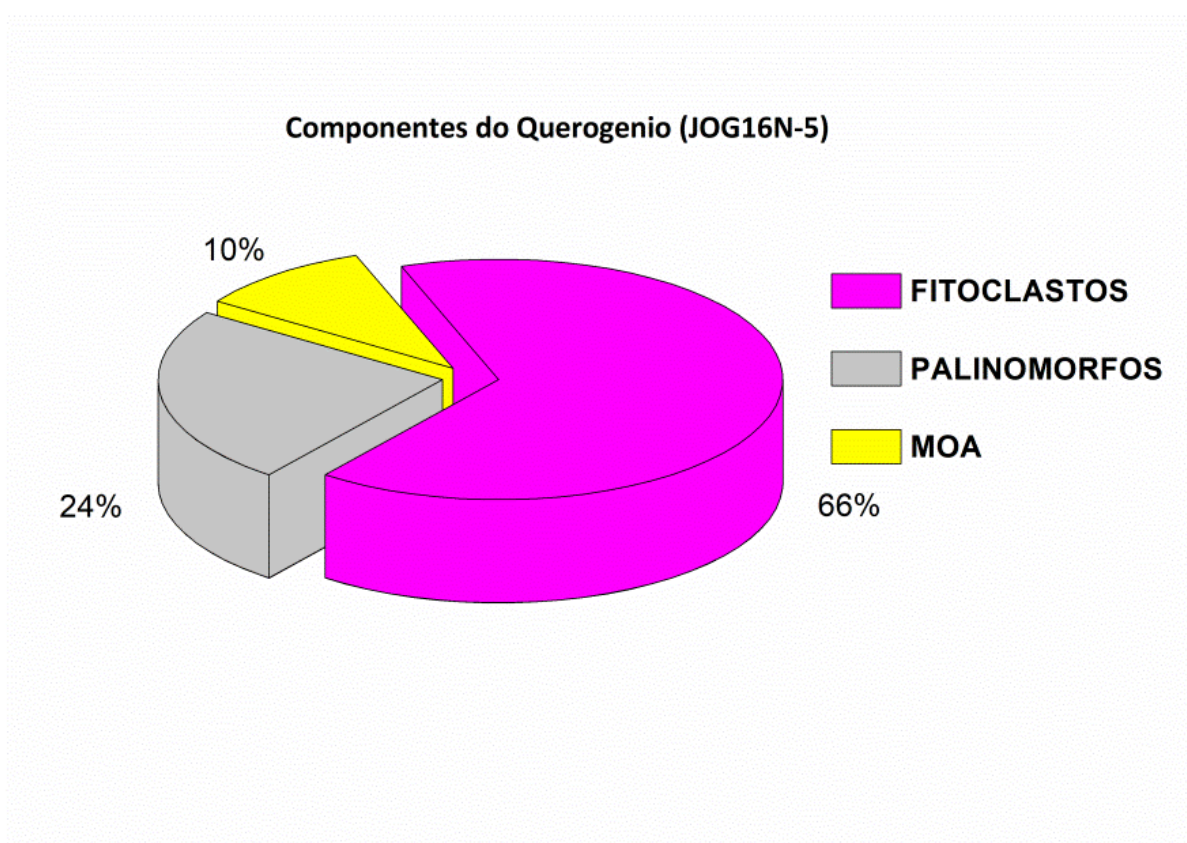


Figura 22: Distribuição percentual dos grupos da matéria orgânica particulada da secção JOG16N-5.

AMOSTRA	PROF (m)	FITOCLASTOS (%)	PALINOMORFOS (%)	MOA (%)	PALINOFÁCEIS
BOX5 E7	18.80	99.97	0.00	0.00	D
BOX5 E8	20.67	53.33	27.66	19.00	C
BOX7 E13	30.93	88.67	5.33	6.00	D
BOX8 E15	33.18	83.33	12.67	4.00	D
BOX8 E16	33.46	60.02	29.00	10.7	C
BOX8 E20	35.65	84.34	4.67	7.67	D
BOX8 E21	36	55.30	25.67	19.00	C
BOX8 E22	36.90	48.00	42.00	10.00	CD
BOX8 E23	37.05	55.66	28.00	16.30	C
BOX9 E26	39.24	43.33	41.33	15.30	CD
BOX9 E28	41.44	48.35	48.00	3.33	CD
BOX10 E30	44.23	54.67	30.33	15.00	C
BOX10 E31	45.2	60.00	23.67	16.30	C
BOX10 E32	45.8	74.67	15.00	10.30	C
BOX10 E33	46.10	50.01	45.01	4.67	CD
BOX11 E36	48.37	85.33	6.67	8.00	D
BOX11 E39	50.1	67.67	20.33	11.70	C
BOX11 E41	51.15	48.33	43.67	7.67	CD
BOX11 E42	51.73	65.33	21.30	13.30	C
BOX12 E45	58.88	90.33	5.67	4.00	D

Tabela 6: Resultados da análise quantitativa da matéria orgânica particulada e associações de Palinofácies da secção JOG16N-5.

5.3. Análise de agrupamento

A análise de agrupamento foi aplicada considerando a similaridades entre as amostras com base nos dados de abundância relativa dos grupos da matéria orgânica, separando amostras similares a fim de identificar intervalos semelhantes entre as amostras da secção JOG16N-5. Assim sendo, a análise de agrupamento revelou 3 agrupamentos principais, nomeados respectivamente por palinofácies CD, C e D (Fig. 23) (Tab. 7).

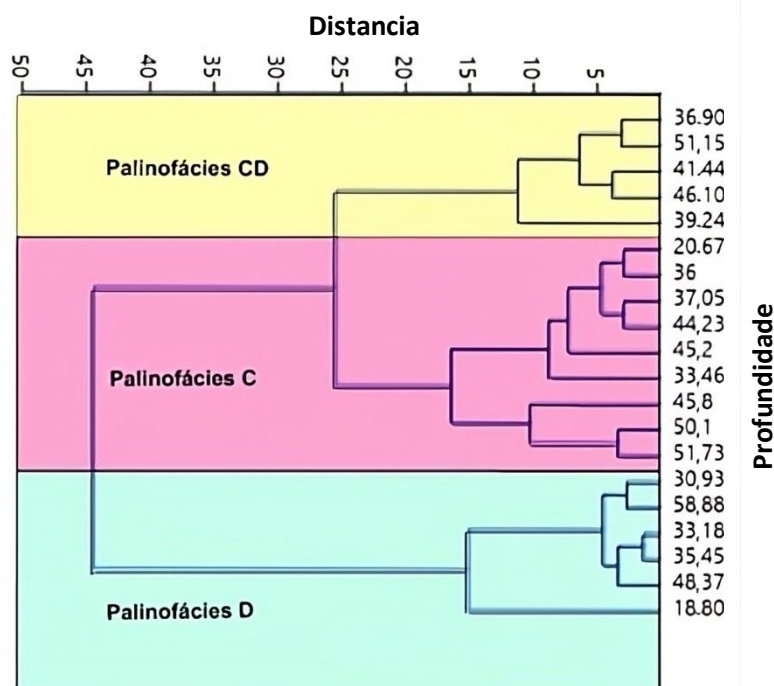


Figura 23: Dendrograma de agrupamento dos componentes orgânicos da secção JOG16N-5.

JOG16N-5	
Palinofácies	Componentes orgânicos
CD	Dominância de fitoclastos e palinomorfos
C	Dominância fitoclastos e a diminuição no suprimento dos palinomorfos
D	Dominância de fitoclastos

Tabela 7: Associação de Palinofácies da secção JOG16N-5 e sua descrição.

5.3.1. Associação de Palinofácies CD

A associação de palinofácies CD, é composta por uma matéria orgânica retrabalhada e parcialmente oxidada e é evidenciado pela elevada média percentual de fitoclastos com 47.6%, a média de palinomorfos também é alta com 44% e a de MOA é de 8.1% do total da matéria orgânica particulada (Fig. 24) (Tab. 8). Essa associação corresponde a um paleoambiente de plataforma óxica (plataforma proximal) (Mendonça, 1999).

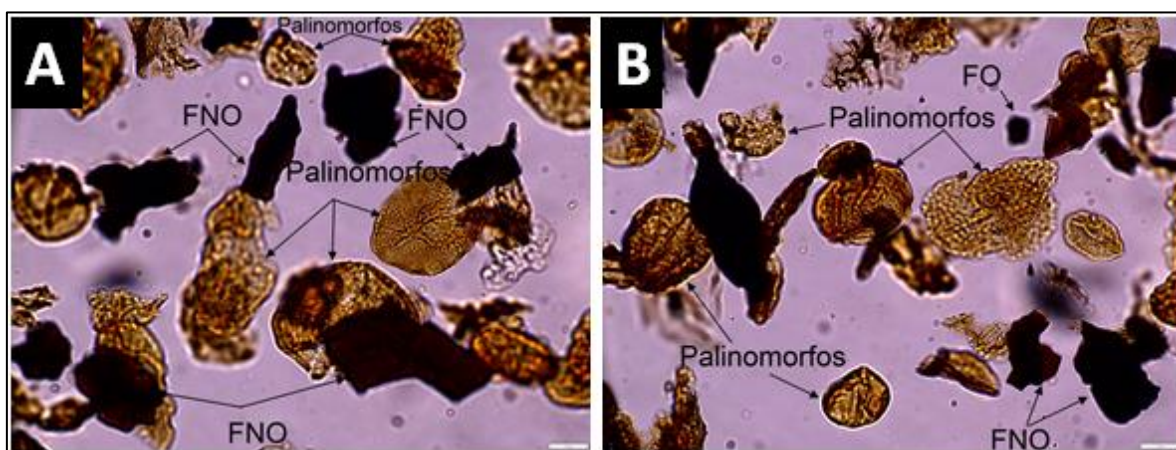


Figura 24: (A e B) -Associação de Palinofácies CD ilustrando Fitoclastos e palinomorfos do total de matéria orgânica.

ASSOCIAÇÃO DE PALINOFÁCEIS CD			
Profundidade (m)	% Fitoclastos	% Palinomorfos	% MOA
36.90	48.00	42.00	10.00
39.24	43.33	41.33	15.30
41.44	48.35	48.00	3.33
46.10	50.01	45.01	4.67
51.15	48.33	43.67	7.67
Média%	47.6	44	8.1

Tabela 8: Valores percentuais para os três grupos de matéria orgânica correspondente a associação de palinofacies CD, JOG16N-5.

5.3.2. Associação de Palinofácies C

A associação palinofácies C é constituído por matéria orgânica terrestre degradada e é caracterizado pela elevada média percentual de fitoclastos 60.7%, seguidos pelos palinomorfos com 25.1% e uma baixa proporção de matéria orgânica amorfa com 14.2% (Fig. 25) (Tab. 9). O paleoambiente se caracteriza por ocorrer em turfeiras, depósitos deltaicos e em lamitos marinhos bioturbados (proximal óxica fluvio-deltaica) (Mendonça, 1999).

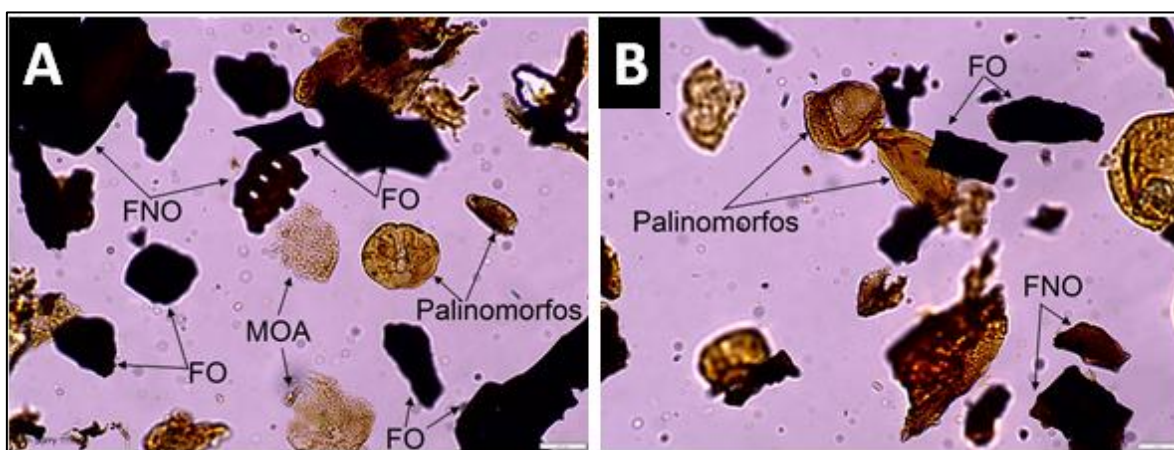


Figura 25: (A e B) - Associação de Palinofácies C ilustrando Fitoclastos e palinórfos do total de matéria orgânica.

ASSOCIACAO DE PALINOFÁCEIS C			
Profundidade (m)	% Fitoclastos	% Palinórfos	% MOA
20.67	53.33	27.66	19.00
33.46	60.02	29.00	10.70
36	55.30	25.67	19.00
37.05	55.66	28.00	16.30
44.23	54.67	30.33	15.00
45.2	60.00	23.67	16.30
45.8	74.67	15.00	10.30
50.1	67.67	20.33	11.70
51.73	65.33	21.30	13.30
Media%	60.7	25.1	14.2

Tabela 9: Valores percentuais para os três grupos de matéria orgânica correspondente a associação de palinofácies C, JOG16N-5.

5.3.3. Associação de Palinofácies D

A associação de Palinofácies D é caracterizada principalmente pela matéria orgânica residual altamente oxidada ou repositada e é evidenciado pela elevada média percentual de fitoclastos com 88.6%, a média percentual de palinórfos e MOA é de 5.8% e 4.9% (Fig. 26) (Tab. 10). Quanto a sedimentação, corresponde a um paleoambiente de plataforma muito óxica (Tyson, 1995).

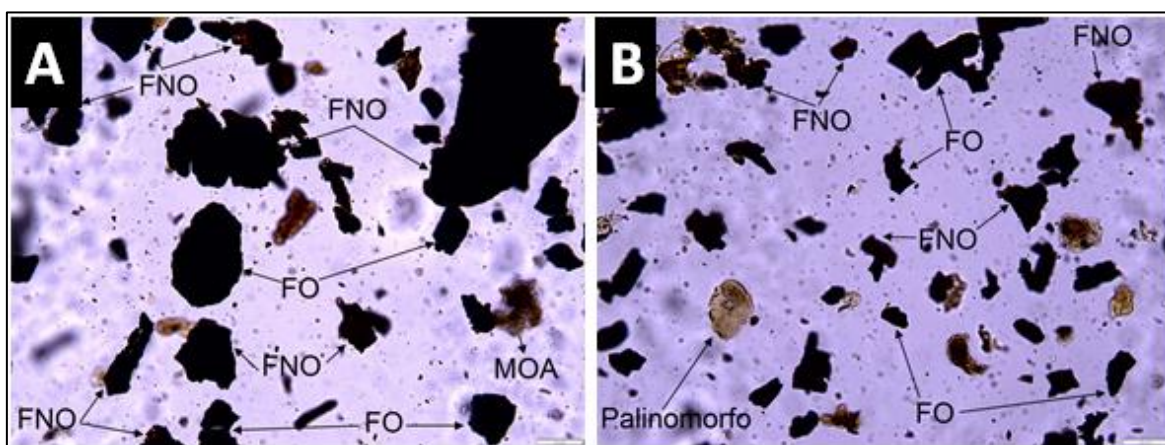


Figura 26: (A e B)-Associação de Palinofácies D ilustrando o domínio dos fitoclastos do total de matéria orgânica.

ASSOCIAÇÃO DE PALINOFÁCEIS D			
Profundidade (m)	% Fitoclastos	% Palinomorfos	% MOA
18.80	100	0.00	0.00
30.93	88.67	5.33	6.00
33.18	83.33	12.67	4.00
35.45	84.34	4.67	7.67
48.37	85.33	6.67	8.00
58.88	90.33	5.67	4.00
Média%	88.6	5.8	4.9

Tabela 10: Valores percentuais para os três grupos de matéria orgânica correspondente a associação de palinofácies D, JOG16N-5.

5.4. Interpretação paleoambiental

Os resultados obtidos das associações de palinofácies da secção JOG16N-5, mostrou que as características orgânicas desta associação se posicionam nos campos I,II, III, IVa e V do diagramas ternários de (Tyson, 1993) (Fig. 27).

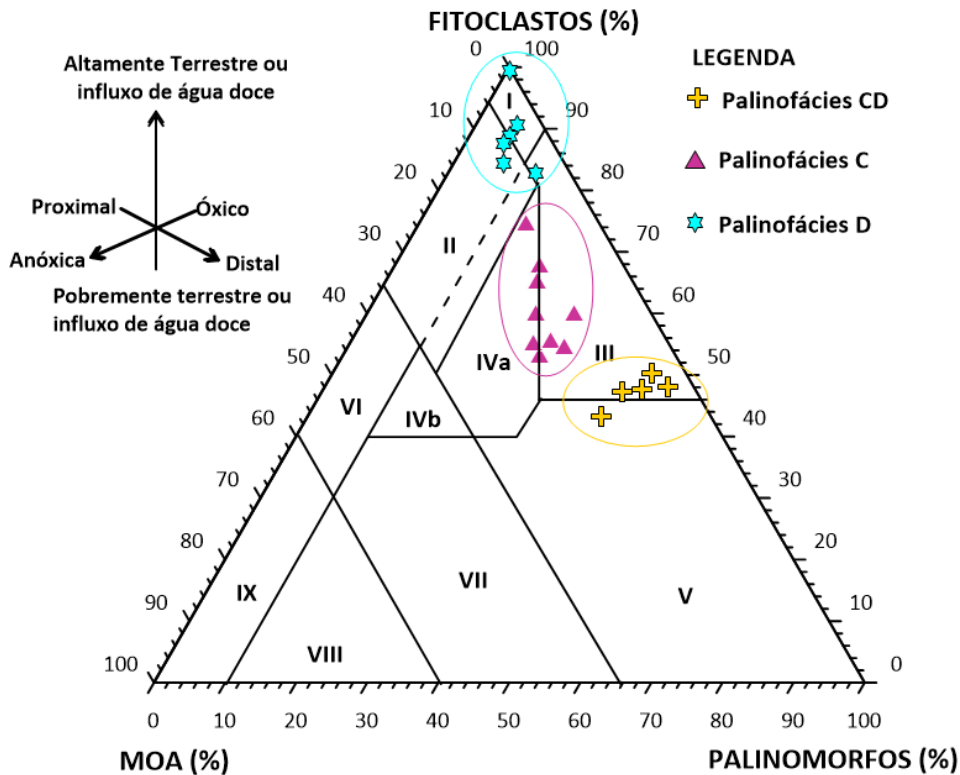


Figura 27: Diagrama ternário das amostras da secção JOG16N-5 (Adaptado Tyson, 1993).

O campo I está às amostras que correspondem à fácies de Bacia ou plataforma altamente proximal. O campo II, está às amostras correspondem à fácies de Bacia marginal disóxica-anóxica. O campo III está às amostras que apresentam características de plataforma óxica heterolítica. No campo IVa estão representadas as amostras que apresentam características típicas de ambiente de transição plataforma e a bacia, sob regime disóxico. O campo V caracteriza deposição em plataforma óxica dominada por lama (plataforma distal).

Diante disso, é possível afirmar que as condições de deposição em ambiente óxico a muito óxico justificam os baixos teores de MOA e altas concentrações de fitoclastos nas amostras da secção estudada. Entretanto, essas características podem-se referir a um ambiente deposicional em que sugere uma proximidade com influência de fonte flúvio-deltaica, próximo à vegetação, devido à presença dos palinomorfos continentais. Sua forte influência dos grãos de pólen e esporos indica forte influxo de terrígenos (Tyson, 1993).

A fim de melhorar a precisão das interpretações paleoambientais, foi empregue o diagrama proposto por Hacquebard e Donaldson (1969), o qual descreve três categorias diferentes de ambientes de deposição, utilizando dados integrados da análise visual do querogénio.

As amostras da secção JOG16N-5 mostram uma predominância de fitoclastos opacos, indicando uma maior concentração em ambiente de pântano oxidado. Além disso, foram identificados alguns palinomorfos + fitoclastos não opacos, indicando uma concentração em um ambiente de pântano de floresta (Fig. 28).

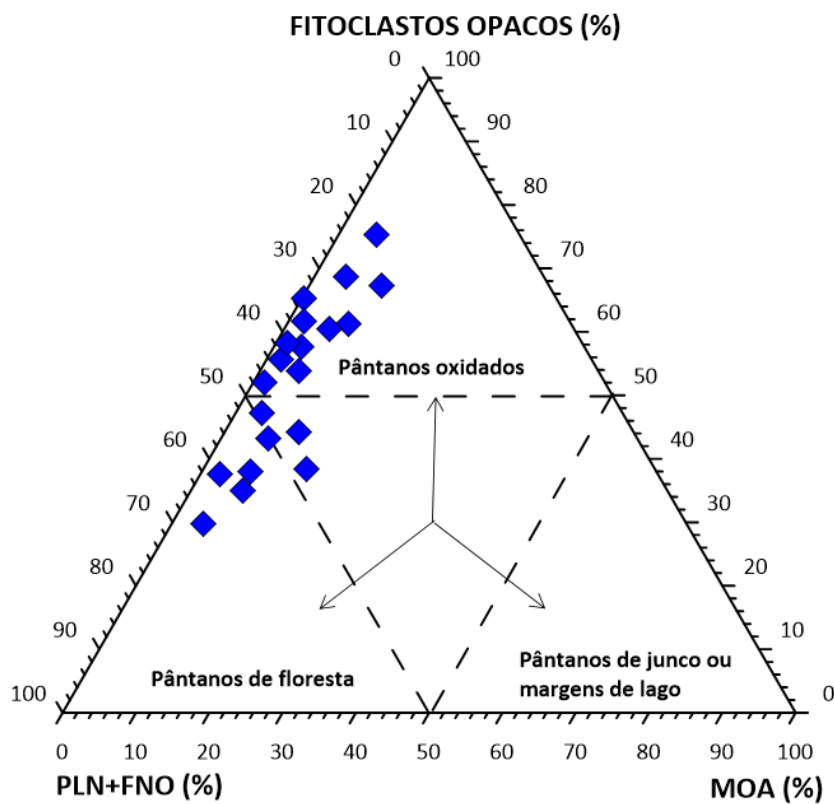


Figura 28: Diagrama ternário de paleoambiente deposicional de leitões (Hacquebard & Donaldson, 1969).

A Formação K4, apresenta um conteúdo de matéria orgânica palinológica dominada principalmente por fitoclastos opacos, derivados principalmente da oxidação de material lenhoso translúcido, indicando proximidade da superfície terrestre ou redeposição de matéria orgânica particulada de superfícies flúvio-deltaicas (Tyson, 1995).

Para Tyson (1993), o ambiente fluvio-deltaico é influenciada por condições terrestres apresentando condições de oxidação, o qual foi transportado sobre um período de tempo prolongado. Por outro lado, Mendonça (1999), salienta que a grande quantidade de partículas de fitoclasto é depositado pelos rios em estuários e ambientes do delta, ambos perto de linhas costeiras (Fig. 29).

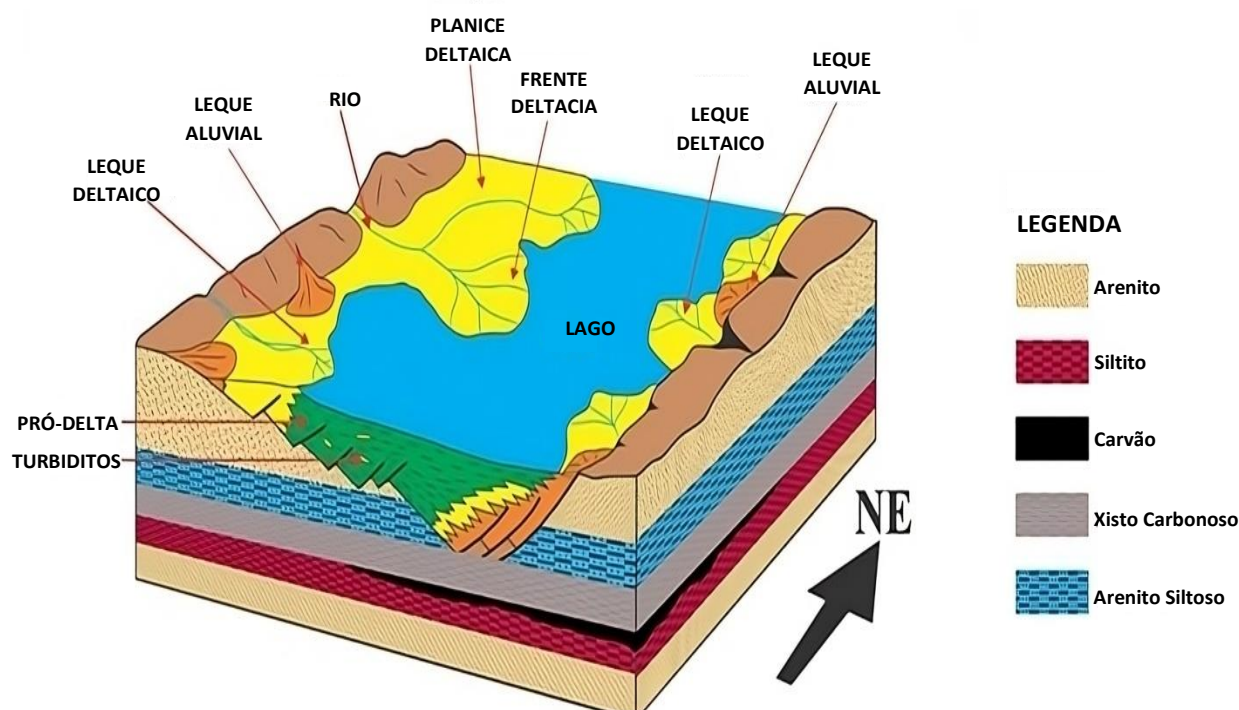


Figura 29: Representação esquemática do paleoambiente da área de estudo (adaptado de Paz, 2018).

5.5. Maturação Térmica da Matéria Orgânica

O estudo da maturação térmica da matéria orgânica permite compreender a história térmica a que os sedimentos foram sujeitos.

Para determinação da maturação térmica da matéria orgânica na secção JOG16N-5, foi possível integrando os valores de Índice de Coloração dos Esporos (ICE) e o Índice de Alteração Térmica (TAI). Entretanto, os valores de ICE e TAI foram obtidos pela observação dos grãos de pólen do género *Cycadopites cymbatus*, devido a sua abundância em relação aos esporos (Fig. 30 e 31).

De maneira geral, os valores de ICE obtidos para as amostras na secção JOG16N-5, mostrou variações de coloração dentre (amarelo, amarelo ouro ou escuro, amarelo escuro laranja, laranja e preto). No entanto, utilizando como parâmetro a tabela da *Robertson Research Internacional Limited*, (Fig.11) os resultado determinaram os valores de 2 à 10 indicando um grau de evolução térmica variando de imaturo, maduro e supermaturo para esta secção (Fig. 30) (Tab. 11).

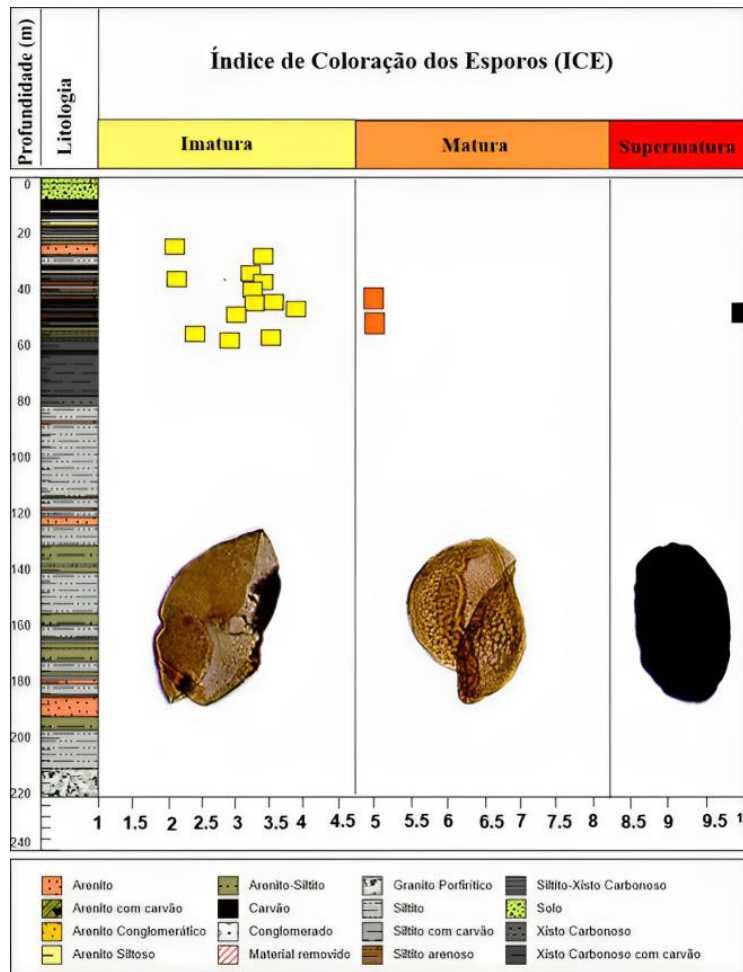


Figura 30: Índice de Coloração dos Esporos (ICE), indicando os níveis de maturação térmica das amostras analisadas da secção JOG16N-5 (Adaptado autor, 2023).

Por outro lado, os dados obtidos de TAI também apresentaram variações de coloração dentre (amarelo, amarelo ouro ou escuro, amarelo escuro laranja, laranja e preto). Entretanto os resultados mostraram que o material orgânico presente na secção encontra-se num grau de evolução térmica variando de imaturo, maduro e supermaturo, com valores entre 1.5 a 5 (Fig. 31) (Tab. 11).

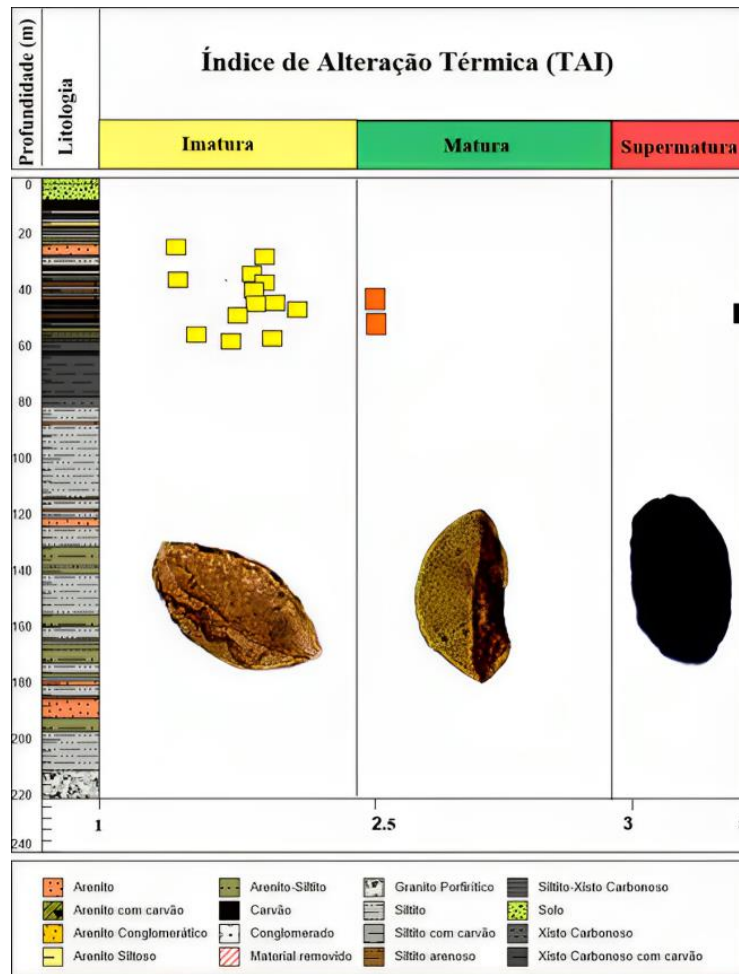


Figura 31: Índice do Alteração Térmica (TAI), indicando os níveis de maturação térmica das amostras analisadas da secção JOG16N-5 (Adaptado autor, 2023).

Contudo, os valores obtidos pelos dois métodos (ICE e TAI) são correlacionáveis entre si, e directamente proporcional à acção térmica efectiva sofrida e, consequentemente, ao estágio de maturação térmica atingida pela matéria orgânica, variando de imaturo, maturo e supermaturo (Tab. 11).

Para as rochas termicamente imaturas, não houve condições de temperatura e pressão durante a diagénese, isto é a temperatura e pressão não foram suficientes para a maturação da matéria orgânica (a conversão do querogénio em óleo ou gás) (Tyson, 1993).

Vale ressaltar, que os valores mais altos de maturação térmica na secção em estudo, podem estar associados ao provável craqueamento térmico em consequência da proximidade dos corpos ígneos intrusivos (kimberlitos) (Anexos 3), evidenciados no escurecimento dos esporomorfos, resultantes do intenso magmatismo durante a formação da bacia em estudo (Key et al., 2007 & Verniers et al., 1989).

Amostra	P (m)	ICE	TAI	Coloração	Maturação
BOX5 E8	20.67	3.5	2.1	Amarelo ouro ou escuro	Imaturo
BOX8E15	33.18	4	2.3	Amarelo ouro ou escuro e amarelo escuro laranja	Imaturo
BOX8 E16	33.46	4	2.3	Amarelo ouro ou escuro e amarelo escuro laranja	Imaturo
BOX8 E21	36	3.5	2.1	Amarelo ouro ou escuro	Imaturo
BOX8 E22	36.90	4	2.3	Amarelo ouro ou escuro e amarelo escuro ou laranja	Imaturo
BOX8 E23	37.05	3	2	Amarelo ouro	Imaturo
BOX9 E26	39.24	4	2.3	Amarelo ouro ou escuro e amarelo escuro ou laranja	Imaturo
BOX9 E28	41.44	4	2.3	Amarelo ouro ou escuro e amarelo escuro ou laranja	Imaturo
BOX10 E30	44.23	4	2.3	Amarelo escuro ou laranja	Imaturo
BOX10 E31	45.2	3.5	2.1	Amarelo ouro ou escuro	Imaturo
BOX10 E32	45.8	10	5	Preto	Supermaturo
BOX10 E33	46.10	5	2.5	Laranja	<i>Maturo</i>
BOX11 E36	48.37	5	2.5	Laranja	<i>Maturo</i>
BOX11 E39	50.1	3.5	2.1	Amarelo ouro ou escuro	Imaturo
BOX11 E41	51.15	4	2.3	Amarelo ouro, amarelo escuro ou amarelo laranja	Imaturo
BOX11 E42	51.73	2	1.5	Amarelo	Imaturo

Tabela 11: Correlação dos valores do ICE & TAI e posterior a acção térmica efetiva sofrida na secção JOG16N-5 (Adaptado autor, 2023).

5.6. Potencial Gerador de Hidrocarbonetos

A partir da relação dos componentes orgânicos com os tipos de querogénio, as amostras da secção em estudo mostraram uma mistura de componentes orgânicos (Fig.32). Entretanto, verificou-se a existência de três tipos de querogénio: o tipo II indicando uma boa qualidade de matéria orgânica para geração de óleo, o tipo III com potencial para geração de gás seco e o tipo IV, caracterizado por matéria orgânica altamente oxidada, e sem potencial para geração de hidrocarbonetos.

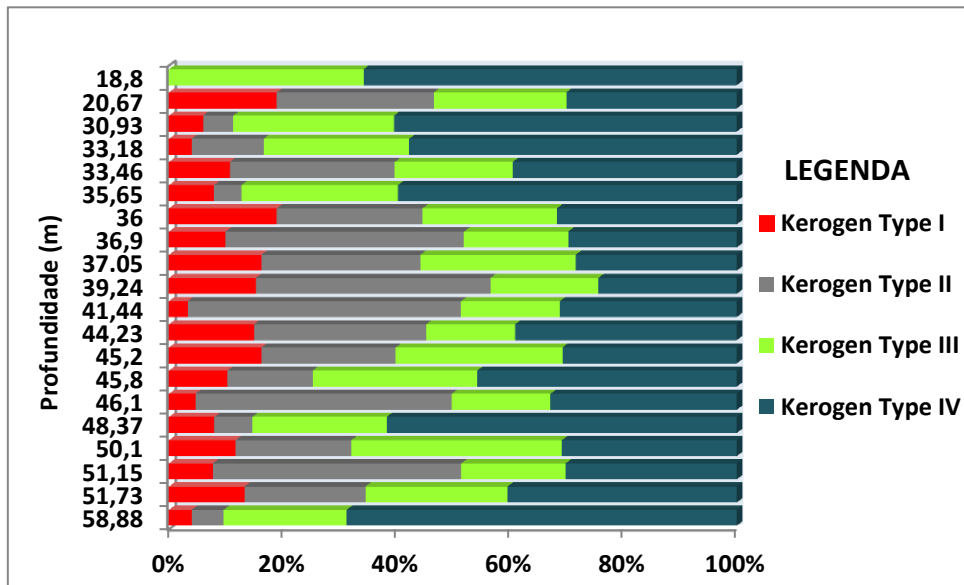


Figura 32: Gráfico indicando os tipos de querogénio da secção JOG16N-5 (adaptador de Nobre, 2022).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas após a realização do estudo visual do querogénio e as recomendações que se consideram pertinentes para trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

O presente trabalho traz condições relevantes para aprimorar o conhecimento sobre a formação K4, Bacia de Maniamba. Em virtude dos objectivos traçados no âmbito do presente trabalho, podem ser tomadas as seguintes conclusões:

- ❖ Na formação K4 destaca-se o domínio do grupo dos fitoclastos, seguido do grupo dos palinomorfos e em menor quantidade o grupo da matéria orgânica amorfa do total da matéria orgânica.
- ❖ Foram identificados três associações de palinofácies distintas, nomeados por palinofácies CD, C e D.
- ❖ As associações palinofaciológicas descritas mostraram o predomínio de matéria orgânica derivada de vegetais superiores terrestres, na qual sugere um ambiente flúvio-deltaico com alta taxa de sedimentação, sob condições deposicionais proximais óxica a muito óxica, caracterizando uma vegetação que se desenvolveu num clima tropical úmido.
- ❖ Os parâmetros de maturação térmica (Índice de Coloração de Esporos - ICE e Índice de Alteração Térmica - TAI) demonstraram que a secção sedimentar estudada encontra-se termicamente imatura, madura e supermatura.
- ❖ Em relação ao potencial gerador de hidrocarbonetos, os sedimentos da formação K4, estão representados pelo querogénio tipo II (Exinite), com boa qualidade de matéria orgânica para geração de óleo, querogénio tipo III (Vitrinite), com potencial para gás seco e abundante tipo IV (Inertinite) encontra-se matéria orgânica residual, altamente oxidada, e sem potencial para geração de hidrocarbonetos.

6.2. Recomendações

Com vista a aprimorar a fiabilidade dos resultados e as interpretações apresentados neste projecto científico, recomenda-se o seguinte:

- a) Que sejam feitos estudos similares com maior número de furos na Bacia de Maniamba, de modo a identificar o potencial gerador de hidrocarbonetos;
- b) Que sejam feitos estudo mais detalhados utilizando as técnicas como fluorescência e reflectância da vitrinite para análise de maturação térmica dos sedimentos da formação K4, devido ao alto nível de subjectividade dos métodos (ICE & TAI) utilizados nesse trabalho;
- c) Que sejam feitos estudos de biomarcadores estabelecendo a razão entre os isoprenóides Pristano/Fitano visando a aprimorar a compreensão do paleoambiente deposicional e a maturação térmica dos sedimentos formação K4;
- d) Que sejam feitos uma correlação entre os dados palinofaciológicos e as técnicas geoquímicas, como pirólise Rock-Eval e carbono orgânico total, a fim de avaliar o potencial gerador de hidrocarbonetos dos sedimentos da formação K4.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ ABREU, D. M. (2005). *Caracterização dos Componentes Orgânicos Particulados em Secções Devonianas da Bacia do Parnaíba*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Brasil.
- ❖ AFONSO, R.S. (1978). *A geologia de Moçambique (Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique) na escala 1:2.000.000*; Direcção Nacional de Geologia e Minas e Defesa do Subsolo, Imprensa Nacional de Moçambique, 2ª edição, Maputo, Moçambique, pp. 77-90.
- ❖ AFONSO, R.S. (1984). *Ambiente Geológico dos Carvões Gonduânicos de Moçambique - Uma Síntese*. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, t 70, fasc. 2, pp. 205-214.
- ❖ AFONSO, R.S. & MARQUES J. (1994). *Recursos Minerais da República de Moçambique. Contribuição para o seu conhecimento*. Instituto de Investigação Científica tropical de Portugal e Direcção Nacional de Geologia de Moçambique. 1ed., Lisboa, Portugal.
- ❖ ALVARENGA, M. V. S. (2010). *Fácies Orgânica e Evolução Térmica de Secção Sedimentar da Formação Codó, da Bacia do Parnaíba*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Brasil.
- ❖ AMARO, D. L. (1950). *Relatório da 1ª Brigada de Fomento Mineiro; (Campo Mineiro de Macequece, Lago Niassa)*; Campanha 1950, Relatório Anual.
- ❖ ANTUNES, M. T. (1975). *Sur Quelques Reptiles du Karroo de Maniamba, Moçambique, problèmes actuels de paléontologie-évolution des vertébrés*.
- ❖ ARAÚJO, R., MACUNGO, Z., SMITH, R. M., TOLAN, S., ANGIELCZYK, K. D., CROWLEY, J. (2020). *Biostratigraphic refinement of tetrapod-bearing beds from the Metangula Graben (Niassa Province, Mozambique). New radiometric dating and the first lower triassic tetrapod fossils from Mozambique. Palaeontologia africana*.
- ❖ BARNARD P.C.; COLLINS A.G. & COOPER B.S. (1981). *Identification and distribution of kerogen facies in a source rock horizon - examples from the north sea basin*. In: *Brooks J. (ed.) Organic maturation studies and fossil fuel exploration*, Academic Press, London, 271-282p

- ❖ BATTEN, D. J. (1996). *Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation; in jansonius, j. & mcgregor, d. c. (ed.), palynology: principals and applications; american association of stratigraphic palynologists foundation.*
- ❖ BOI, L. M. (2023). *Caracterização dos Componentes Orgânicos Particulados de alguns afloramentos da bacia de Maniamba como auxilio a pesquisa petrolífera.* Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia e Minas, ISCTEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ BORGES, A., FREITAS, F., NUNES, AF. (1950). *Relatorio da campanha da quarta brigada do fomento mineiro.* Relatorio ' inédito dos Serviços Geológicos e Mineiros de Lourenço
- ❖ BRITO, D.M. (2010). *Análise Organofaciológica e Determinação do potencial de Geração de Petróleo do Intervalo Formacional Rio da Batateira-Santana, Bacia do Araripe, ne do Brasil.* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências. Brasil
- ❖ CASTANHINHA, R., ARAÚJO, R., JUNIOR, LC, ANGIELCZYK, KD, MARTINS, GG, MARTINS, RM., CHAOUIYA, C., BECKMAN, F., WILDE, F. (2013). *Trazendo os Dicinodontes de volta à vida: Paleobiologia e Anatomia de um novo Gênero Emidóide do Permiano Superior de Moçambique.* Plos one 8 (12), e80974.
- ❖ CARVALHO, M.A., OLIVEIRA, D.C., MACHADO, L.G., MENDONÇA FILHO, J.G. (2005). *Sedimentação Albo-aptiana de Partículas Vegetais (Fitoclastos) em Rochas do Membro taquari, Formação Riachuelo, Bacia de Sergipe, Brasil.* Arquivos do Museu Nacional, Rio de Janeiro, V.63, N.3, P. 411-424.
- ❖ CATAUNEANU, O., WOPFNER, H., ERIKSSON, P.G., CAIRNCROSS, B., RUBIDGE, B.S., SMITH, R.M.H., HANCOX, P.J. (2005), *The Karoo Basins of South-Central African.* Journal of African Earth Sciences, 211-253.
- ❖ CERQUEDA, M. L. A. (2014). *Caracterização do Conteúdo Orgânico e Posicionamento palinoestratigráfico de sedimentos do cretáceo na área de aramari-bacia do recôncavo.* Universidade do estado do Rio de Janeiro. Brasil.

- ❖ CERQUEIRA, T.A. (2016). *Análise de palinofácies em testemunhos de águas profundas na bacia do ceará, Brasil*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil.
- ❖ COELHO, A. C. M. Q.; ANTONIOLI, L.; DINO, R.; PORTELA, H. A. (2014). *Avaliação do potencial gerador de petróleo da seção aptiana-albiana da bacia de sergipe, integrando análises palinofaciológicas e dados de geoquímica orgânica*. Revista Brasileira de Geociências, V. 44, N. 4, P. 579-595.
- ❖ COMBAZ, A. (1964). *Les palynofacies. revue de micropaleontologie*, paris, v. 7, n.3, p. 205-218.
- ❖ CORREIA, J. C. P. F. M. (2016). *Palinologia, palinofácies e maturação orgânica dos sedimentos da bacia de Moativa-Minjova, Karoo inferior, Moçambique*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Portugal.
- ❖ COSTA, M. S. P. L. (2015). *Palinoestratigrafia e maturação orgânica do Karoo da bacia de Moatize-Minjova moçambique*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade nova de Lisboa. Portugal.
- ❖ CUCHEQUE, J.J.M. (2022). *Descrição anatômica e identificação taxonómica de troncos fosseis do Graben de Metangula (Província de Niassa), com base nas laminas delgadas*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ CUMBANE, J. K. (2021). *Descrição anatômica comparativa e identificação taxonómica de um novo dicynodonte: dicynodon cf. angielczyki da formação k5c do Graben de Metangula- Província do Niassa*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ CUMBANE, J. Y. (2022). *Palinoestratigrafia da transição permo-triásica do karoo Graben de Metangula, norte de Niassa: Revisão*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia e Minas, ISCTEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ DE BOCK, F. AND VERNIERS, J. (1984). *The palynology of the Karoo Graben of Metangula, Niassa Province, n. Mozambique*. abstracts with international palynology conference.
- ❖ DOS MUCHANGOS, A. (1999). *Moçambique paisagens naturais, tipografia global*.

- ❖ ECL & ENH. (2000). *The petroleum geology and hydrocarbon prospectivity of mozambique*. V. 1, p. 1–123.
- ❖ FANTI, M. F.; FÉLIX, C. M.; DE, P. A. (2006). *Palinologia e palinofácies do subgrupo itararé : Análise de bioestratigráfico e paleoambiental*. v. 55, n.
- ❖ FERNANDES, P. (2000). *Investigation of the stratigraphy, maturation and source-rock potential of carboniferous black shales in the dublin basin*. Phd, Univ. of Dublin, Trinity College, pp. 1-287.
- ❖ GTK CONSORTIUM. (2006). *Notícia explicativa*; volume 4; Direcção Nacional de Geologia, Ministério dos recursos minerais, Maputo, Moçambique.
- ❖ GUILICHE, E.A. (2016). *Análise do sistema petrolífero da bacia do Rovuma (onshore), com base em geoquímica orgânica do furo Mocimboa-1, Moçambique*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM, Maputo, Moçambique.
- ❖ HACQUEBARD, P. A. & DONALDSON, J. R. (1969). *Carboniferous coal deposition associated with floodplain and limnic environments in nova scotia*.
- ❖ HUNT, J. M. (1996). *Petroleum geochemistry and geology*. w. h. freeman and company, new york.
- ❖ INSTITUTO NACIONAL DE PETRÓLEO (INP). (2014). *O Sector de Hidrocarbonetos em Moçambique – Quadro de política e regulação de petróleo e gás natural em Moçambique*; Maputo.
- ❖ JAPANESE OIL, GAS AND MINERALS, ELECTRICITY COMMISSION (JOGMEC). (2015). *Niassa research project, with national institute of mine of Mozambique*.
- ❖ JOURDAN, P & P E VERNIERS, J. (1981). *O Karoo da mancha de Metangula (Maniamba)*, Relatório final, pág. 6-11.
- ❖ KEY, R. M., BINGEN, B., BARTON, E., DAUDI, E. X. F., MANUEL, S., & MONIZ, A. (2007). *Kimberlites in a Karoo graben of northern Mozambique: Tectonic setting, mineralogy and Rb-Sr geochronology*. South African Journal of Geology, 110(1), 111–124. <https://doi.org/10.2113/gssajg.110.1.111>
- ❖ MACUNGO, Z. (2016). *Descrição osteológica e identificação taxonómica de vários fósseis de vertebrados do Niassa*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM. Maputo, Moçambique.

- ❖ MACUNGO, Z., LOIDE, I., ZUNGUZA, S., NHAMUTOLE, N., MAHARAJ, I.E.M., MUGABE, J., ANGIELCZYK, K.D., ARAÚJO, R. (2020). *Endothiodon (therapsida, anomodontia) specimens from the middle/late permian of the metangula graben (niassa province, mozambique) increase complexity to the taxonomy of the genus*, journal of african earth sciences 163, 103647.
- ❖ MAE – MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL. (2005). *Perfil do distrito do lago, Província de Niassa*; Direcção Nacional de Administração local, edição 2014; disponível em <http://www.portaldogoverno.gov.mz>. 28.
- ❖ MAGOON, L. B., & DOW, W. G. (1994). *The petroleum system - from source to trap*. *aapg bulletin*, 78(6), 812-834.
- ❖ MARIA, J. M.N. (2023). *Caracterização dos componentes do querogênio de um furo na bacia de Maniamba: contributo a pesquisa de hidrocarbonetos*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia e Minas, ISCTEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ MENDONÇA FILHO, J. G. (1999). *Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do paleozóico da bacia do paraná, sul do Brasil*. Tese de Doutorado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do sul, 2 volumes, 338 p.
- ❖ MENDONÇA FILHO, J.G., CARVALHO, M. A., MENEZES, T.R. (2002). *Palinofácies. in: técnicas e procedimentos para o trabalho com fósseis e formas modernas comparativas*, dutra, t.l. (ed.), unisinos, são leopoldo, pp. 20-24.
- ❖ MENDONÇA FILHO, J.G., MENEZES T.R., MENDONÇA, J.O., OLIVEIRA, A.D., CARVALHO, M.A., SANT'ANNA A.J., & SOUZA J.T.(2010a). *Palinofácies. in: carvalho, i.s. (eds.), Paleontologia, vol. 2. interciência, Rio de Janeiro*.
- ❖ MENDONÇA FILHO, J.G., MENEZES, T.R., MENDONÇA, J.O., (2011a). *Organic composition (palynofacies analysis). chapter 5. in: iccp training course on dispersed organic matter, porto, pp. 33-81*.
- ❖ MENDONÇA FILHO, J.G., SILVA, T.F., RONDON, N.F., KERN, M.L., DA SILVA, F.S., CARVALHAL, S.B.V., SABADINI-SANTOS, E., (2011b). *organic composition (geochemical analyses). chapter 6*.

- ❖ MENDONÇA FILHO, J., MENEZES, T., MENDONÇA, J., OLIVEIRA, A., SILVA, T., RONDON, N. (2012). *Organic facies: palynofacies and organic geochemistry approach. panagiotaras, d. (ed.)*, 248 p., isbn 978- 953-51-0586-2.
- ❖ MENEZES, T .R. (2004). *Aplicação de fácies orgânica na análise paleoceanográfica do talude continental superior recente da bacia de campos*, Rio de Janeiro,brasil. *Revista brasileira de paleontologia* 7(2):177-188. 2004.
- ❖ MILES, J.A. (1989). *Illustrated glossary of petroleum geochemistry*. Oxford Science publication,Oxford University press, New York, 137p.
- ❖ NHAMUTOLE, N., BAMFORD, M., & ARAUJO, R. (2021). *New species of protaxodioxylon (conifer wood) from the middle permian of the Metangula Graben (Niassa Province, Mozambique) and their implications*.
- ❖ NHAMUTOLE, N., MARION K. BAMFORD., PAULO A. SOUZA C & DERMEVAL A. CARMO. (2023). *Palynofacies analysis of the JOG16N-8 borehole, K5 formation from the Maniamba basin (Middle Permian), Mozambique: a contribution for hydrocarbon exploration*. *Journal of african earth sciences*.
- ❖ NHASSENGO, A. B. (2016). *Estudo de fósseis de vertebrados do Graben de Metangula Província do Niassa com recurso ao acervo e base de dados da UEM*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ NOBRE, M. DE P. (2022). *Análise de palinofácies e maturação térmica dos sedimentos da formação k5 do Graben de Metangula: interpretação paleoambiental e potencial para geração de hidrocarbonetos*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ NORCONSULT. (2007). *Notícia explicativa*. Maputo, Moçambique: Direcção Nacional de Geologia.
- ❖ PAULINO, F.J.P. (2009). *Proposta duma estratigrafia do supergrupo do Karoo de Moçambique, à luz dos dados da nova cartografia geológica na escala 1:250.000*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM, Maputo, Moçambique.

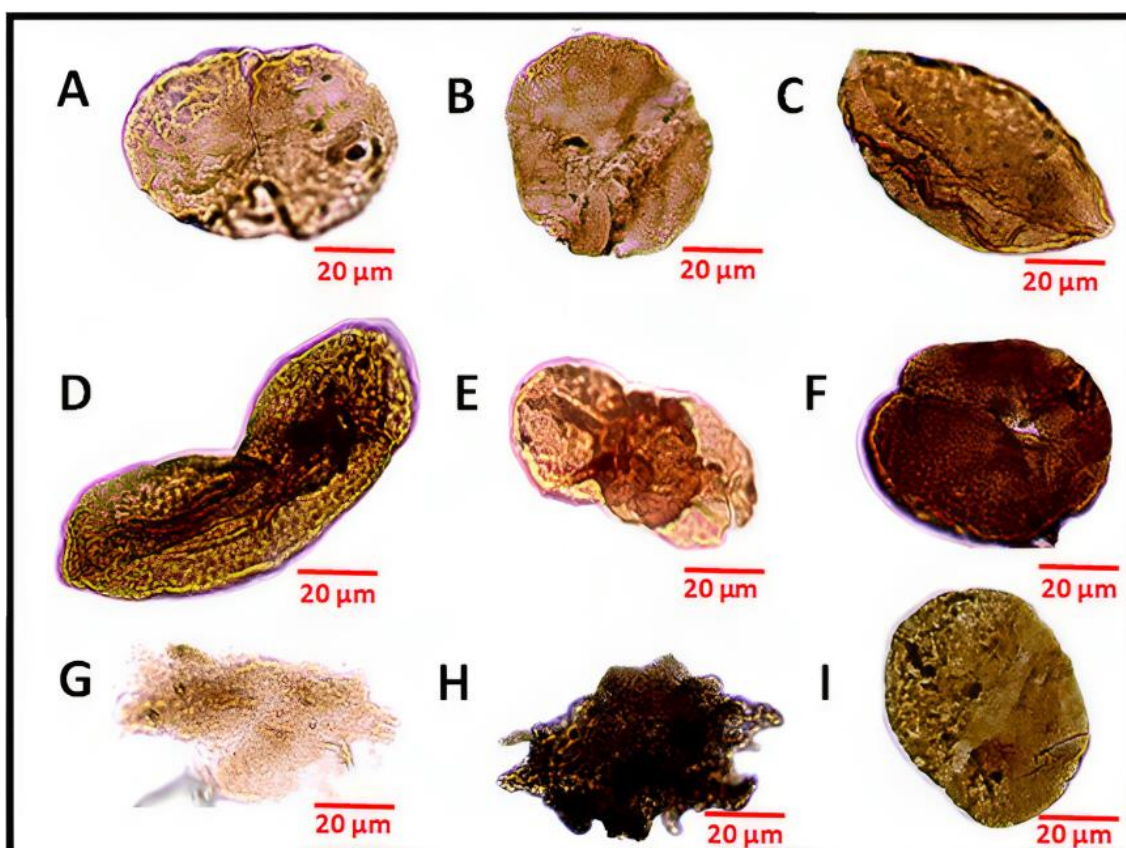
- ❖ PAULINO, F. P., VASCONCELOS, L., & MARQUES, J. (2009). *Estratigrafia do Karoo em Moçambique*. Novas unidades. X congresso de geoquímica dos países de língua Portuguesa, October 2016.
- ❖ PAZ, V. M. A. (2018). *Sistemas deposicionais e fácies sedimentares da bacia carbonífera de Maniamba – Província de Niassa*. Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM. Maputo, Moçambique.
- ❖ PETERS, K. E., & CASSA, M. R. (1994). *Applied source rock geochemistry. the petroleum system - from source to trap*, January 1994, 93–120.
- ❖ SEYVE, C. (1990). *Introdução a micropaleontologia*. Angola, elf aquitaineangola, 231p.
- ❖ STAPLIN, F.L. (1969). *Sedimentary organic matter, organic metamorphism and oil and gas occurrence*. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, v.17.
- ❖ SPIGOLON, A.L.D. (2003). *Palinofácies e faciologia orgânica da formação alagamar (aptiano da bacia potiguar, Brasil): paleoambiente e maturação térmica*. Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasil.
- ❖ TISSOT, B.P., WELTE, D.H. (1984). *Petroleum formation and occurrence* (second revised edition), springer-verlag. Berlin.
- ❖ TISSOT, B. P., & WELTE, D. H. (1978). *Sedimentary processes and the accumulation of organic matter*. in petroleum formation and occurrence. https://doi.org/10.1007/978-3-642-96446-6_5.
- ❖ TRAVERSE, A. (1988). *Paleopalynology*, Unwin Hyman, Boston, 600 p.
- ❖ TRAVERSE, A. (2007). *Paleopalynology*. 2nd edition. Springer Science & Business Media.
- ❖ TSCHUDY, R.H. (1961). *Palynomorphs as indicators of facies environments in uppercretaceous and lower tertiary strata, colorado and wyoming*. in: Wyoming Geological Society, 16th annual field conference, guidebook, pp. 53-9new york: springer.
- ❖ TYSON, R. V. (1989). *Late jurassic palynofacies trends, piper and kimmeridge clay formations, uk onshore and northern north sea*. The British Micropalaeontological Society.

- ❖ TYSON, R.V. (1993). *Palynofacies analysis. in: applied micropaleontology, jenkins, d.g. (ed.), kluwer academic publishers. The Netherlands, Amsterdam, pp. 153– 191.*
- ❖ TYSON, R. V. (1995). *Sedimentary organic matter. organic facies and palynofacies.* Chapman & hall. Londres.
- ❖ VALE MOÇAMBIQUE, (2014). *Projecto e desenvolvimentos: avaliação da ocorrência de carvão existente na bacia carbonífera de Maniamba.* Provincia de Niassa; Moçambique.
- ❖ VASCONCELOS, L. (2009). *Cool in Mozambique, symposium on gondwana coals.*
- ❖ VASCONCELOS, L. E ACHIMO, M. (2010). *O carvão em Moçambique. ciências geológicas – ensino e investigação da sua história, in: cotelo neiva, j. m., ribeiro, a., mendes victor, noronha, f. e ramalho, m. m. (eds.). Geologia das ex-colónias de África, Moçambique, Lisboa.*
- ❖ VERNIERS, J. (1982). *Relatorio final: O Karoo de mancha de Metangula (Maniamba), Brigadas Geologicas de 1997 ate 1980.* Direcção Nacional de Geologia, pp.28.
- ❖ VERNIERS, J., JOURDAN, P.P., PAULIS, R.V., FRASCA-SPADA, L., DE BOCK, F.R. (1989). *The karroo graben of metangula northern Mozambique.* J. AFR. EARTH SCI. 9, 137–158.
- ❖ VINCENTE, A., ALMEIDA, C., CAMARINHAS, M., ROCHA, D. (1950). *Relatorio de actividade da 2a brigada de fomento mineiro para a região de Maniamba. Relatorio ´ in´edito dos serviços geológicos ´ de Moçambique, p. 152 pp. (in portuguese).*
- ❖ ZIMBA, D. A. (2022). *Bioestratigrafia de um testemunho Paleozóico da bacia carbonífera de Maniamba, provincia de Niassa.* Tese de Licenciatura, Departamento de Geologia, UEM. Maputo, Moçambique.

ANEXOS

Anexos 1. Componentes orgânicos particulados encontrados em lâminas orgapalinológica da secção JOG16N-5, analisado sob luz branca transmitida com objectiva 40x, numa escala de 20µm.

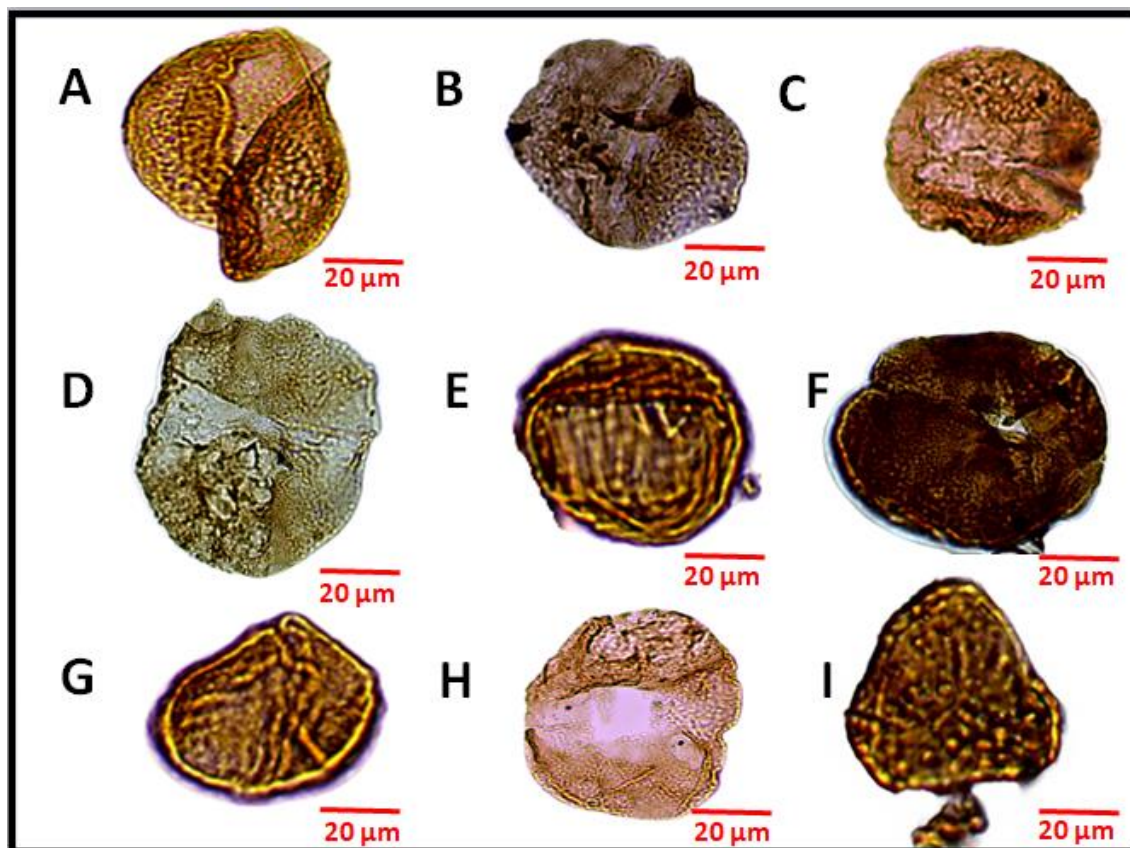
Anexos 1.1. Estampa 1 e legenda.



Legenda

- A: Grão de pólen monossacado;
- B: Grão de pólen monossacado;
- C: Grão de pólen monossacado;
- D: Grão pólen bissacado;
- E: Grão pólen bissacado;
- F: Grão de pólen monossacado;
- G: Matéria orgânica amorfa;
- H: Matéria orgânica amorfa;
- I: Grão de pólen monossacado.

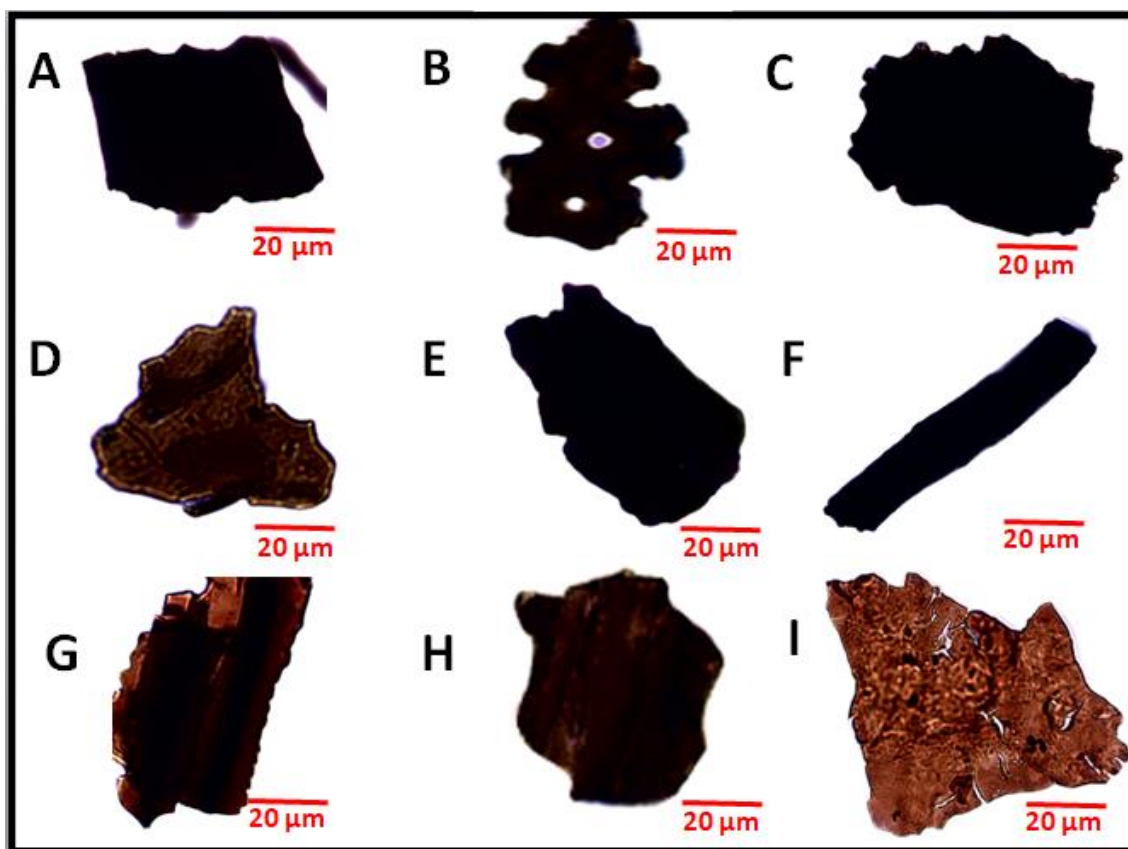
Anexos 1.2. Estampa 2 e legenda.



Legenda

- A: Grão de pólen monossacado;
- B: Grão de pólen monossacado;
- C: Grão de pólen monossacado;
- D: Grão de pólen monossacado;
- E: Esporo monolete;
- F: Grão de pólen monossacado;
- G: Esporo monolete;
- H: Grão de pólen monossacado;
- I: Esporo trilete.

Anexos 1.3. Estampa 3 e legenda.

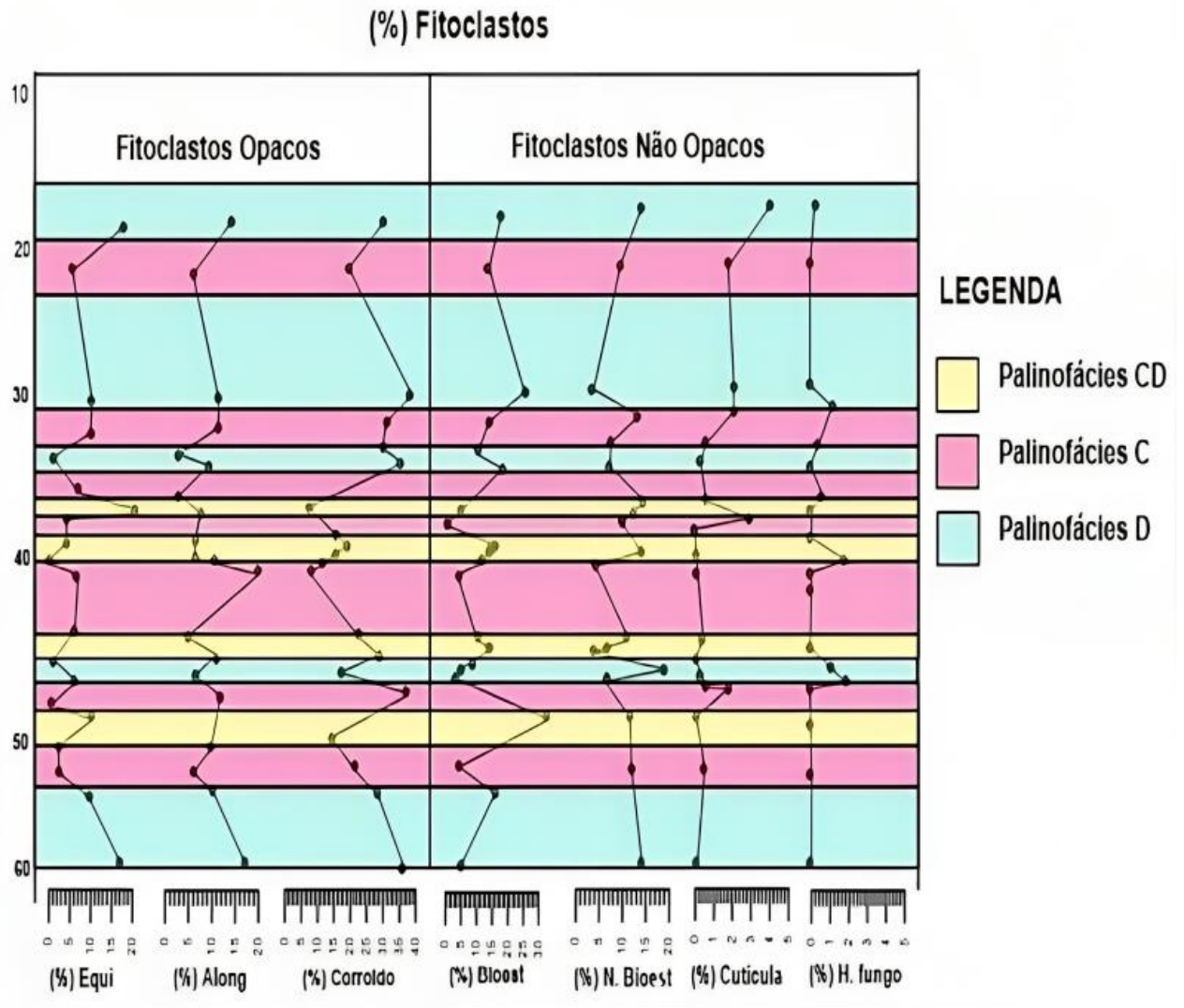


Legenda

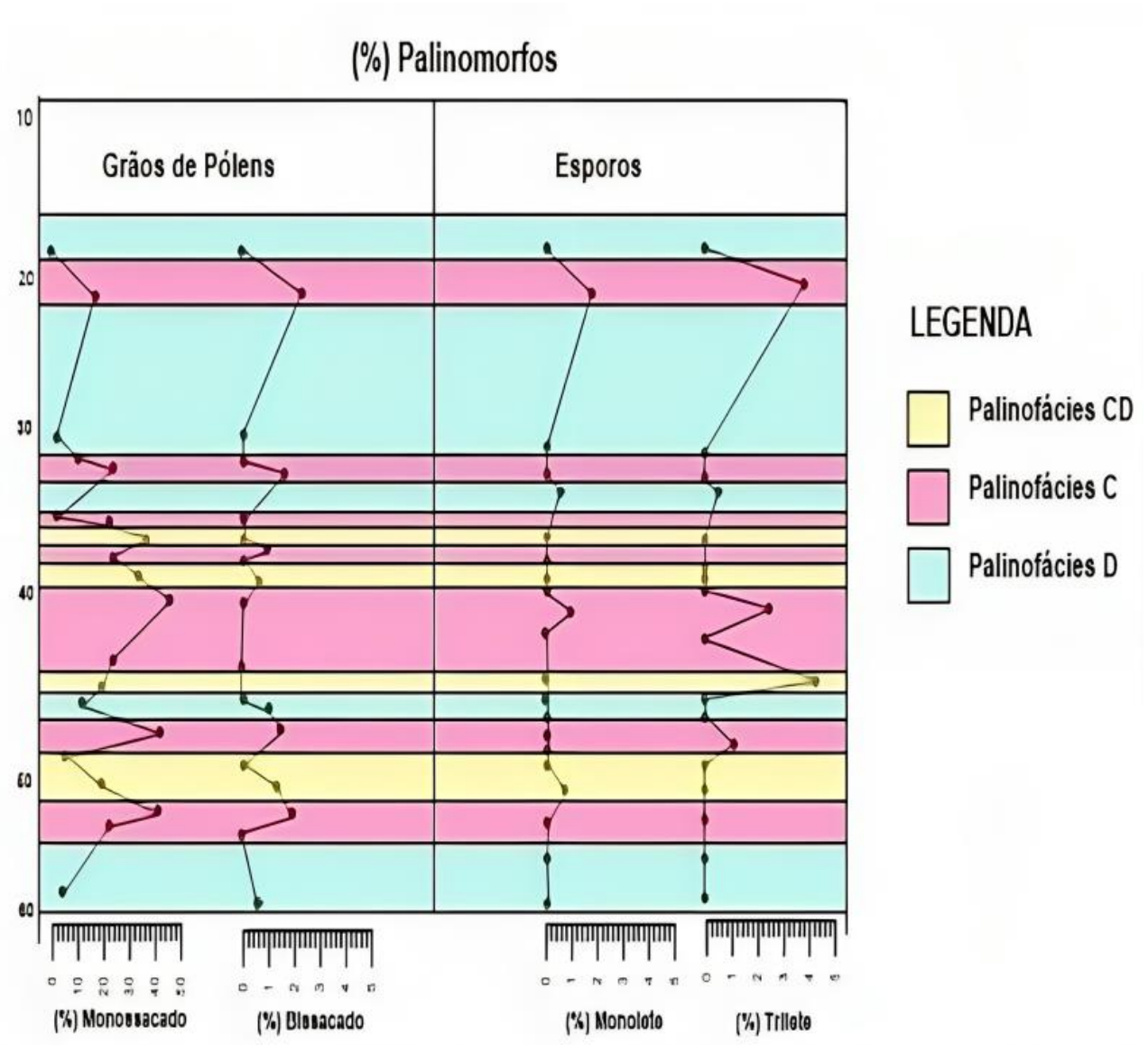
- A: Fitoclasto opaco equidimensional;
- B: Fitoclasto não opaco biostruturado;
- C: Fitoclasto opaco corroído;
- D: Fitoclasto não opaco não biostruturado;
- E: Fitoclasto opaco equidimensional;
- F: Fitoclasto opaco alongado;
- G: Fitoclasto não opaco não biostruturado;
- H: Fitoclasto não opaco não biostruturado;
- I: Cutícula.

Anexos 2. Variação dos valores percentuais dos subgrupos de componentes da matéria orgânica.

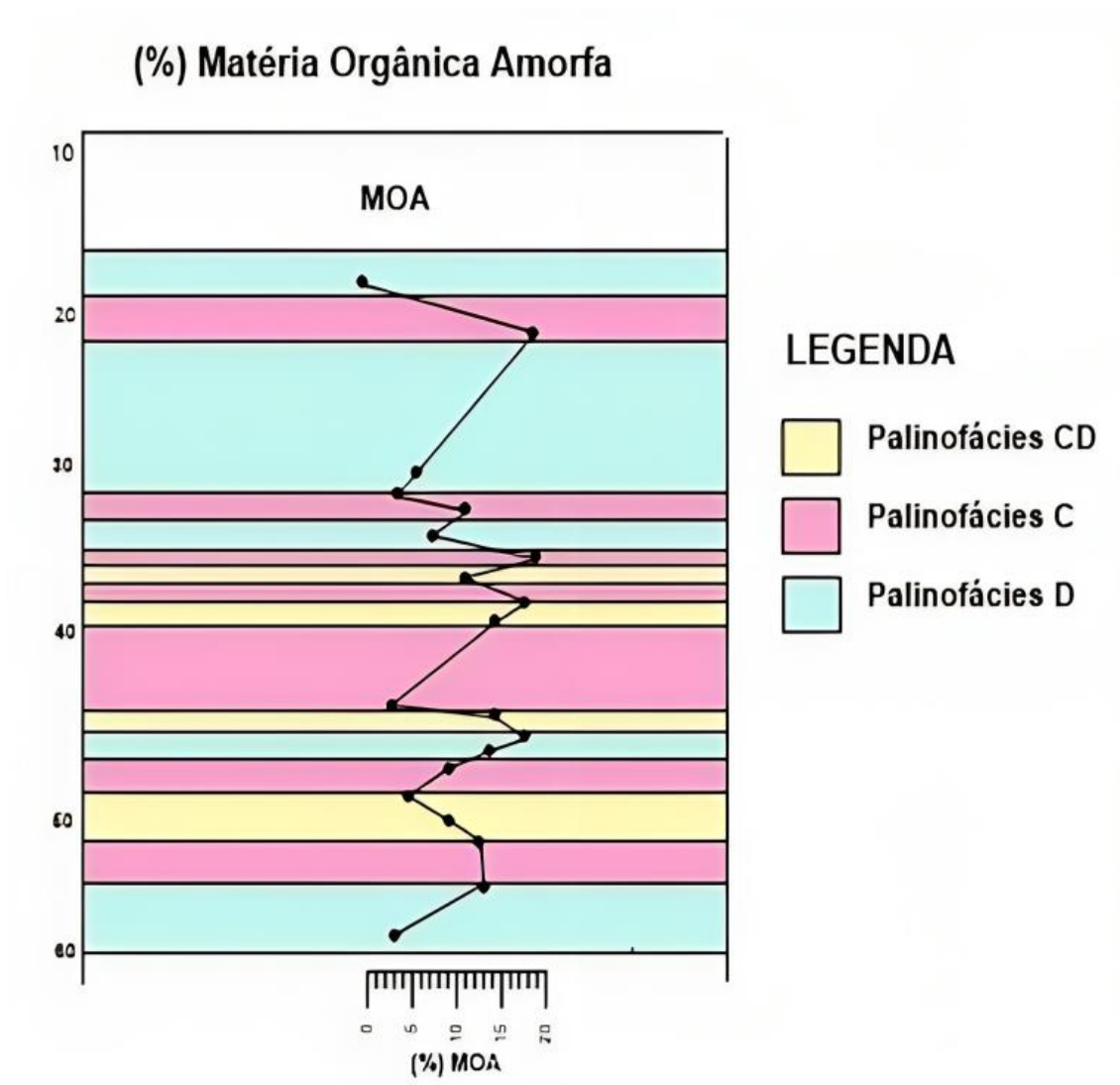
Anexos 2.1. Grupo dos fitoclastos e legenda.



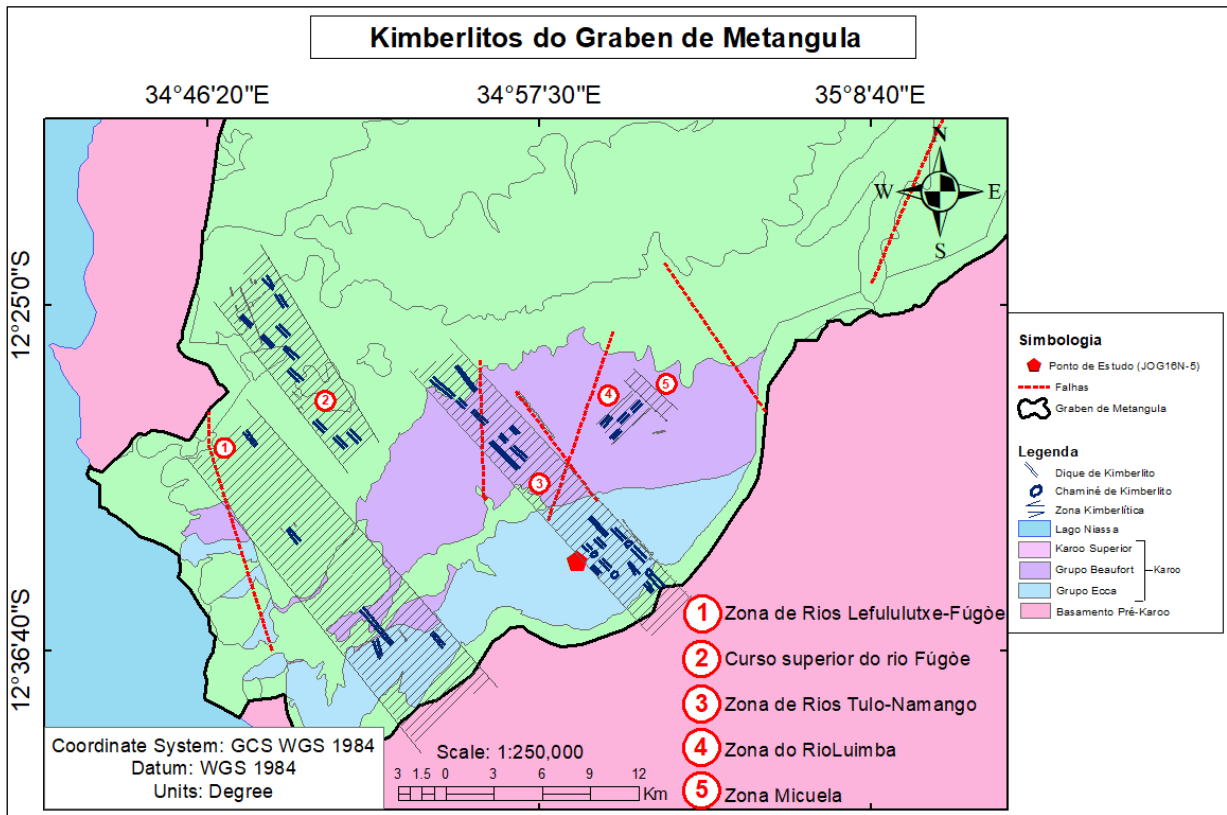
Anexos 2.2. Grupo dos palinomorfos e legenda.



Anexos 2.3. Grupo da matéria orgânica amorfa e legenda.



Anexos 3: Kimberlitos do Graben de Metangula (Adaptado de Key et al., 2007).



Anexos 4. Ficha de contagem de componentes particulados da matéria orgânica.

Palinomorfos		Quantidade							Subtotal	Total
Grãos depólen	Monossacado									
	Bissacado									
Esporos	Alete									
	Monolete									
	Trilete									
Fitoclastos não opacos	Bioestruturado									
	Não Bioestruturado									
	Cutícula									
	Membrana									
	Tecidos de plantas									
Fitoclastos opacos	Hifas de fungo									
	Equidimensional									
	Alongado									
MOA	Corroído									
	Resina									
	Matéria orgânica amorfa									

**Avaliação do Potencial Gerador de Hidrocarbonetos na Secção JOG16N-5 da
Formação K4 - Bacia de Maniamba**

2024

Anexos 5. Valores percentuais dos grupos e subgrupos da matéria orgânica da secção JOG16N-5.

AMOSTRAS	LITOLÓGICAS	P (m)	FITOCLASTOS											PALINOMORFOS						MOA		PALINOFACEIS			
			%			%								%			%								
			OPACO			NAO OPACO								PÓLEN			ESPOROS		MOA						
Eq	Al	Cor	B	NB	Cut	Me	Cort	Hf	Mo	Bi	Alet	Mon	Tri	Moa	Res										
BOX5 E7	Arenito-Silito	18.80	16.33	15.00	34.33	65.67	12.00	17.33	4.67	0.00	0.00	0.30	34.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D
BOX5 E8	Arenito-Silito	20.67	6.33	5.00	18.67	30.00	10.33	11.33	1.67	0.00	0.00	0.00	23.33	19.33	2.33	21.66	0.00	2.00	4.00	6.00	19.00	0.00	19.00	C	
BOX7 E13	Silito	30.93	9.33	14.00	37.00	60.33	17.67	8.67	2.00	0.00	0.00	0.00	28.34	5.33	0.00	5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	6.00	D	
BOX8 E15	Silito	33.18	9.33	15.67	32.67	57.67	8.00	14.33	2.00	0.00	0.00	1.33	25.66	12.67	0.00	12.67	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	4.00	D	
BOX8 E16	Silito	33.46	3.00	5.67	30.67	39.34	6.67	12.67	0.67	0.00	0.00	0.67	20.68	26.67	1.33	28.00	0.00	0.67	0.33	1.00	10.70	0.00	10.70	C	
BOX8 E20	Arenito-Silito	35.65	10.67	11.00	36.00	57.67	13.67	12.67	0.33	0.00	0.00	0.00	26.67	4.67	0.00	4.67	0.00	0.00	0.00	0.00	7.67	0.00	7.67	D	
BOX8 E21	Arenito-Silito	36	19.67	6.67	5.30	31.64	6.33	16.00	1.00	0.00	0.00	0.33	23.66	25.67	0.00	25.67	0.00	0.00	0.00	0.00	19.00	0.00	19.00	C	
BOX8 E22	Silito	36.90	4.33	8.67	16.67	29.67	4.00	11.00	3.33	0.00	0.00	0.00	18.33	41.00	1.00	42.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	10.00	CD	
BOX8 E23	Silito	37.05	4.00	6.33	18.00	28.33	12.33	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.33	27.00	0.00	27.00	0.00	1.00	0.00	1.00	16.30	0.00	16.30	C	
BOX9 E26	Silito	39.24	2.33	6.67	15.33	24.33	11.00	6.00	0.00	0.00	0.00	2.00	19.00	38.33	0.67	39.00	0.00	0.00	2.33	2.33	15.30	0.00	15.30	CD	
BOX9 E28	Silito	41.44	7.67	9.67	13.67	31.01	3.67	13.67	0.00	0.00	0.00	0.00	17.34	48.00	0.00	48.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	3.33	CD	
BOX10 E30	Silito	44.23	6.67	21.00	11.33	39.00	9.00	6.00	0.67	0.00	0.00	0.00	15.67	26.00	0.00	26.00	0.00	0.00	4.33	4.33	15.00	0.00	15.00	C	
BOX10 E31	Silito	45.2	3.67	5.00	22.00	30.67	10.00	19.33	0.00	0.00	0.00	0.00	29.33	23.67	0.00	23.67	0.00	0.00	0.00	0.00	16.30	0.00	16.30	C	
BOX10 E32	Arenito-Silito	45.8	7.00	11.00	27.67	45.67	7.67	20.00	0.33	0.00	0.00	1.00	29.00	14.00	1.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.30	0.00	10.30	C	
BOX10 E33	Xisto Carbonoso	46.10	5.67	8.00	19.00	32.67	7.00	8.00	0.67	0.00	0.00	1.67	17.34	41.67	1.67	43.34	0.00	0.67	1.00	1.67	4.67	0.00	4.67	CD	
BOX11 E36	Xisto Carbonoso	48.37	10.00	13.33	38.33	61.66	6.67	15.00	2.00	0.00	0.00	0.00	23.67	6.67	0.00	6.67	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	8.00	D	
BOX11 E39	Xisto Carbonoso	50.1	5.33	10.67	14.67	30.67	29.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.00	19.00	1.33	20.33	0.00	0.00	0.00	0.00	11.70	0.00	11.70	C	
BOX11 E41	Xisto Carbonoso	51.15	5.00	7.67	17.33	30.00	5.33	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.33	42.00	1.67	43.67	0.00	0.00	0.00	0.00	7.67	0.00	7.67	CD	
BOX11 E42	Xisto Carbonoso	51.73	9.33	9.00	22.00	40.33	11.00	13.33	0.67	0.00	0.00	0.00	25.00	21.30	0.00	21.30	0.00	0.00	0.00	0.00	13.30	0.00	13.30	C	
BOX12 E45	Arenito-Silito	58.88	16.33	17.00	35.33	68.66	6.67	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.67	5.00	0.67	5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	4.00	D	

Eq. = Equidimensional; El. = Elongado; Cor. = Corroído; B. = Biostruturado; NB. = Nao Biostruturado; Cut = Cuticula; Me. = Membrana; Cort. = Cortex; Hf. = Hifas de fungo; Mo.= Monossacado; Bi.= Bissacado; Alet.=Alete; Mon.=Monolete; Tri.=Trilete; Res. = Resina.

