



**FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOLOGIA APLICADA**

PROJECTO CIENTÍFICO

Tema:

Análise de biomarcadores em rochas pérmicas da bacia de Maniamba, Niassa como auxílio a pesquisa de hidrocarbonetos.

Candidata:

Mwanasha Sanía João Mourato Da Silva

Maputo, Novembro de 2025



**FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

CURSO DE LICENCIATURA EM GEOLOGIA APLICADA

PROJECTO CIENTÍFICO

Análise de biomarcadores em rochas pérmicas da bacia de Maniamba, Niassa como auxílio a pesquisa de hidrocarbonetos.

Candidata:

Mwanasha Sanía João Mourato Da Silva

Supervisores:

MSc. Belarmino Massingue – Supervisor (UEM)

Dr. Nelson Nhamutole – Co-Supervisor (Museu Nacional de Geologia e University of the Witwatersrand)

Maputo, Novembro de 2025

*“O começo de todas as ciências é o espanto
de as coisas serem o que são”. (Aristóteles)*

DEDICATÓRIA

Este trabalho dedico inteiramente a minha mãe, **Bibiana Adriano João**, pois os seus abraços sempre se abriram quando precisei de um abraço, o seu coração soube compreender quando precisei de uma amiga, seus olhos sensíveis se endureceram quando precisei de uma lição, a sua força e o seu amor me dirigiram pela vida e me deram as asas que eu precisava para voar.

AGRADECIMENTOS

À minha Mãe, pelo apoio, amor e carinho, pela sua dedicação a mim, por me ter dado forças, suporte emocional e financeiro que foi basilar a continuação dos meus estudos.

A minha querida Irmã, Edima Juma minha amiga verdadeira , somos tão diferentes e complementares, mas somos eternas quando juntas, que me socorre e está presente até em meus piores momentos e sobre quem eu me espelho , que desde cedo cuidou de nós, graças a ela ganhei uma segunda mãe, com ela aprendi a cuidar sempre dos meus e a viver a vida intensamente fazendo o que me faz bem.

As minhas irmãs, Atija e Alberta por fazerem parte deste processo dia-pós-dia, por tornarem meus dias mais leves com os nossos momentos de alegria , que este trabalho sirva de exemplo para lembrar que, “se não correremos atrás das nossas coisas, que ninguém fará por nós” .

Ao meu sobrinho Mily , meu primeiro grande amor, fonte do meu orgulho, que roubou meu coração e me mostrou que existia o tal do “instinto materno”, parece que faz pra me alegrar porque tem os mesmos gostos que eu, que este trabalho sirva-te de inspiração , como sempre te ensinei “plantar boas coisas para colher boas coisas “ .

Ao meu supervisor, Nelson Nhamutole que para além das incríveis lições durante a elaboração do presente trabalho foi e é uma iminente fonte de inspiração para mim. Igualmente, ao Dr. Daúde Jamal pelos ensinamentos fascinantes que depositaram em mim durante o meu processo estudantil, o meu muito obrigada.

Aos meus tios, Betinha Simila e Ismael Chale , pois foram os meus segundos pais. Lembro-me do primeiro dia de aulas quando a minha tia acordou cedo para me ajudar-me na arrumação dos meus pertences e o meu tio acompanhou-me á faculdade até a porta da sala de aulas, deu-me um abraço e disse-me “ tudo vai correr bem e se ficares com receio e medo, eu estarei aqui fora a tua espera” , naquele momento consegui sentir a emoção e o orgulho transbordando do seu rosto . Obrigada tios, por me encherem sempre de muito amor, vos amo muito.

Aos colegas de turma de Geologia Aplicada 2019, em especial aos meus amigos (Mário Massango, Teófilo Miguel , Cremilda Jéssica , Edsan Nhoela, Laura Vilanculos, Yussufo Alfádega, Shelton Uamusse, Nélío Miguel, Lutécio Sambe, Mário Mosse, Olímpio De Deus, Dinis Palme, Milton Milambo pelas discussões e ensinamentos, por estarem presentes em minha vida, pela amizade e apoio.

Ao Adelio Maló e Admiró Jorge pelo auxílio dado ao longo do processo de elaboração do presente trabalho. Igualmente, ao Pedro Chuva por ter sido tão companheiro ao longo da minha formação.

Aos meus amigos, Saifodine Carlos, Freddy Chirindza pelo suporte moral, apoio incondicional e ensinamentos.

A todos que de forma directa ou indirecta contribuíram para a minha formação académica, o meu **KOSHUKURO**.

E por fim e não menos importante, dedico este trabalho a mim mesmo, por todo esforço incondicional que fiz para concluir este projecto .

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Mwanasha Sanía João Mourato Da Silva**, declaro por minha honra que o presente Projecto Científico é da minha autoria, com orientação dos supervisores, seu conteúdo é genuíno e todas consultas bibliográficas realizadas foram devidamente citadas no texto e constam das referências bibliográficas, igualmente este trabalho nunca foi apresentado em nenhuma instituição de ensino para a obtenção de qualquer grau académico.

Por ser verdade, subscrevo-me!

(Mwanasha Sanía João Mourato Da Silva)

RESUMO

Este Projecto Científico investigou o potencial gerador de hidrocarbonetos em sedimentos interceptados pelo furo JOG16N-6, na Bacia de Maniamba, Província de Niassa, uma região ainda pouco estudada em termos petrolíferos. Para isso, foram recolhidas amostras compostas por sedimentos finos e ricos em matéria orgânica, posteriormente analisadas por cromatografia gasosa e cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massa, técnicas que permitiram determinar parâmetros associados à fração saturada dos hidrocarbonetos.

Os sedimentos paleozóicos foram avaliados através de biomarcadores para identificar a origem da matéria orgânica, seu grau de evolução térmica e o ambiente deposicional. A Geoquímica Orgânica fornece meios para compreender a distribuição e preservação da matéria orgânica, incorporada aos sedimentos em ambientes aquáticos e terrestres e, posteriormente, soterrada conforme a história deposicional da bacia.

A distribuição dos n-alcanos revelou padrão unimodal, dominado por compostos de médio e alto peso molecular, indicando forte contribuição de matéria orgânica terrestre. Valores de Índice de Preferência do Carbono (CPI), Preferência Ímpar sobre Par (OEP), razões entre $18\alpha(H)-(Ts)/17\alpha(H)-(Tm)$, parâmetros de isomerização em esteranos (C29, C30, C31 e C32) e dados de ICE e reflectância de vitrinite apontam para matéria orgânica com baixa evolução térmica.

A matéria orgânica apresenta querogénio Tipo III, variando para mistura dos Tipos II e III, o que sugere potencial para geração de gás e de uma combinação gás-petróleo. Os biomarcadores indicam deposição em ambiente entre óxico e anóxico, com matéria orgânica de origem terrestre, e maturação situada entre imaturo e início da fase maturada. Recomenda-se a realização de estudos geofísicos adicionais (2D e 3D), abertura de furos de maior profundidade e análises das frações aromáticas e polares para complementar a avaliação do potencial petrolífero da bacia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa ilustrando a localização geográfica da área de estudo.....	16
Figura 2: Mapa Regional das Bacias do Karoo mostrando o Graben de Metângula, o prolongamento NNE da Bacia de Selous na Tânzania e sedimentos de Karoo com tendências N-S nas Bacias Costeiras de Moçambique e Tanzânia (adaptado de Verniers et al.,1989).....	18
Figura 3: Mapa geológico da bacia de Maniamba. Cortesia do Msc. Nhamutole	20
Figura 4: Sequência estratigráfica da Bacia de Maniamba, after Verniers et al, 1982.	21
Figura 5: Log sedimentar das formações atravessadas pelo furo JOG16N-6.....	22
Figura 6: Estágios evolutivos da matéria orgânica em petróleo (óleo e gás).....	27
Figura 7: Diagrama ilustrativo de factores influenciadores da preservação da Matéria orgânica.	30
Figura 8: Exemplo de diagrama ternário mostrando o perfil de maturação de extratos (betumes) ou óleos em função dos percentuais (%) das frações de hidrocarbonetos saturados, aromáticos e de compostos altamente polares (NSO).....	32
Figura 9: A) cromatograma do ião Total (TIC) dos hidrocarbonetos saturados. B) cromatograma de massa (mz/85) para os hidrocarboentos saturados.....	38
Figura 10: Diagrama da evolução da maturação térmica do furo JOG16N-6, mostrando uma variação de imaturo a maturo inicial.	39
Figura 11: Tricíclico, tetracíclico e pentacíclico em cromatogramas de massas (m/z 191) do furo JOG16N-6.	40
Figura 12: Evolução térmica da do furo JOG16N-6 a partir da refletância de vitrinite.	41
Figura 13: Relação de isoprenóides Pristano e fitano mostrando os diferentes tipos querogênio, bem como paleoambiente deposicional da matéria orgânica.....	42
Figura 14: Variação das razões de isoprenóides/ n-alcanos com a profundidade (A) e análise da variação do paleoambiente deposicional com a profundidade (B).....	43
Figura 15: Plote de C27/C29 vs Pristano/Fitano mostrando as a predominância de condições anóxicas durante a deposição da matéria orgânica, (A). Diagrama ternário caracterizando os paleoambientes deposicionais do furo em estudo (B). (El Nady et al., 2016)(Souza et al., 2021).....	44

Figura 16: distribuição da Paleoflora albergando Glossopteris no mapa do Gondwana. A Bacia de Maniamba está indicada a Vermelho, adaptado de McLoughlin, 200146

Figura 17: Diagrama pristano/ fitano vs esterano ilustrando ambientes deposicionais da matéria orgânica47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quadro resumo dos principais biomarcadores, adaptado de Peters, 200532

Tabela 2: Coordenadas referentes ao furo seleccionado para o presente estudo16

Tabela 3: Resultados de análise de biomarcadores do furo JOG16N635

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados de análise de biomarcadores do furo JOG16N6 .**Error! Bookmark not defined.**

Anexo 2: Cromatogramas gasosas**Error! Bookmark not defined.**

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

% - Percentagem

°C - Graus Centígrados

BCM – Bacia Carbonífera de Moatize

C17

C18

C19

C20

C29

COT - Carbono Orgânico Total

CPI - Índice de Preferência de Carbono

ENH - Empresa Nacional de Hidrocarbonetos

INP - Instituto Nacional de Petróleos

MAE – Ministério da Administração Estatal

MO - Matéria Orgânica

OEP - Predominância Ímpar ou Par

Pr - Pristano

Ph - Fitano

R - Epímero Biológico

S - epímero Geológico

SOM - Soluble Organic Matter

Ts - Trisneohopano

TAR - Proporção Aquosa Terrígena

TIC - Cromatograma do Ião Toatal

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	i
DECLARAÇÃO DE HONRA	iii
RESUMO	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE ANEXOS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	viii
GENERALIDADES	11
1 Introdução.....	11
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	12
1.2 OBJECTIVOS	13
1.3 RELEVÂNCIA DO PROJECTO CIÊNTÍFICO	13
1.4 METODOLOGIA	14
2 CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO	16
2.1 Localização da Área de Estudo.....	16
2.2 Clima e Hidrologia.....	17
2.3 Geomorfologia e Relevo	17
2.4 Enquadramento Geológico.....	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
3.1 Bacias de Rift.....	23
3.2 Processos de Geração de Petróleo.....	26
3.3 Geoquímica Orgânica	28
3.4 Factores que Influenciam a Preservação e Acumulação de Matéria Orgânica em Sedimentos	28
3.5 Técnicas Empregadas na Caracterização Geoquímica Orgânica	30

3.6	Principais Biomarcadores Estudados em Geoquímica Orgânica e suas Informações	32
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	34
4.1	Biomarcadores de evolução térmica	36
4.2	Interpretação do Paleoambiente deposicional.....	44
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	48
5.1	CONCLUSÕES	48
5.2	RECOMENDAÇÕES	49
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	50

GENERALIDADES

1 Introdução

No final da Orogenia Pan-Africana, todos os continentes estavam agrupados num Supercontinente Pangea (Delvaux, 1991). Segundo o mesmo autor, o Gondwana, a metade sul do Supercontinente Pangea, foi sujeito à regimes tectónicos extensionais que se prolongou até o início do Pérmico. Desde então, a evolução do continente Africano tem sido dominado por processos de rifteamento. Vários eventos extensionais e sistemas de rifts relacionados tem sido reconhecidos em África (Delvaux, 1991).

A formação da Bacia de Maniamba está relacionada ao sistema de rifteamento Permo-Triássico, referente ao desenvolvimento dos Grabens do Karoo, que antecedeu a ruptura do Gondwana. Segundo Delvaux (1991), as grandes bacias do *Karoo* da África do Sul, Zimbabwe e Moçambique, formaram-se nesse período. A maior parte das bacias de rift actuais, originalmente formadas como bacias sedimentares tectónicas durante o Pérmico-Triássico, evoluíram para grabens e metades de grabens (*half graben*) através de falhamentos descendentes e deformações durante o Jurássico Inferior (Kent, et al., 1973, Verniers et al. 1989). Os grabens do Karoo alongados na direcção ENE – WSW, incluindo o graben de Metangula que constitui a Bacia Carbonífera de Maniamba (doravante BCM), foram preenchidos por sedimentos predominantemente clásticos continentais.

Na zona costeira do Quénia, Tanzânia, Moçambique e do Oeste de Madagáscar, sedimentos do Karoo desenvolveram-se desde o Pérmico Inferior, com orientação tendente a N – S (Figura 1). Sedimentos do Karoo, com cerca de 6 à 10 km de espessura foram revelados, por geofísica, debaixo de afloramentos rochosos de idade Jurássico, em Tanzânia (Kent e Perry, 1973). Análises isotópicas de amostras de manifestações superficiais de petróleo (*oil seeps*), colhidas em várias localidades de Cabo Delgado, revelaram formações geradoras de hidrocarbonetos de idade Jurássico-Cretácico e, possivelmente, de rochas mais antigas de idade Permo-Triássico do Karoo (Norconsult, 2007).

Outrossim, a Bacia Carbonífera de Maniamba, localizada no Graben de Metangula na província do Niassa, ao contrário de outras Bacias de Moçambique, tem sido pouco estudada relativamente ao seu potencial para geração de hidrocarbonetos. Entretanto, existe registo de um estudo teórico realizado pela ECL Consulting (2000) para a ENH (Empresa Nacional de Hidrocarbonetos) indicam a presença de matéria orgânica carbonácea e terrígena e ocorrências de Carvão mineral, acredita-se que há uma possível potencialidade para geração de gás seco nesta bacia. Contudo, estudos de detalhe usando biomarcadores ainda não foram desenvolvidos.

Actualmente têm sido empregues várias técnicas para a descoberta de hidrocarbonetos, tanto indirectas (geofísicas) quanto as directas (testemunhos de sondagem). Uma das técnicas directas com expansão considerável na indústria *Upstream* do petróleo é a de análise de paleoindicadores biológicos também chamados Biomarcadores ou fósseis químicos, comumente enquadrados na geoquímica Orgânica.

Segundo Da Silva (2007) os Biomarcadores são compostos cujas estruturas tem origem biológica, i.e, são fósseis moleculares constituídos principalmente por carbono e hidrogénio e outros elementos. Notavelmente, os Biomarcadores apresentam pequena ou nenhuma alteração estrutural em relação as moléculas originais.

Estes Biomarcadores permitem estudar entender o paleoambiente deposicional, permitem estabelecer tanto o grau de maturação térmica assim como o de degradação da própria matéria orgânica geradora de hidrocarbonetos (Da Silva, 2007).

Neste Contexto, o presente projecto científico fundamenta-se na análise de Biomarcadores da secção JOG16-N6 com vista a contribuir para o entendimento do paleoambiente deposicional e maturação térmica, assim identificar o potencial gerador de hidrocarbonetos na Bacia de Maniamba.

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A BCM como já antes referenciado é uma bacia muito pouco estudada em termos do seu potencial gerador de Hidrocarbonetos, mas com o estudo dos biomarcadores poderá ser notável o potencial gerador de hidrocarbonetos dessa bacia. Coadjuvado com a questão de a até que ponto a BCM pode vir a ser um dos próximos campos de exploração de hidrocarbonetos em Moçambique, neste surge a necessidade de fazer um estudo detalhado do potencial gerador de hidrocarbonetos na BCM baseado em estudo e caracterização de Biomarcadores encontrados e carotes de sondagem na bacia.

Em suma, o estudo feito neste trabalho baseia-se nas seguintes questões:

1. Qual é o grau de evolução térmica sofrida pela matéria orgânica depositada na bacia de Maniamba?
2. Qual é o paleoambiente deposicional da Bacia Supra?
3. Há possibilidades de ocorrências de hidrocarbonetos? se sim, que tipo de ocorrências de hidrocarbonetos esperar, gás ou petróleo?

Os Resultados deste estudo baseados na caracterização da matéria orgânica disseminada em sedimentos, são uma contribuição significativamente e importante no desenvolvimento do possível Modelo do Sistema de Petróleo da BCM.

1.2 OBJECTIVOS

Objectivo Geral

Determinar o potencial de geração de hidrocarbonetos através de Biomarcadores das amostras da secção JOG16-N6 da Bacia de Maniamba - Província de Niassa.

Objectivos Específicos

- i) Caracterizar detalhadamente os biomarcadores das amostras da secção JOG16-N6 da Bacia de Maniamba
- ii) Estudar a relação entre os Biomarcadores identificados e o grau de maturação térmica da matéria orgânica das amostras de rochas coletadas na secção JOG16-N6;
- iii) Reconstrução do Paleoambiente deposicional durante o período de deposição da matéria orgânica através da análise de biomarcadores;
- iv) Integrar dados paleoambientais e de maturação da matéria orgânica de forma a determinar o potencial para geração de hidrocarbonetos.

1.3 RELEVÂNCIA DO PROJECTO CIÊNTÍFICO

Os Biomarcadores são compostos orgânicos que podem ser usados para identificar a presença, a origem e a maturidade de materiais orgânicos, como os encontrados em rochas sedimentares (Philp, 1985; Killops & Killops, 1994).

A partir dos Biomarcadores é possível ter informações sobre eventos de deposicionais que ocorreram no passado (Vecchia, 2009). Muitas indústrias petrolíferas fazem uso desses compostos para tentar prever hoje, quais locais serão propícios à formação de reservas de petróleo no futuro (Parrish et. al., 2000).

Neste contexto, o presente Projecto Científico apresenta uma grande contribuição para o conhecimento do potencial gerador de hidrocarbonetos em Moçambique a partir de técnicas de Geoquímica Orgânica (Biomarcadores), particularmente nas bacias localizadas ao longo interior do país, tendo em conta que maior parte dos estudos são feitos nas bacias costeiras do País (Bacia de Moçambique e Bacia de Rovuma).

1.4 METODOLOGIA

Com vista a alcançar os objectivos traçados para este Projecto Científico, foram sequencialmente efectuadas as seguintes etapas de trabalho:

Pesquisa bibliográfica

A pesquisa Bibliográfica constitui a primeira etapa do trabalho e consiste na revisão e consulta de toda informação (fornecida por cartas geológicas e as respectivas notícias explicativas, revistas científicas, teses de projectos científicos, publicações e registos electrónicos) existente e necessária referente a geoquímica orgânica, assim como informações referentes a estratigrafia da bacia em estudo.

Esta fase teve lugar na Biblioteca do Departamento de Geologia da UEM. Nesta fase far-se-á pedidos de cedência de dados de testemunhos de sondagem e relatórios técnicos da área de estudo.

Salientar que neste estudo, para o caso da secção JOG16-N6, os dados de geoquímica orgânica serão analisados no Laboratório de Geoquímica Orgânica da Universidade Federal de Piauí no Brasil.

Aquisição de amostras

Os dados serão pré-existent, adquiridos no Museu Nacional de Geologia.

Processamento e análise dos dados

Esta fase será uma etapa crucial no desenvolvimento do relatório final, os dados de geoquímica orgânica obtidos serão individualizados, onde serão analisados parâmetro por parâmetro dos biomarcadores clássicos.

As características moleculares das amostras, ou seja, as diferenças entre as respectivas distribuições dos biomarcadores (ausência, presença e abundância relativa de moléculas específicas) serão observadas individualmente e em grupo, através de gráficos e da análise de agrupamentos, e utilizadas como critério fundamental nas correlações de hidrocarbonetos, ambientes deposicionais e maturação da matéria orgânica. Poderão ser considerados todos elementos a estudar a título de exemplo o Carbono Orgânico Total, a Pirólise Rock Eval, o índice do CPI (índice preferencial de carbono), razões de isoprenóides, razão isoprenóides e n-alcenos, razão de terpanos e esteranos.

A extração de extractos orgânicos foi feita usando a extração sob refluxo foi realizada pelo método adaptado de Falkenberg e col. (2004), que consiste em submeter a matéria orgânica à extração com um solvente em ebulição (azeotrópica de diclorometano/metanol) em aparelho acoplado a um condensador, de forma que o solvente evaporado durante o processo seja recuperado e retorne ao

conjunto. Os extratos obtidos foram concentrados em evaporador rotativo sob pressão reduzida, com banho em temperatura de (45 ± 3) °C e posteriormente submetidos à partição líquido-líquido utilizando-se solventes de diferentes polaridades.

As análises dos dados de geoquímica orgânica, resultados e as respectivas projecções serão em função dos dados obtidos do Laboratório.

As análises laboratoriais e/ou a extração dos biomarcadores foi feita com base na pirólise no Laboratório da Universidade de Piauí.

A análise dos biomarcadores de forma a alcançar os objectivos traçados no projecto científico, será através da análise de cromatogramas e da relação e/ou razão de isoprenóides e n-alcenos, terpanos e esteranos

O potencial gerador de hidrocarbonetos poderá ser determinado pelo grau de maturidade da matéria orgânica estudada.

Igualmente nesta fase, prevê-se que haja auxílio dos programas informáticos tais como o Excel 2019, R e o Programa ArcGIS 10.8, estes terão a importância de analisar os dados, processar os dados em gráficos específicos e espacializar ou criar mapas a nível de todo o relatório.

Compilação e Elaboração do Relatório Final

Nesta fase, a última do trabalho, poder-se-á interpretar de diversos pontos de vista de todas as informações obtidas e resultados obtidos nas fases anteriores, de tal maneira que se produza o relatório final incluindo as devidas recomendações.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na margem SE do distrito de Lago, Província de Niassa, cobrindo uma área de cerca de 6580 Km² (figura 1). O distrito de Lago é delimitado pela República Unida da Tanzânia a Norte, distrito de Lichinga a Sul, distrito de Sanga e Lago Niassa, a Este e Oeste, respectivamente (MAE, 2005). As coordenadas dos furos usados para este trabalho são apresentadas na tabela 1.

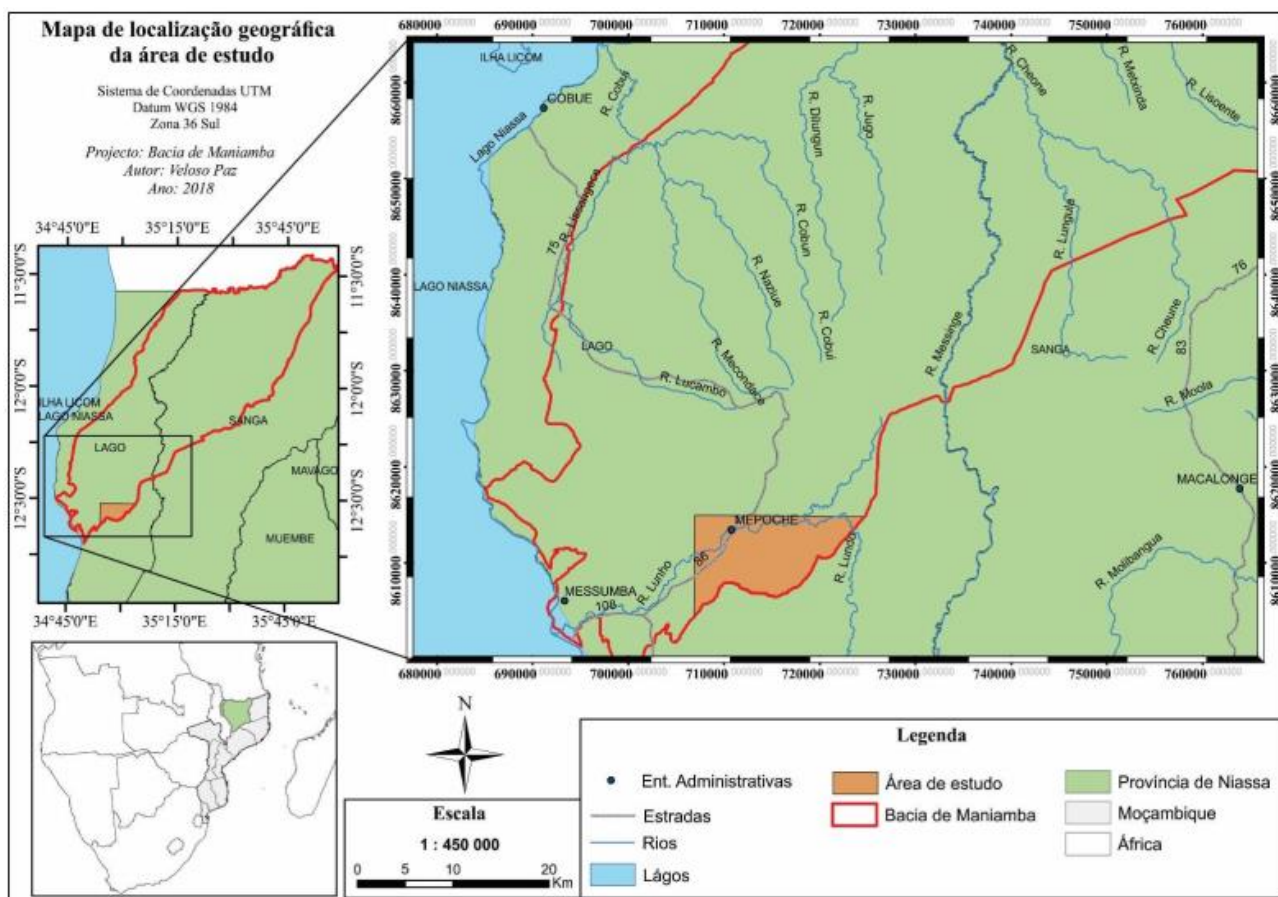


Figura 1: Mapa ilustrando a localização geográfica da área de estudo

Tabela 1: Coordenadas referentes ao furo seleccionado para o presente estudo

Ref. Furo	Latitude	Longitude	Profundidade (m)
JOG16-N6	12.571600	34.92850	319

2.2 CLIMA E HIDROLOGIA

Clima

O clima do distrito de Lago é tropical húmido com duas estações distintas: verões chuvosos e húmidos, e invernos secos. A temperatura média anual varia entre 22° à 24°C; a precipitação média anual varia entre 1.000 à 1.400 mm, sendo a época chuvosa confinada entre Novembro e Abril. As precipitações são em regime torrencial, acompanhadas de fortes tempestades, (MAE¹, 2014)

Hidrologia

Quase metade da rede hidrográfica do distrito de Lago faz parte da Bacia hidrográfica do Lago Niassa. Os rios com orientação predominantemente Este-Oeste são pouco caudalosos, de regime periódico, com a excepção do rio Lunho, um dos principais cursos de água, que é de regime permanente (Cumbane, 2017).

2.3 GEOMORFOLOGIA E RELEVO

A área de estudo enquadra-se dentro do graben de Metangula, uma fossa tectónica, caracterizada por pene-planaltos de rochas pelíticas com cotas topográficas variando entre 480 e 1850 metros acima do nível médio do mar. Os terrenos dentro do graben são predominantemente quase que planos a ondulados, com morros isolados de rochas psamíticas que se elevam acima da superfície. O graben alonga-se na direcção NE-SW e é delimitado por montanhas de rochas do Complexo Precâmbrico (MAE, 2014).

2.4 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Geotectónica

A Bacia Carbonífera de Maniamba enquadra-se nas bacias do Karoo da região Centro e Sul de África. As bacias do Karoo do Centro e Sul de África, segundo **Catuneanu, O, et al. 2005** preservam o registo de um tempo 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

¹ Ministério da Administração Estatal

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 as de Moçambique incluindo a Bacia Carbonífera de Maniamba (Figura 2).

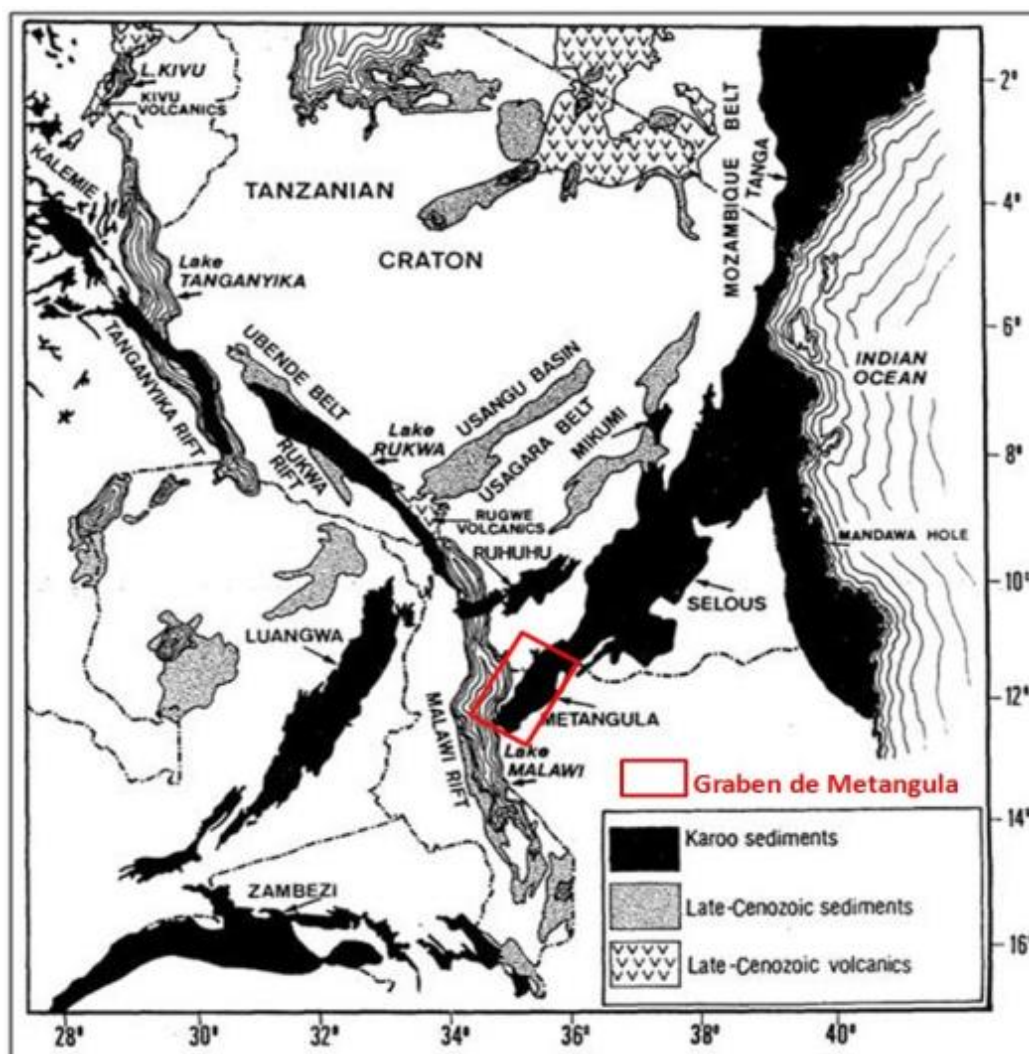


Figura 2: Mapa Regional das Bacias do Karoo mostrando o Graben de Metângula, o prolongamento NNE da Bacia de Selous na Tânzania e sedimentos de Karoo com tendências N-S nas Bacias Costeiras de Moçambique e Tanzânia (adaptado de Verniers et al., 1989).

Estratigrafia

A principal bacia do Karoo, que constitui o Karoo tipo, preserva sequências 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. Até pouco recentemente, o Dwyka não era reconhecido como uma unidade estratigráfica nas Bacias do Karoo em Maçambique (Afonso, 1978). Todavia, na estratigrafia do Karoo em Moçambique, adoptada a partir do último mapeamento geológico na escala 1:250 000 (GTK Consortium, 2006; Norconsult, 2007), o Dwyka aparece como sendo uma unidade basal do Karoo no Graben do Médio Zambeze.

Em função da idade das unidades, o Supergrupo Karoo é dividido em três sequências estratigráficas, o Karoo Inferior, Médio e Superior.

O Grupo Karoo Inferior é caracterizado pela ocorrência de formações de depósitos sedimentares acumulados em bacias intracratónicas com estruturas do tipo graben ou semigraben. A história tectono-sedimentar destas bacias está geneticamente relacionada e reflete-se nas sucessões de suas litofácies. Ambas as bacias, segundo as cartas geológicas e notícias explicativas da GTK Consortium, 2006; GTK Consortium, 2006a), foram preenchidas predominantemente por sedimentos clásticos continentais, com idades compreendidas entre o Carbonífero e Jurássico, onde se destacam tilitos, conglomerados, arenitos, xistos argilosos, xistos carbonosos e carvão.

Os depósitos do Karoo na Bacia carbonífera de Maniamba foram recentemente agrupados em dois Grupos, o Eccca e Beaufort (correspondendo ao Karoo Inferior e Médio) e em quatro Formações do Karoo Superior: Fúbuè, Mecondece, Tende e Lupilichi (Figura 3), (Geological Survey of Norway (NGU) , 2006; Vasconcelos e Achimo, 2010).

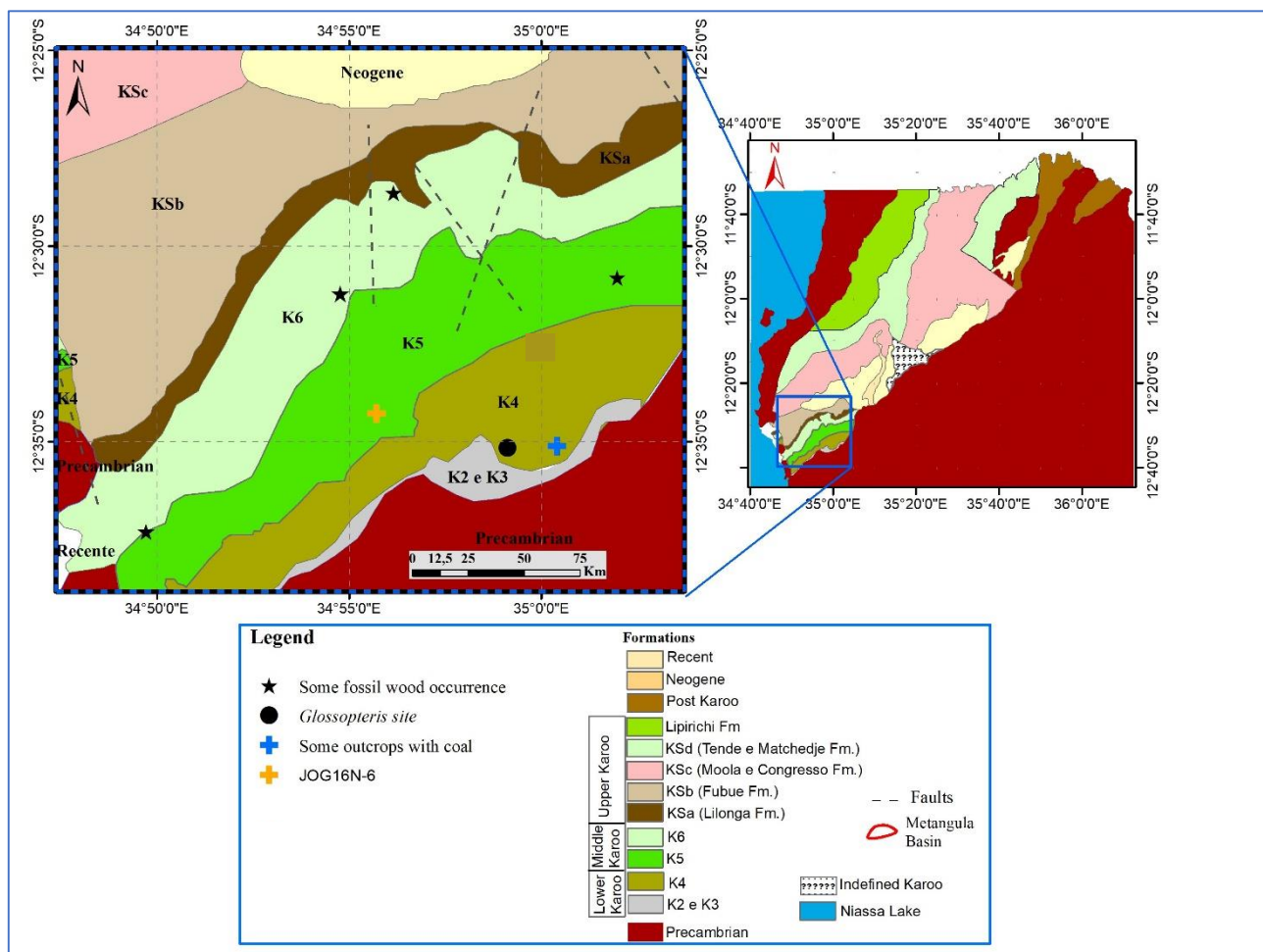


Figura 3: Mapa geológico da bacia de Maniamba. Cortesia do Msc. Nhamutole

O Ecça, com cerca de 343 m de espessura, segundo (Afonso et al, 1994), compreende três membros, O Ecça Inferior, constituído por depósitos de diamictitos argilosos, arenitos, siltitos e conglomerados; O Ecça intermédio ou série productiva, constituído por depósitos de carvão, siltitos, xistos argilosos carbonoso e arenitos; e o Ecça superior, constituído por depósitos da planície de inundação, arenitos imaturos e arcósicos, argilitos, xistos argilosos, concreções ferruginosas em margas e conglomerados. O *Beaufort* consiste essencialmente de siltitos esverdeados e argilitos com horizontes locais de nódulos calcários e fósseis dispersos. Siltitos são localmente grosseiros, micáceos e laminados.

Na área de Metangula, Verniers et al (1989), reporta horizontes de argilitos siltosos avermelhados com vários níveis de ossadas de répteis (fig. 4). As unidades atribuídas aos andares *Ecça* e *Beaufort* foram depositados em regimes de condições sedimentares lacustre e/ou fluvial (Vasconcelos & Achimo, 2010).

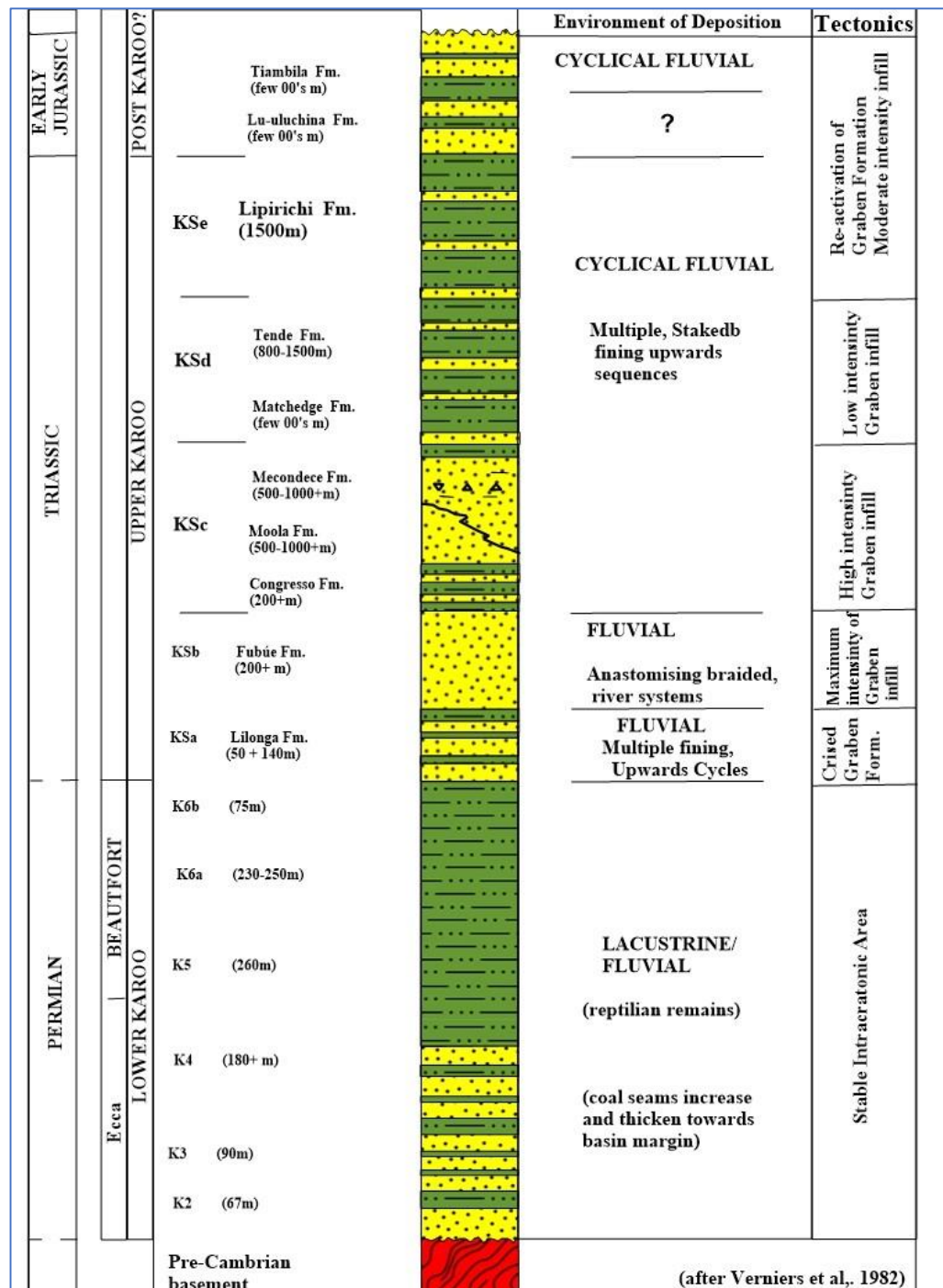


Figura 4: Sequência estratigráfica da Bacia de Maniamba, after Verniers et al, 1982.

As Formações de Fúbuê e Mecondece comportam arenitos conglomeráticos grosseiros a médios e siltitos e, finalmente, os fácies das Formações de Tende e Lupilichi comportam siltitos e arenitos, e siltitos com arenito e lama. Estas formações são consideradas como tendo sido depositados em ambientes fluviais de rios meandantes e de canais entrelaçados ou fluvio-lacustre com aumento significativo do conteúdo de argilas em camadas mais jovens (NGU, 2006; Vasconcelos & Achimo, 2010). As sequências fluviais cíclicas consistem predominantemente de arenitos e siltitos com

conglomerados e lamias ocasionais (Figura 5). O Pós-Karoo na Bacia carbonífera de Maniamba comporta duas formações, nomeadamente a Formação de Mikidani de idade Terciária e Aluviões do Quaternário.

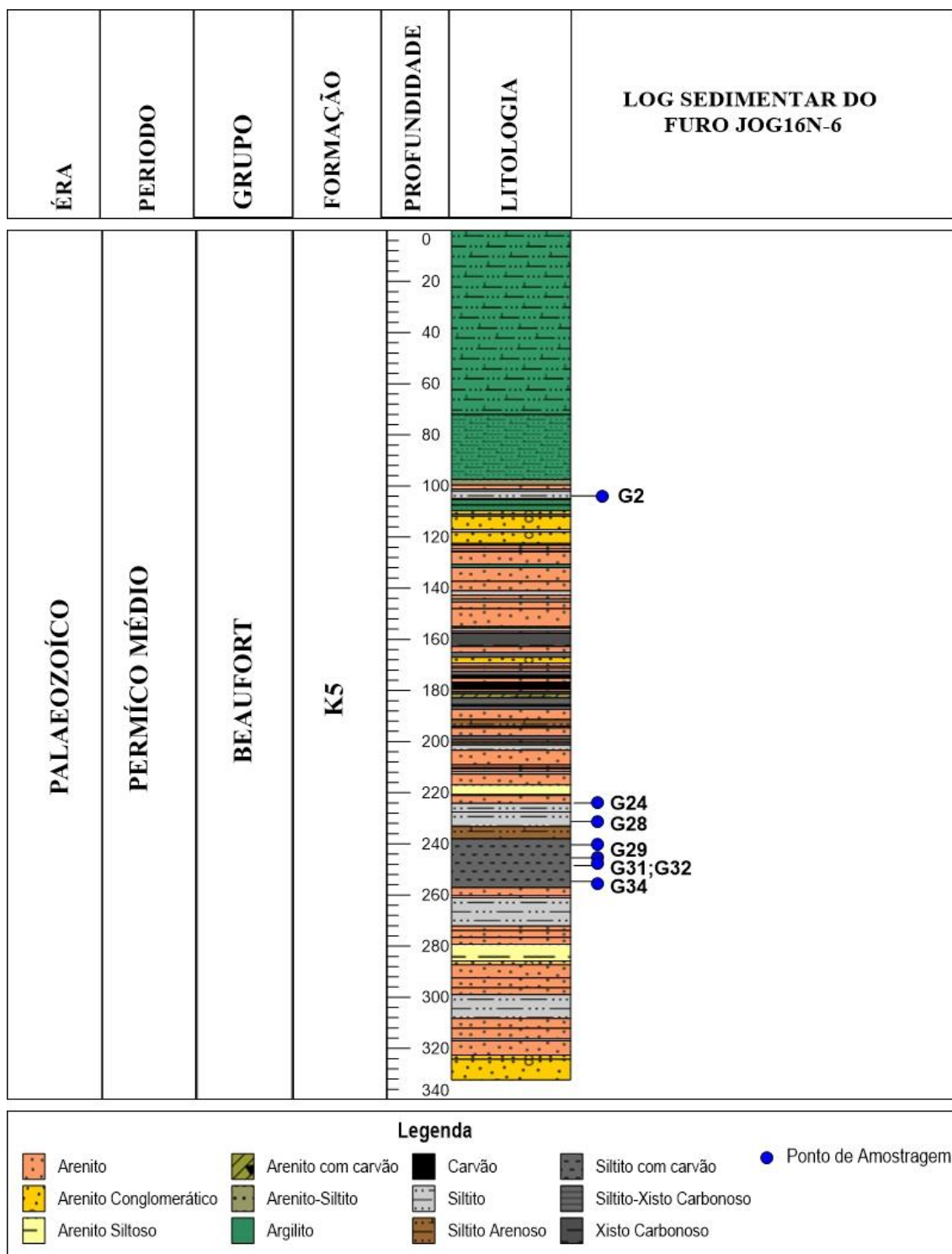


Figura 5: Log sedimentar das formações atravessadas pelo furo JOG16N-6

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 BACIAS DE RIFT

O rifteamento é a fase inicial de uma sequência tectónica que culmina com a divisão e geração de um assoalho oceânico Veevers, J J. 1981. (Morphotectonics of rifted continental margins in embryo (east Africa), youth (Africa-Arabian), and maturity (Australia), 1981), frequentemente intercalada com períodos calmos (Allen, et al., 2005). Comumente, o rifteamento se desenvolve em regiões com antigas estruturas na litosfera que facilitam o desenvolvimento de sistemas de falhas que podem ou não culminar com a abertura de um oceano, como é o caso do oceano Atlântico ao longo da sutura Paleozóica (Wilson, 1966 *Cit in* Allen & Allen, 2005) e do sistema do Rifte Eeste Africano que segue as tendências estruturais pré-cambrianas (McConnell, 1977 e 1980 *Cit in* Allen & Allen, 2005).

A natureza do preenchimento sedimentar de uma bacia tipo rifte depende da sua zona climática, da elevação dos blocos que actuam como fontes de sedimentos ou barreiras, da taxa de subsidência do vale central que determina os níveis de base aluviais e a profundidade das águas dos lagos, e da evolução tectónica dos sistemas de falhas extensionais; podendo assim apresentar um preenchimento simétrico ou assimétrico correspondendo aos grabens completos ou metade de grabens respectivamente, tendo como características o ambiente não marinho, compreendendo depósitos fluviais, lacustres, eólicos e Vulcano clásticos (Allen & Allen, 2005).

Sistemas Depositionais Continentais

Um sistema deposicional, segundo Posamentier et al. (1988) *Cit in* (Miall, 1997), é uma assembleia tridimensional de litofácies geneticamente relacionadas e unidas por ambientes e processos que permanecem activos (modernos) ou inferidos (antigos), incluindo elementos arquitecturais que representam as condições paleogeomórficas (Nichols, 2009). Os sistemas deposicionais compreendem os produtos resultantes da interacção de vários processos, físicos, químicos e biológicos, observados em cada ambiente sedimentar (Fávera, 2001).

Os sistemas Depositionais Continentais são aqueles que se desenvolvem no interior dos continentes, sem a influência de marés, como é o caso de sistema de leques aluviais, sistemas fluviais, sistemas eólicos e sistemas lacustres.

Sistema de Petróleo

Sistema de petróleo é o conceito central da geologia do petróleo – o estudo da formação e exploração de petróleos e gás com seus processos associados, como origem, ocorrência, migração e acumulação de petróleo – que unifica processos interdependentes e elementos chave na formação de hidrocarbonetos (Magoon, et al., 1994).

A formação de hidrocarbonetos envolve processos como a formação de armadilhas, a acumulação, migração e geração de hidrocarbonetos, e elementos-chave que englobam rocha geradora, rocha reservatório e rocha selante ou capeadora.

O estudo dos sistemas petrolíferos ajuda os geólogos, geofísicos e geoquímicos de petróleo a conhecer e compreender a natureza da região e da armadilha de hidrocarbonetos, baseando-se na paleontologia, estratigrafia e sedimentologia de uma região geográfica, a fim de identificar o sistema petrolífero. Diz-se que uma região tem um sistema petrolífero se e somente se houver uma presença de óleo o gás escoar e exsudar na área ou na água, independentemente de haver grande quantidade. De acordo com a certeza da potencialidade das evidências, os sistemas petrolíferos podem ser conhecidos como evidentes, hipotéticos ou especulativos.

Elementos de sistemas de petróleo

Rocha geradora, reservatória, rocha selante e trapa (armadilha), são os elementos-chave de um sistema de petróleo que são fornecidos pela interpretação de dados de várias naturezas, dentre as quais constam os dados da sísmica de reflexão e técnicas geofísicas electromagnéticas realizadas em uma área geográfica particular. Cada um desses elementos é avaliado de forma individual para determinar a potencialidade do sistema, (Magoon, 1995)

Rocha geradora

A rocha geradora é uma unidade de rochas sedimentares subsuperficiais que, basicamente xistos ou calcários, contém quantidades consideráveis da matéria orgânica e que tenha sido submetidas a altas temperaturas por longo tempo. Estas unidades rochosas, hospedam os processos que envolvem a formação de petróleo e gás até começarem a migrar em direcção às rochas superiores ou mais próximas denominadas rochas reservatórias devido à fluidez de petróleo e gás. A rocha geradora é avaliada usando os métodos de geoquímica. (Magoon e Dwo, 1994)

Rochas reservatória

A rocha reservatória, uma ou várias unidades litológicas, fornece espaço para a armazenagem dos hidrocarbonetos. Isto requer porosidade, que pode ser primária (deposicional) ou secundária (diagenética) ou criada por fracturas; deve também ser capaz de permitir uma troca de fluidos, o que requer suficiente permeabilidade. Como as armadilhas são, em geral, inicialmente preenchidas por água, elas devem permitir uma troca de fluidos, ou seja, permitir a substituição da água pelos hidrocarbonetos (as armadilhas são pontos de troca activa de fluidos). Os hidrocarbonetos geralmente se acumulam no topo da água devido a diferença de densidades. As rochas reservatórias são analisadas por meio da avaliação da permeabilidade, mas também a sua análise depende de outros campos do saber, como é o caso da estratigrafia, análise estrutural, sedimentologia e engenharia de reservatórios, Magoon (1995).

Rocha capeadora ou selante

É uma unidade litológica com baixa permeabilidade capaz de restringir o fluxo dos hidrocarbonetos para fora da rocha reservatória. Este elemento normalmente compreende os xistos argilosos ou evaporitos. Segundo Magoon (1995), sua análise baseia-se na avaliação da extensão e espessura para saber a sua eficiência na retenção de hidrocarbonetos. Os movimentos tectónicos experimentados pela crosta terrestre, dão lugar a formação de selos anticlinais ou sinclinais.

Armadilhas

Uma das características principais dos hidrocarbonetos diz respeito ao facto de eles raramente serem encontrados no sítio em que são gerados, devido à sua grande mobilidade.

A identificação das armadilhas constitui uma das primeiras fases da prospecção petrolífera.

A idade em que ocorreu a formação de uma armadilha, em relação à formação dos hidrocarbonetos, é muito importante. Assim, armadilhas criadas numa fase inicial do processo, têm maior probabilidade de reter hidrocarbonetos do que as que são criadas numa fase tardia do processo geológico.

Os componentes críticos de uma armadilha (rocha reservatório, rocha de cobertura e arranjo geométrico das formações) podem-se combinar de diferentes maneiras. Esta possibilidade conduz à existência de muitas tentativas de classificações para os diferentes tipos de armadilhas

Rochas Geradoras

A rocha geradora é um sedimento de granulação fina que, no seu ambiente natural, gerou e libertou hidrocarbonetos suficientes para formar uma acumulação comercial de petróleo e gás. As rochas geradoras são argilas ou lamas ricas em carbonatos orgânicos depositadas sob condições anóxicas de baixa energia. Para funcionar como rocha geradora, o sedimento deve conter no mínimo 2% em peso de matéria orgânica (Ala, 2017).

No entanto, uma rocha com potencial para geração de hidrocarbonetos é aquela que se apresenta em estado imaturo de geração petróleo em seu estado natural, mas é capaz de liberar quantidades significativas quando seu grau de maturação é "acelerado", ao ser submetida a processos de hidropirolização. Uma rocha geradora madura ou efetiva é caracterizada por apresentar petróleo formado e expulso para um reservatório, ativo ou inativo. (da Silva, 2007).

3.2 PROCESSOS DE GERAÇÃO DE PETRÓLEO

Segundo a teoria da biogênese da formação do petróleo, sua origem é proveniente de material orgânico por diferentes processos térmicos e microbiológicos (Speight, 2002), sendo resultado das várias transformações da matéria orgânica advinda de uma massa de vegetais e animais que foram decompostos por fatores físicos, químicos e biológicos, e posteriormente sofreram soterramento. Após milhões de anos, por estágios de transformação denominados diagênese, catagênese e metagênese, essa matéria orgânica sedimentada teria-se convertido em petróleo (ARAÚJO, 2007; DO NASCIMENTO, 2019). A Figura 6 esquematiza esses estágios de transformação citados.

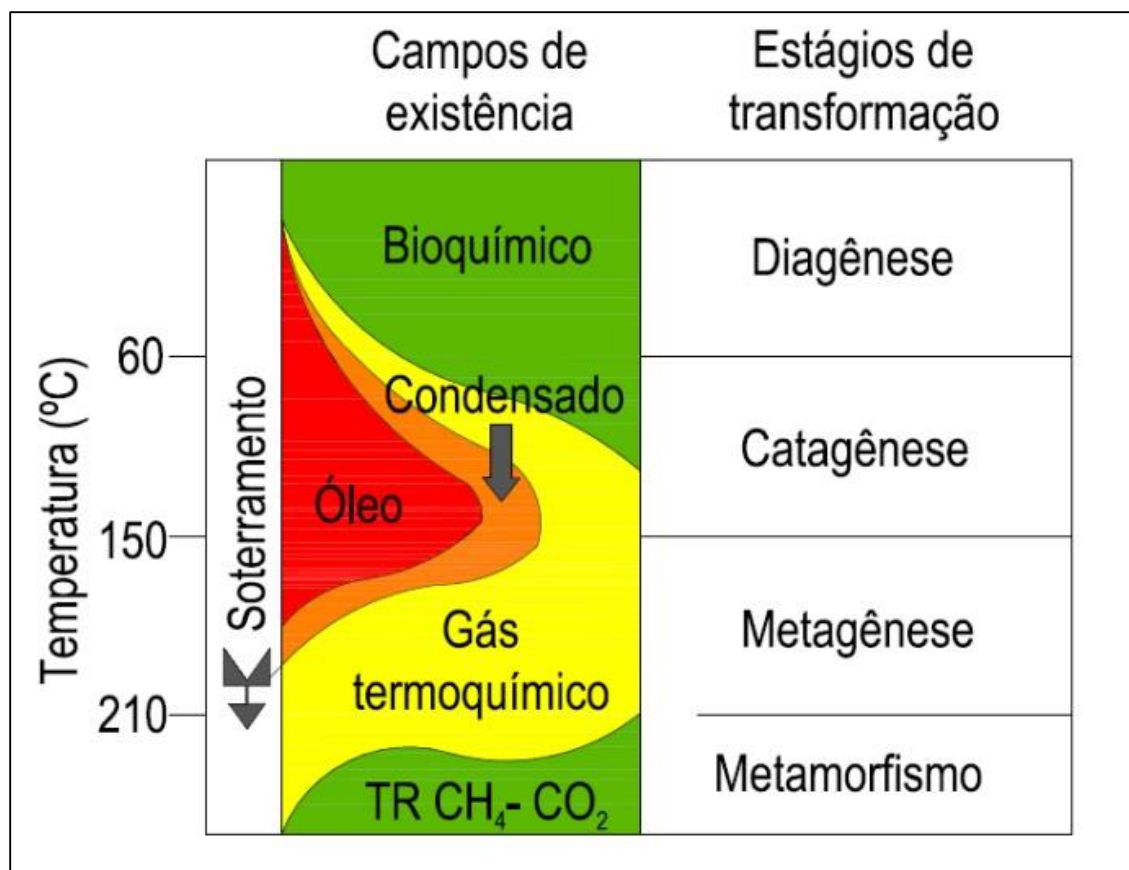


Figura 6: Estágios evolutivos da matéria orgânica em petróleo (óleo e gás).

A. DIAGÊNESE:

- ✓ - Estágio imaturo

Sob baixas condições de soterramento, uma pequena quantidade de hidrocarbonetos, derivada dos organismos vivos, aparece. Nesse estágio, os hidrocarbonetos apresentam características estruturais relacionadas com a sua origem biogénica e podem ser considerados como fosseis geoquímicos.

Essa fase se caracteriza pela presença de compostos orgânicos funcionalizados tecidos, cetonas, aldeídos, álcoois, etc.) com exceção do gás metano de origem biogénica. (DO NASCIMENTO, 2019)

B. CATAGÊNESE

- ✓ Estágio de formação do óleo

Com o aumento da temperatura, mais e mais ligações são quebradas, como algumas ligações C-C. Moléculas de hidrocarbonetos, especialmente os alifáticos na faixa de n-C₁₅ até n-C₃₀. São produzidas, derivadas especialmente da fração NSO gerada anteriormente. E principal estágio de geração de óleo, podendo também ocorrer mais formação de gás metano (Do Nascimento, 2019).

✓ Estágio de formação de condensado e gás seco

Como as condições de soterramento e temperatura continuam aumentando, a quebras das ligações C-C se torna mais frequente. Os hidrocarbonetos de maior massa molecular formados anteriormente também são quebrados, formando assim os hidrocarbonetos de mais baixa massa molecular, os chamados hidrocarbonetos leves, e há mais liberação de gás metano (Do Nascimento, 2019).

C. METAGÉNESE

Apos a eliminação da matéria orgânica lábil durante a catagénese, há uma reorganização estrutural e as reações de quebra de hidrocarbonetos ocorrem mais facilmente, aumentando significativamente a presença de gás metano (também chamado de gás soco) (Do Nascimento, 2019)

3.3 GEOQUÍMICA ORGÂNICA

A Geoquímica Orgânica estuda a distribuição, composição e destino da matéria orgânica na geosfera em nível global e molecular, combinando aspectos de geologia, química e biologia. A biomassa de organismos em decomposição é incorporada aos sedimentos no ambiente aquático e terrestre e é eventualmente enterrada em maior profundidade, dependendo da subsidência e da história de deposição de uma bacia sedimentar. Sob a influência da temperatura, catálise e (em camadas sedimentares rasas) da atividade microbiana, a matéria orgânica sofre uma sucessão de reações químicas complexas que podem, em última análise, levar à formação de combustíveis fósseis, como petróleo bruto, gás natural ou carvão. (Rullkotter, 1992).

3.4 FACTORES QUE INFLUENCIAM A PRESERVAÇÃO E ACUMULAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM SEDIMENTOS

O acúmulo de sedimentos contendo matéria orgânica ocorre principalmente no ambiente aquático. A quantidade e composição do componente orgânico, isto é, a fácies orgânica, são controladas por vários fatores complexos e mutuamente dependentes. Uma elevada bioprodutividade primária por si só não é um critério suficiente para o enriquecimento da matéria orgânica no sedimento. A preservação da biomassa deteriorada é tão decisiva quanto o equilíbrio com as condições geológicas e o fornecimento de componentes minerais.

Num determinado ambiente de deposição, a matéria orgânica pode ser fornecida pela produção de biomassa no sistema aquático, pelo transporte de matéria orgânica terrígena do continente pela descarga do rio, ou, geralmente menos importante, pela poeira eólica, e pela erosão e reciclagem de resíduos anteriormente sedimentos depositados. A importância relativa destes fatores terá influência na composição da matéria orgânica no sedimento (figura. 7). No ambiente marinho, a bioprodutividade é particularmente elevada em áreas de ressurgência costeira, onde os ventos paralelos à costa trazem água fria das camadas mais profundas, enriquecida em nutrientes, para a superfície (da Silva, 2007).

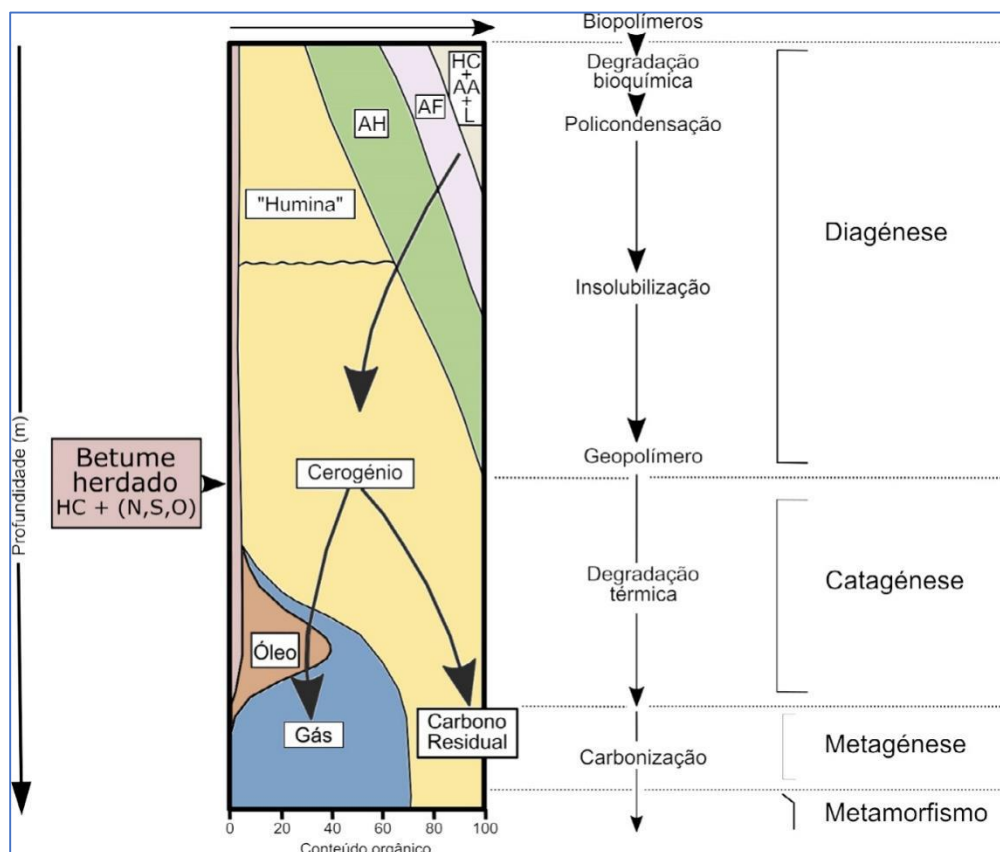


Figura 7: Diagrama ilustrativo de factores influenciadores da preservação da Matéria orgânica.

3.5 TÉCNICAS EMPREGADAS NA CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA ORGÂNICA

Carbono Orgânico Total

Em função das características geoquímicas necessárias para avaliar um sedimento como sendo de uma rocha geradora de hidrocarbonetos, a quantificação da matéria orgânica se apresenta como o primeiro parâmetro analisado. A quantidade de matéria orgânica é medida através do teor de carbono orgânico total (COT), expresso na forma de percentual em relação ao extrato seco, que reflete as condições de produção e preservação no ambiente deposicional. A quantidade de matéria orgânica presente nos sedimentos ou rochas inclui tanto a matéria orgânica insolúvel, denominada de querogênio, como a matéria orgânica solúvel em solventes orgânicos, denominada de betume. (da Silva, 2007)

Pirólise Rock-Eval

A técnica de pirólise *Rock-Eval*, simula em condições de laboratório o processo natural de metagênese e catagênese da matéria orgânica e geração do petróleo. O equipamento consiste em um sistema onde pequenas amostras de rocha (aproximadamente 100 mg) são aquecidas em um micro-forno com atmosfera inerte para que não ocorra combustão. As taxas de aquecimento e temperaturas usadas na pirolise (25 °C/min e até 600 °C, respectivamente) são várias ordens de grandeza maiores do que as que controlam o processo de geração na natureza (da ordem de alguns °C/Milhões de anos, Ma), a fim de compensar o pouco tempo da análise (da ordem de 30 minutos). (da Silva, 2007)

Biomarcadores

Biomarcadores ou marcadores biológicos são compostos cujas estruturas podem ser interpretadas em termos de sua origem biológica. São fósseis moleculares constituídos de carbono, hidrogênio e outros elementos. Podem ser encontrados em rochas, sedimentos ou carvões e apresentam pequena ou nenhuma mudança estrutural em relação às moléculas orgânicas originais presentes nas membranas plasmáticas dos organismos vivos (procarióticos ou eucarióticos). Como exemplo, pode-se citar o colesterol, um esterol proveniente da membrana de alguns tipos de algas, precursor biológico do grupo dos esteranos (Rullkotter, 1992).

Para que um composto orgânico derivado de organismos vivos seja considerado um biomarcador, este deve apresentar três características fundamentais:

- ✓ A sua estrutura química deve mostrar informações que indicam a sua origem biológica (proveniente de organismos vivos);
- ✓ Apresentar-se em altas concentrações nos organismos vivos com especiações;
- ✓ A principal característica estrutural do composto (esqueleto) deve ser quimicamente estável quando submetido aos processos de sedimentação e soterramento da matéria orgânica.

A análise de biomarcadores dos extratos de rochas geradoras pode ser utilizada para estabelecer importantes relações como: interpretação do paleoambiente deposicional, grau de maturação térmica da matéria orgânica e grau de degradação. Os grupos mais importantes de biomarcadores acíclicos (n-alcanos, isoalcanos ou isoprenoides), cíclicos e aromáticos.

A interpretação de diagramas ternários das frações de hidrocarbonetos saturados (lineares, ramificados e cíclicos), aromáticos e de compostos altamente polares (fração dos asfaltenos e resinas, ou fração de compostos ricos em nitrogênio, enxofre e oxigênio). (Figura 8), permite determinar o grau de maturação da matéria orgânica com o avanço da maturação dos óleos nos reservatórios, por efeito de craqueamento térmico, são formadas grandes quantidades de hidrocarbonetos saturados. Assim, óleos mais evoluídos termicamente possuem maiores quantidades de hidrocarbonetos saturados em relação aos aromáticos e compostos altamente polares (NSO) (Rullkotter, 1992).

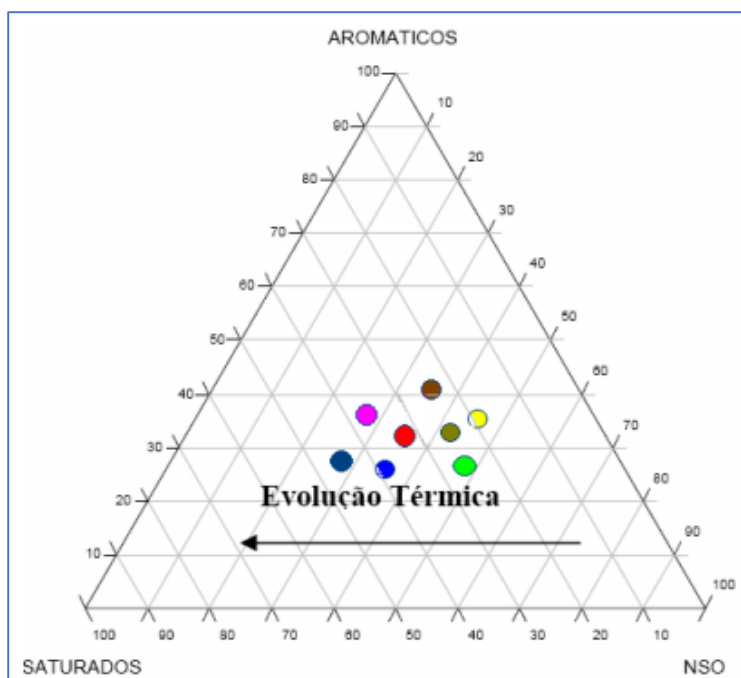
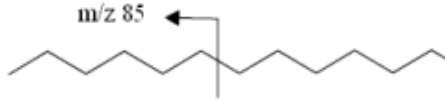
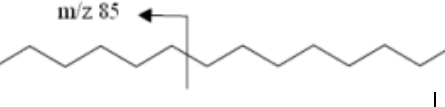
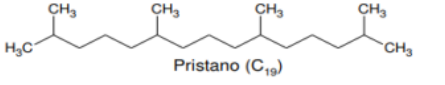
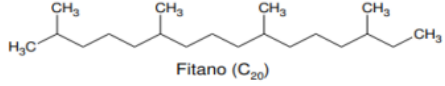


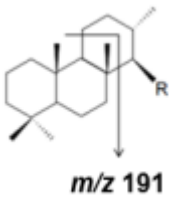
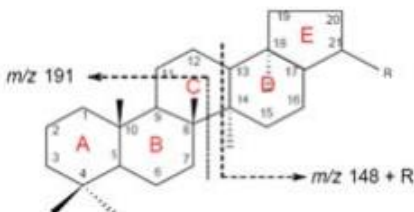
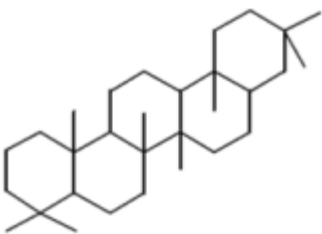
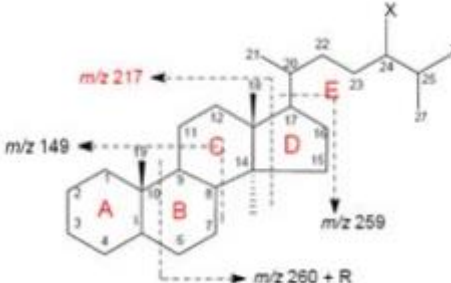
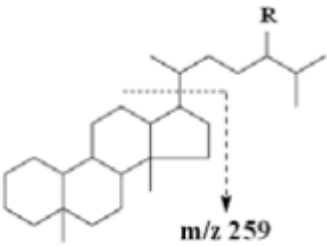
Figura 8: Exemplo de diagrama ternário mostrando o perfil de maturação de extratos (betumes) ou óleos em função dos percentuais (%) das frações de hidrocarbonetos saturados, aromáticos e de compostos altamente polares (NSO).

3.6 PRINCIPAIS BIOMARCADORES ESTUDADOS EM GEOQUÍMICA ORGÂNICA E SUAS INFORMAÇÕES

Tabela 2: Quadro resumo dos principais biomarcadores, adaptado de Peters, 2005.

Biomarcador	Estrutura Genética	Precursor	Informação
<i>n</i> -alcano (C15, C17, C19)		Algas Marinhas	Origem da matéria organica
<i>n</i> -alcano (C25, C27, C29, C31)		Plantas terrestres	Origem da matéria organica
Isoprenóides	 Pristano (C ₁₉)  Fitano (C ₂₀)	Organismos fototrópicos	Tipo de ambiente deposicional

Análise de biomarcadores em rochas pérmicas da bacia de Maniamba, Niassa auxílio a
pesquisa HC's

Terpanos Tricíclicos		Organismos Procariontes	Grau de maturação
Hopanos		Organismos Procariontes	Grau de maturação da matéria organica
Gamacerano		Protozoas	Condições de hipersalinidade
Esteranos		Organismos eucariontes	Grau de maturação da matéria orgânica Origem da mataria organica
Diasteranos		Organismos eucariontes	Grau de maturação da matéria organica

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para este estudo, 7 amostras de rocha do furo JOG16N-6, foram submetidas à extração sob refluxo com uma mistura azeotrópica de diclorometano/metanol para obtenção do extrato orgânico. Os valores de extrato de matéria orgânica para as amostras analisadas variaram de 0,03 a 3,10% para o furo em estudo.

Os resultados das análises geoquímicas dos biomarcadores encontram-se resumidos na tabela 3, e em diagramas apresentadas nesta secção. Os resultados dos diferentes biomarcadores analisados foram plotados em diferentes diagramas de modo a determinar: 1-Os tipos de hidrocarbonetos que são gerados; 2-Ambiente e condições de deposição da matéria orgânica; 3-Maturação térmica da matéria orgânica estudada.

Análise de biomarcadores em rochas pérmicas da bacia de Maniamba, Niassa auxílio a
pesquisa HC's

Tabela 3: Resultados de análise de biomarcadores do furo JOG16N6

Parâmetros	Amostras						
	G2	G24	G28	G29	G31	G32	G34
SOM	0.03	0.14	0.22	0.06	0.41	0.13	1.12
%Sat.	10.00	0.39	0.76	0.77	1.45	0.35	6.28
%Aro.	18.57	17.97	9.85	6.93	22.83	12.01	30.43
%Polars.	44.29	23.83	16.67	5.38	23.55	36.75	34.78
$\Sigma(C_{13-18})$	17.85	7.53	6.70	11.34	14.55	14.45	9.34
$\Sigma(C_{19-24})$	49.64	41.61	62.46	58.81	57.33	55.12	53.02
$\Sigma(C_{25-35})$	32.52	50.86	30.83	29.85	28.12	30.44	37.64
CPI	1.60	1.88	1.77	1.33	1.99	1.87	2.37
CPI-1	1.32	1.61	1.48	1.22	1.57	1.49	1.79
OEP-1	1.06	1.08	1.29	1.19	1.31	1.23	1.36
OEP-2	1.70	1.90	1.69	1.02	1.83	1.68	2.20
TAR	0.75	2.75	1.04	0.63	0.63	0.72	1.29
Pr/Ph	3.28	0.64	1.72	0.68	4.08	2.91	4.53
Pr/(Pr+Ph)	0.77	0.39	0.63	0.40	0.80	0.74	0.82
Pr/C ₁₇	0.58	0.17	0.75	0.21	0.62	0.50	1.97
Ph/C ₁₈	0.14	0.16	0.16	0.19	0.12	0.14	0.33
Ts/Tm	-	0.07	0.02	0.01	0.02	-	-
C ₃₀ $\beta\alpha/(\alpha\beta+\beta\alpha)$	0.40	0.36	0.36	0.33	0.33	0.34	0.34
C ₃₁ $\alpha\beta S/(S+R)$	0.54	0.50	0.58	0.58	0.56	0.57	0.57
C ₃₂ $\alpha\beta S/(S+R)$	0.46	0.49	0.53	0.58	0.50	0.52	0.53
C ₃₃ $\alpha\beta S/(S+R)$	0.56	0.48	0.56	0.61	0.52	0.56	0.56
C ₃₄ $\alpha\beta S/(S+R)$	0.56	0.46	0.62	0.87	0.57	0.57	0.63
C ₂₇ S/(S+R)	0.26	0.18	-	-	0.41	-	-
C ₂₉ S/(S+R)	0.09	0.22	0.31	0.04	0.28	0.11	0.35
R ₀	0,50	0,82	0,66	0,87	0,71	0,71	-

SOM - Soluble Organic Matter; %Sat.: percentage distribution of the class, based on gravimetric data; %Aro: percentage distribution of the class, based on gravimetric data; %Polars.: percentage distribution of the class, based on gravimetric data; CPI: $0.5 \times (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29}) / [C_{22} + 2(C_{24} + C_{26} + C_{28}) + C_{30}]$ in m/z 85; CPI-1: $2 \times (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29}) / [C_{22} + 2(C_{24} + C_{26} + C_{28}) + C_{30}]$ in m/z 85; OEP-1: $(C_{21} + 6C_{23} + C_{25}) / (4C_{22} + 4C_{24})$ in m/z 85; OEP-2: $(C_{25} + 6C_{27} + C_{29}) / (4C_{26} + 4C_{28})$ in m/z 85; TAR: $(C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{15} + C_{17} + C_{19})$ in m/z 85; Pr/Ph: Pristane/Phytane in m/z 85; Pr/(Pr+Ph): Pristane/(Pristane + Phytane) in m/z 85; Pr/C₁₇: Pristane/C₁₇ *n*-alkane in m/z 85; Ph/C₁₈: Phytane/C₁₈ *n*-alkane in m/z 85; Ts/Tm: C₂₇ 18 α (H)-22,29,30-trisnorhopane/C₂₇ 17 α (H)-22,29,30-trisnorhopane in m/z 191; Ts/(Ts+Tm):

C_{27} 18 α (H)-22,29,30-trisnorneohopane/(C_{27} 18 α (H)-22,29,30-trisnorneohopane + C_{27} 17 α (H)-22,29,30-trisnorhopane) in m/z 191; C_{30} $\beta\alpha$ /($\alpha\beta$ + $\beta\alpha$): C_{30} -17 β (H),21 α (H)- moretane/(C_{30} -17 α (H),21 β (H)- hopane + C_{30} -17 β (H),21 α (H)- moretane) in m/z 191; C_{31} $\alpha\beta$ S/(S+R): C_{31} -17 α (H),21 β (H)-homohopane 22S/(C_{31} - 17 α (H),21 β (H)-homohopane 22S + C_{32} - 17 α (H),21 β (H)-homohopane 22R) in m/z 191; C_{32} $\alpha\beta$ S/(S+R): C_{32} - 17 α (H),21 β (H)-bishomohopane 22S/(C_{32} -17 α (H),21 β (H)-bishomohopane 22S + C_{32} - 17 α (H),21 β (H)-bishomohopane 22R) in m/z 191; C_{34} $\alpha\beta$ S/(S+R): C_{34} - 17 α (H),21 β (H)- tetrakishomohopane 22S/(C_{34} - 17 α (H),21 β (H)-tetrakishomohopane 22S + C_{34} - 17 α (H),21 β (H)- tetrakishomohopane 22R) in m/z 191; C_{27} S/(S+R): C_{27} 5 α (H),14 α (H),17 α (H)-cholestane S/(C_{27} 5 α (H),14 α (H),17 α (H)-cholestane S + C_{27} 5 α (H),14 α (H),17 α (H)-cholestane R) in m/z 217; C_{29} S/(S+R): C_{29} 5 α (H),14 α (H),17 α (H)-stigmastane S/(C_{29} 5 α (H),14 α (H),17 α (H)-stigmastane S + C_{29} 5 α (H),14 α (H),17 α (H)-stigmastane R) in m/z 217.

4.1 BIOMARCADORES DE EVOLUÇÃO TÉRMICA

Os cromatogramas de iões totais (TIC) e os cromatogramas de massa (m/z 85) de hidrocarbonetos saturados de matéria orgânica extraída de rochas são apresentados na figura 9. A Tabela.3, mostra os principais parâmetros biomarcadores calculados.

Os valores do Índice de Preferência de Carbono (CIP) e da Predominância Ímpar ao Par (OEP) variam de 0,64-2,98, mostrando preferência ímpar sobre par para a distribuição de *n*-*alcanos*, indicando matéria orgânica com baixa evolução térmica (Tissot e Welte, 1984).

As distribuições dos terpanos são mostradas na Figura 9. O 18 α (H)-trisneohopano (Ts) é mais estável à degradação térmica do que o 17 α (H)-trisorhopano (Tm), pelo que se espera que os valores da relação Ts/Tm aumentem para óleos com maior maturação (Seifert e Moldovan, 1978; Moldávia. *et al*, 1986; Moldávia *et al.*, 1994; Walters e Moldávia, 2005).

A razão desses isômeros expressa em Ts/T_m apresentou valores muito para todas as amostras foi impossível calcular este parâmetro devido à ausência ou baixa abundância relativa de T_s. No entanto, a presença de C_{27} 17 β (H)-22,29,30-trisorhopane (β T_m) em todas as amostras é característica de rochas de origem imatura e, à medida que a maturação térmica aumenta, espera-se que a concentração relativa de β T_m diminua porque é termicamente instável quando comparada a T_s e T_m (Hong *et al.*, 1986).

A relação $C_{30} \beta\alpha / (\beta\alpha + \alpha\beta)$ hopano baseia-se na menor estabilidade relativa de $17\beta(H), 21\alpha(H)$ -hopanos em comparação com os isómeros $17\alpha, 21\beta$. Os valores dessa relação diminuem com o avanço da evolução térmica e variam de 0,8 em amostras imaturas a $<0,15$ em amostras maduras, com um mínimo de 0,05 (Peters. *et al.*, 2005). Os valores dessa razão variaram de 0,11-0,41, enquanto as relações $C_{31} \alpha\beta S/(S+R)$ e $C_{32} \alpha\beta S/(S+R)$ variaram de 0,49-0,65 e 0,38-0,63, respectivamente, sugerindo amostras de baixa evolução térmica (Ensminger *et al.*, 1977; Seirfert e Moldowan, 1980; Walters e Moldávia, 2005).

A relação $C_{29} \alpha\alpha\alpha S/(S+R)$ baseada na distribuição de esteranos (Figura 9) também é amplamente utilizada para avaliar o grau de evolução térmica de óleos e matéria orgânica extraída de rochas de origem.

Com o aumento da maturação térmica, observa-se a isomerização de esteranos regulares em $C_{20-5\alpha(H), 14\alpha(H), 17\alpha(H)}$ de configuração R, formando uma mistura de configurações R (epímero biológico) e S (epímero geológico), esperando-se que a relação $C_{29} 20S/(20S+20R)$ atinja valores de equilíbrio entre 0,52 e 0,55 (Peters. *et al.*, 2005). Esta relação apresentou valores entre 0,03 e 0,31 corroborando com os demais parâmetros de maturidade que indicam baixa evolução térmica para a matéria orgânica.

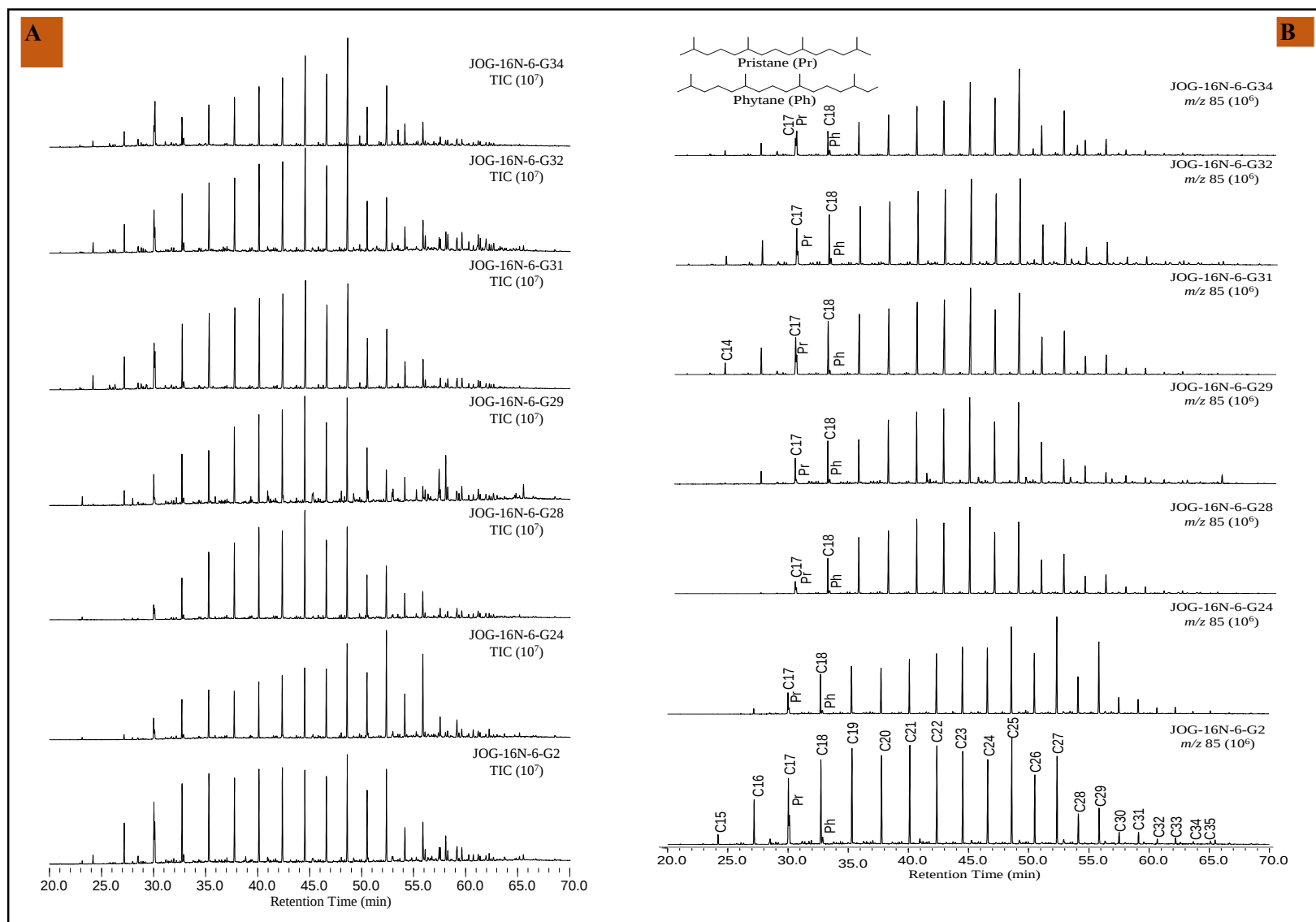


Figura 9: A) cromatograma do ião Total (TIC) dos hidrocarbonetos saturados. B) cromatograma de massa (m/z/85) para os hidrocarboentos saturados

Por outro lado a maturação térmica dos sedimentos atravessados pelo furo JOG16N-6 foi analisado por meio dos diagramas de OEP vs C29 e OEP vs CPI, conforme a figura 10 ilustrado abaixo, mostrando uma variação de maturação térmica que se situa nos campos de imaturo e maturo inicial.

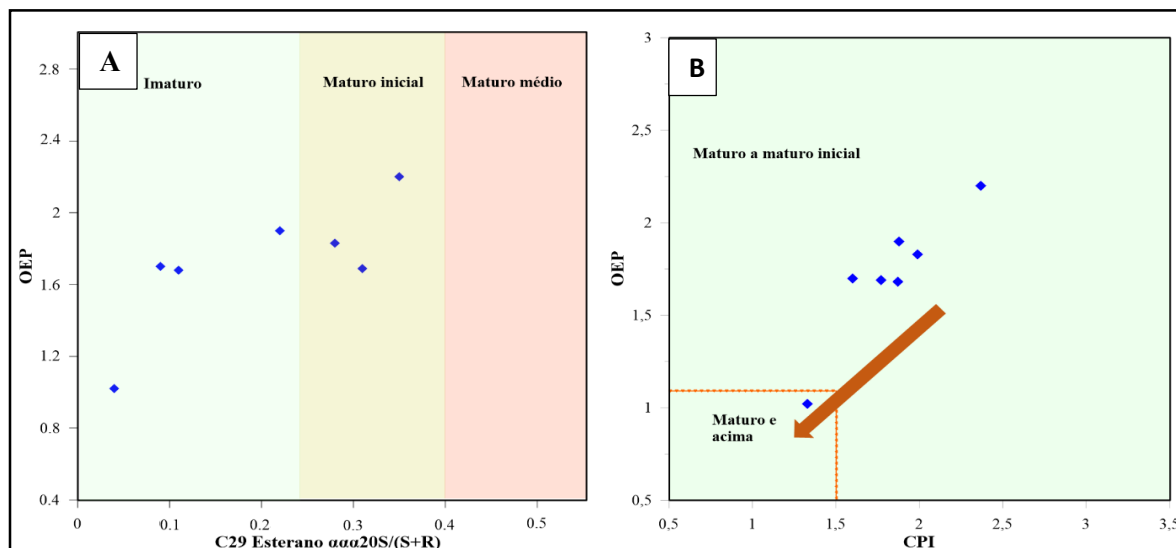


Figura 10: Diagrama da evolução da maturação térmica do furo JOG16N-6, mostrando uma variação de imaturo a maturo inicial.

Estas informações sobre maturação térmica derivada de biomarcadores, é corroborado pelos dados da refletância da vitrinite (figura 11), indicando uma variação de maturação compreendido de imaturo a fase principal de maturação térmica, também é sustentado pelo cromatograma de Tricíclico, tetracíclico e pentacíclico (figura 11).

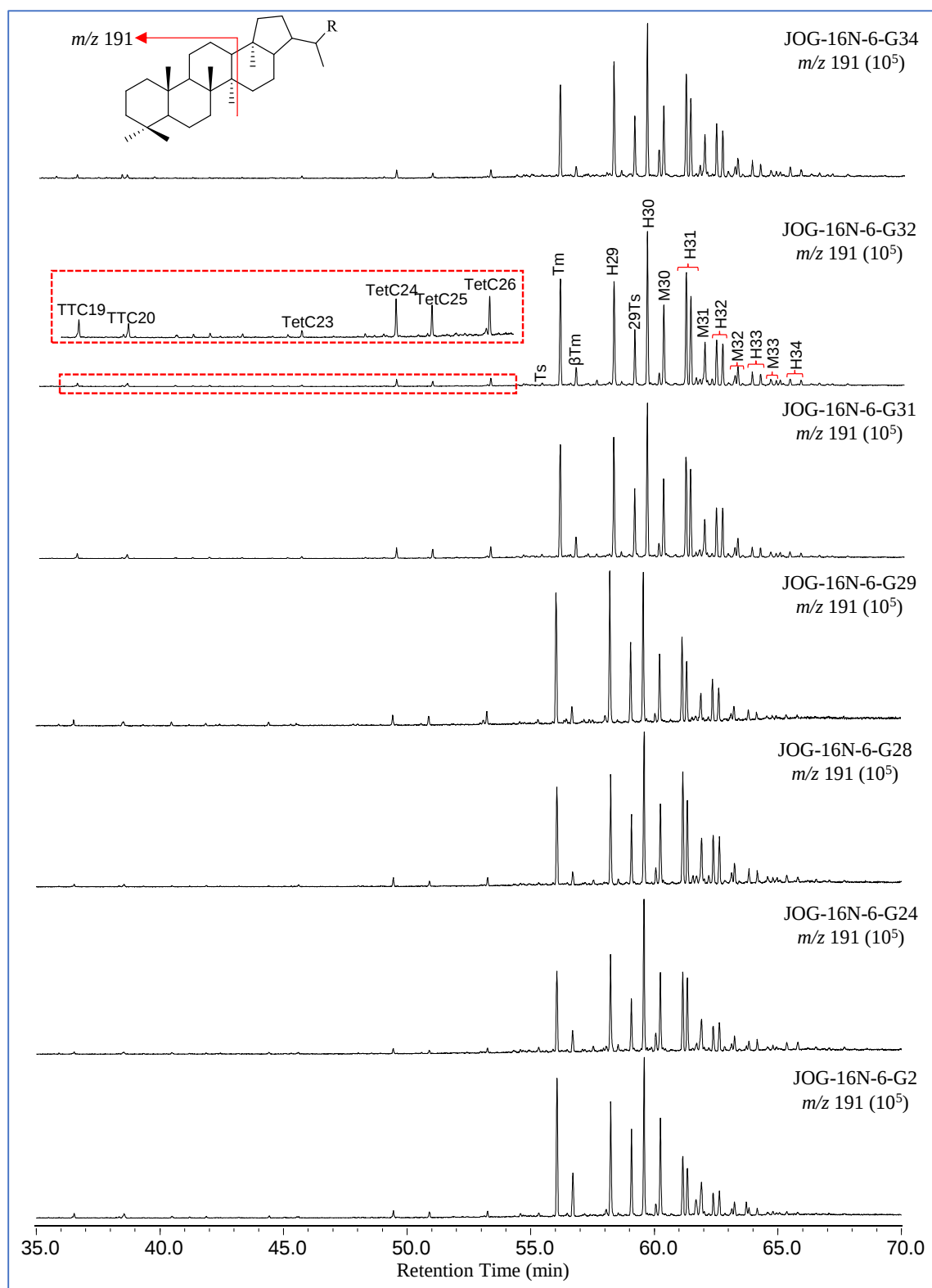


Figura 11: Tricíclico, tetracíclico e pentacíclico em cromatogramas de massas (m/z 191) do furo JOG16N-6.

Este dado é importante pois serve como um indicador adicional da maturação térmica (Figura 12), dando uma confirmação acerca da evolução térmica da matéria orgânica em análise.

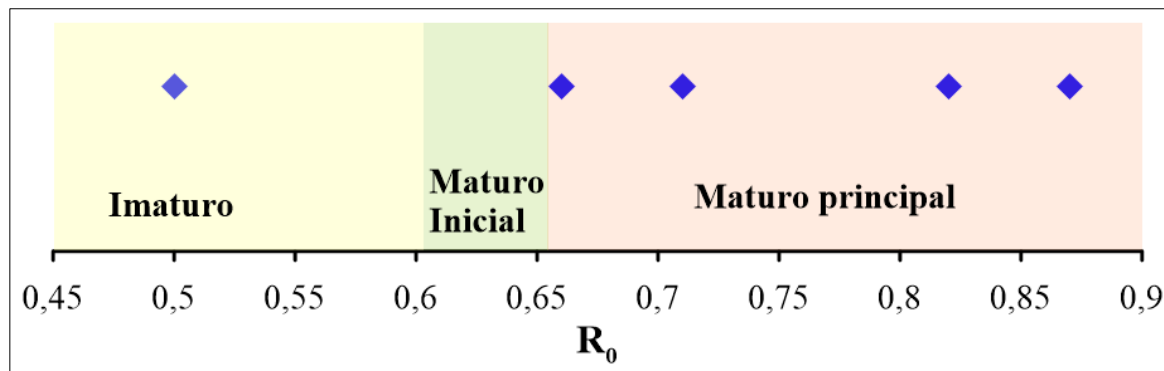


Figura 12: Evolução térmica da do furo JOG16N-6 a partir da refletância de vitrinite.

n-Parafinas

O modo de distribuição das n-parafinas é utilizado para investigar a origem genética dos óleos (Tissot e Welt, 1984). A matéria orgânica sapropélica é caracterizada por uma concentração máxima de pico de C15–C25, refletindo a fonte de matéria orgânica marinha (El Nady et al., 2016). Além disso, as matérias orgânicas que foram derivadas dos restos de plantas vasculares superiores (terrestres) caracterizam-se por uma concentração máxima de n-parafinas em n-C25–C29 (Tissot & Welt, 1984).

As cromatografias gasosas das amostras em estudo são caracterizados pela predominância de hidrocarbonetos leves a médios na gama de C₁₆-C₂₇, isso indica que o óleo produzido a partir dos sedimentos em estudo provem de fontes orgânicas depositadas em ambiente terrestre (Peters et al., 2004).

O índice de preferência de carbono (CPI) dos estudados os óleos variam de 1,33 a 2,27, sustentando que os óleos estão imaturos.

Isoprenóides

Os isoprenóides mais comuns que são utilizados neste estudo têm uma relação pristano/fitano. A relação pristano/fitano foi utilizado como um indicador do ambiente deposicional. As razões

pristano/fitano para amostras analisadas variam de 0,04 a 7,94. Estes indicam um ambiente deposicional variando de anóxico à óxico (El Nady et al., 2016).

O gráfico da figura 13 que mostra a relação entre Pr/C17 vs Ph/C18, este diagrama mostra que a matéria orgânica mostra índices crescentes da maturação e baixos níveis de biodegradação.

No que diz respeito os tipos de querogênio, a matéria orgânica exibe querogênio do Tipo III variando para uma mistura dos querogênio Tipo II e III, estes tipos de querogênio conferem um potencial para a geração de gás e uma mistura de gás e petróleo para a matéria orgânica em estudo. Este facto mostra que a matéria orgânica foi depositada em um ambiente terrestre oxidante gradando para um ambiente redutor (ambiente deposicional transicional).

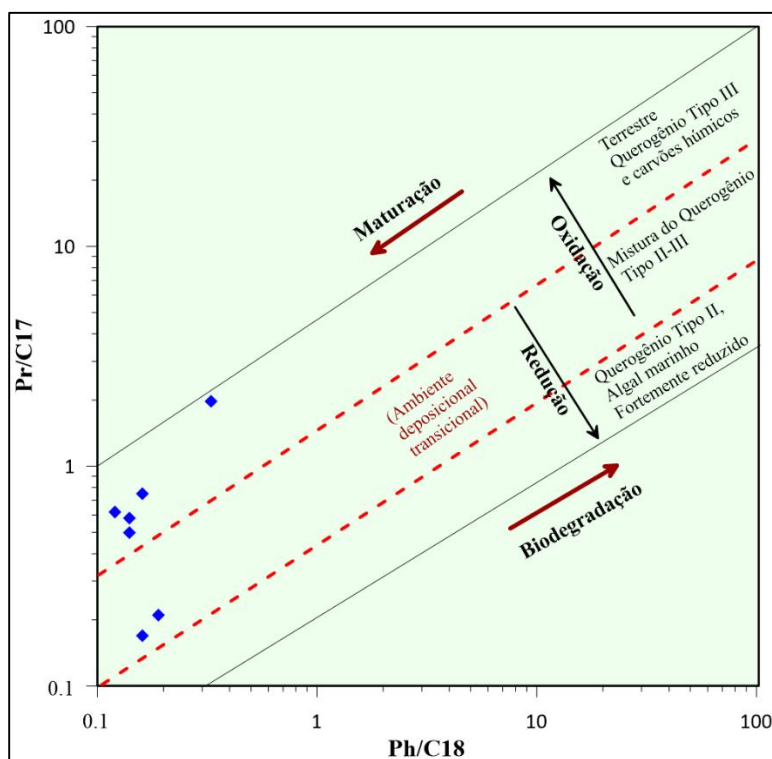


Figura 13: Relação de isoprenóides Pristano e fitano mostrando os diferentes tipos querogênio, bem como paleoambiente deposicional da matéria orgânica.

O digrama representado na figura 14-a, mostra uma variação dos isoprenóides com a profundidade revelado uma variação proporcional das razões $Pr/nC17$ e $Ph/nC18$, ou seja, estes parâmetros variam de forma concomitante entre eles. Por outro, o diagrama da figura 14-b, representa a variação da razão Pr/Ph com a profundidade, de modo a verificar a variação do paleoambiente deposicional com a profundidade. De acordo com este diagrama a matéria orgânica em estudo foi depositado predominantemente em um ambiente óxico, porém a profundidades mais altas estabelecem-se algumas condições de anoxia.

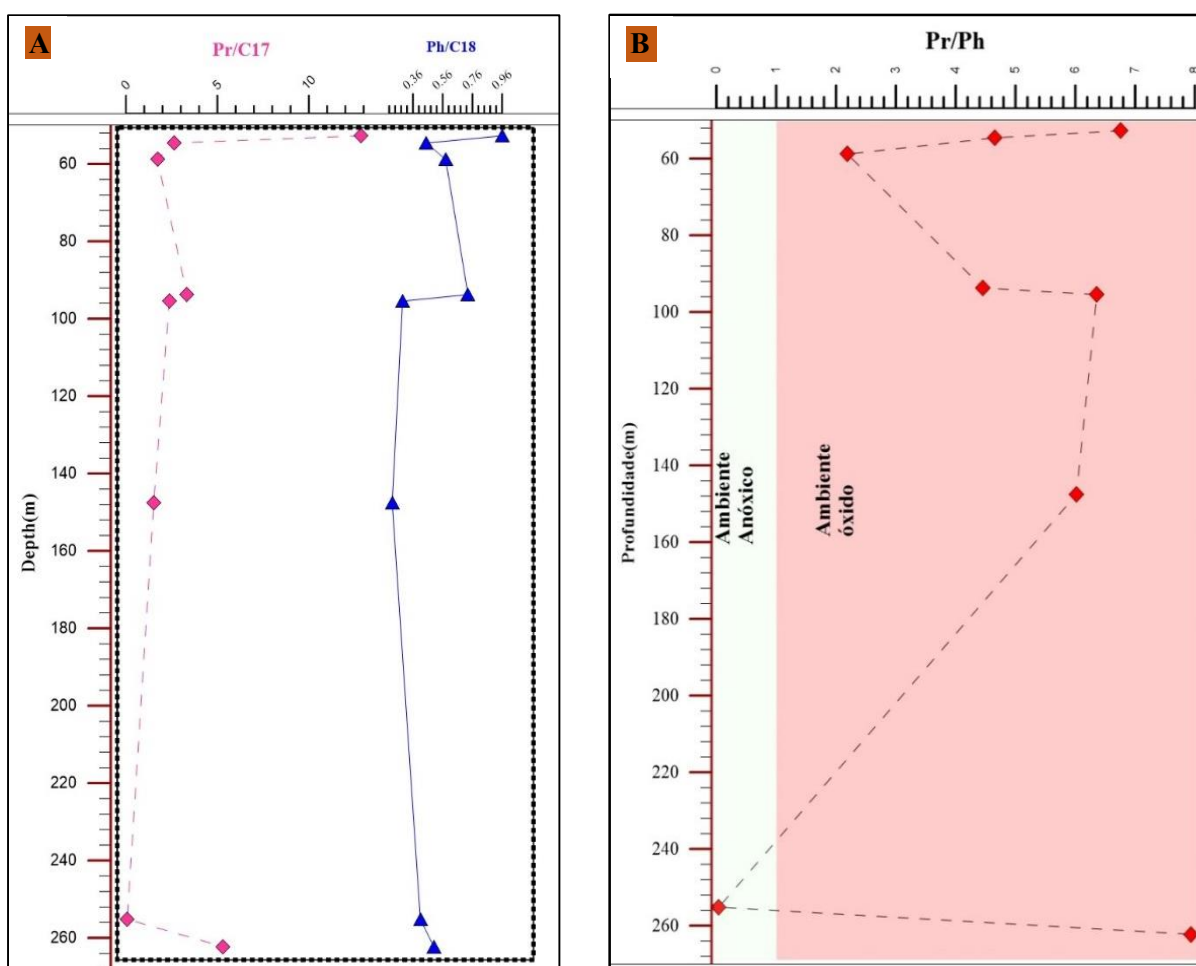


Figura 14: Variação das razões de isoprenóides/ n-alcenos com a profundidade (A) e análise da variação do paleoambiente deposicional com a profundidade (B).

4.2 INTERPRETAÇÃO DO PALEOAMBIENTE DEPOSICIONAL

As distribuições de *n*-alcanos variaram de C14 a C35, mostrando distribuição unimodal com alta abundância relativa de compostos de massa molar média e alta (C19 a C27), com predomínio de C27-31 (TAR>1) e preferência ímpar sobre par (IPC>1) sugerindo matéria orgânica terrígena (Bray e Evans, 1961; Tissot e Welte, 1984).

A relação Pristano/Fitano (Pr/Ph) é geralmente aplicada para avaliar a condição redox do ambiente deposicional, apesar de suas muitas limitações. Valores elevados (>3,0) para a relação Pr/Ph indicam contribuições de matéria orgânica terrígena depositada em condições mais óxicas (figura 15A) enquanto valores baixos (<0,8) indicam condições anóxicas, muitas vezes relacionadas a ambientes hipersalinos ou carbonatados (Didyk *et al.*, 1978; Walters e Moldávia, 2005). A figura 15A mostra uma predominância de condições óxicas durante a deposição da matéria orgânica.

Por outro lado o diagrama ternário da figura 15B mostra uma influência de plantas superiores terrestres, porém, a ausência do Esterano C28, cria uma ambiguidade na interpretação dos resultados fazendo com que algumas amostras caiam nos campos de algálico e marinho aberto.

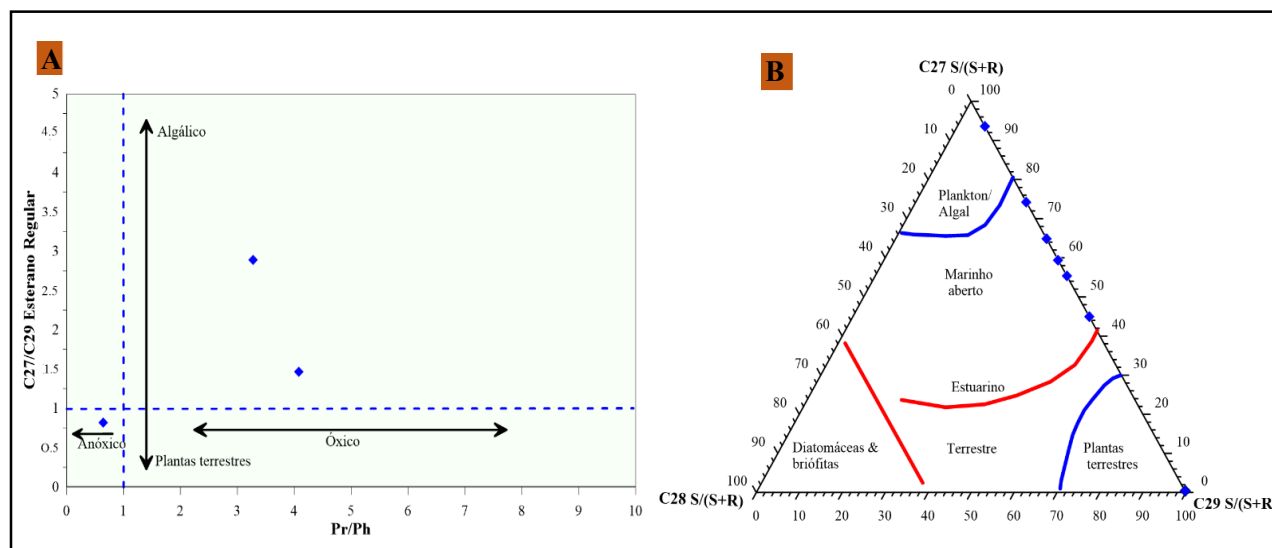


Figura 15: Plote de C27/C29 vs Pristano/Fitano mostrando as a predominância de condições anóxicas durante a deposição da matéria orgânica, (A). Diagrama ternário caracterizando os paleoambientes deposicionais do furo em estudo (B). (El Nady *et al.*, 2016)(Souza *et al.*, 2021).

A razão observada nos esteranos C27/C29 foi inferior a 1, indicando uma predominância de OM continental, conforme observado na análise de biomarcadores.

Estas interpretações acima são bastante apoiadas por dados paleobotânicos. Por exemplo, durante o Pérmico, os restos de *glossopterídeos* dominam a flora em quase todos os locais do Gondwana. O sucesso do *Glossopteris* é em grande parte atribuído ao seu hábito decíduo e sistemas radiculares especializados que lhes permitiram colonizar extensos ecossistemas diversificados, como ambientes de alta latitude, planícies, margens de lagos e planícies de inundação (Mc Loughlin 2001). No entanto, é bem conhecido que restos de plantas enterradas, como os observados no local K5, compreendem principalmente madeira, esporos, pólen e material foliar que foram enterrados como turfas e eventualmente convertidos em querogênicos III ou IV, dos quais são convertidos em hidrocarbonetos (McCarthy et al., 2011; Este é o caso provável da Bacia Carbonífera de Maniamba, onde foram encontradas folhas de *Glossopteris* (Fig. 1) (Verniers et al., 1989).

Adicionalmente quatro espécies foram reconhecidas até o momento, *Glossopteris indica*, *G. browniana*, *G. ampla*, *Glossopteris aff. retifera* e *G. cf. communis* (Verniers et al., 1989 e Nhamutole et al., In press). Além disso, as assembleias palinológicas diversificadas que incluem *Scheuringipollenites ovatus*, *Laevigatosporites plicatus*, *Cycadopites cymbatus*, *Gutullappollenites hannonicus*, *Horridriletes tereatengulatus*, *brevitriletes levis* (Nhamutole et al., in press e abundância de madeiras fósseis de coníferas endêmicas das formações Karoo e Gondwana, como *Agathoxylon africa* número, *A. karooensis*, *Australoxylon teixeirae*, *A. zambesiensis*, *Protaxodioxylon metangulense* e *P. verniersi* corroboram com a proveniência e tipo de MO identificado no presente estudo (Nhamutole et al., 2021 e Nhamutole et al., in press). A abundância de madeiras de coníferas primitivas tem sido associada ao aumento de C29 e C20 (diterpenos), uma vez que estes últimos constituem a parte principal das resinas em coníferas, conforme sugerido por Schwark et al. (2002) fig. 16.

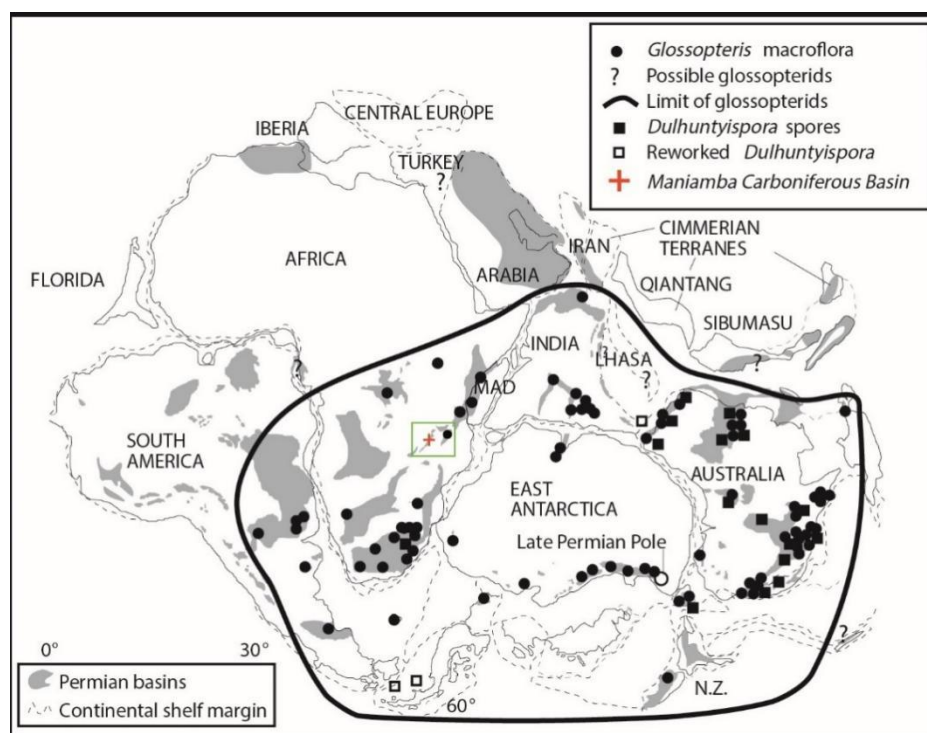


Figura 16: distribuição da Paleoflora albergando *Glossopteris* no mapa do Gondwana. A Bacia de Maniamba está indicada a Vermelho, adaptado de from McLoughlin, 2001

Consequentemente, a quantidade de espécies dominantes das *gymnospermas* é considerada o principal fator que controla o enriquecimento de matéria orgânica.

Anders e Robinson (1971) e Gallegos (1971) foram os primeiros a identificar a série de Terpanos tricíclicos ou Queilantanes (m/z 191), estes compostos estão disseminados em rochas lacustres e de origem marinha.

De Grande et al.,1993, ao analisarem diversos óleos e extratos orgânicos de rochas, observaram que essa série pode se estender pelo menos até C_{54} . Evidências sugerem uma fonte vegetal superior para alguns terpanes tricíclicos C_{19} e C_{20} , no entanto, há evidências de que esses compostos também podem ser produzidos por clivagem térmica da cadeia lateral alquila de triterpanos (Zumberge, 1983).

Os homólogos C_{23} a C_{26} são dominantes em amostras com maior contribuição de matéria orgânica de origem lacustre ou marinha. Apenas terpanos tricíclicos C_{19} e C_{20} foram identificados

nas amostras, esperando-se a ausência ou baixa abundância relativa de homólogos C23 a C26 em amostras com matéria orgânica de origem terrestre.

Esteranos e diásteranos estão presentes em altas concentrações, esteranos C27 e C28 estão presentes com uma baixa abundância, e suas distribuições são dominadas por esterano C₂₉ (estigmastano) cuja alta abundância está relacionada a plantas terrestres (Peters et al, 2005), corroborando com os parâmetros TAR, CPI e Pr/Ph.,.

A figura 17 sustenta a interpretação de paleoambientes deposicionais da matéria orgânica, onde é possível verificar uma diversificação de paleoambientes deposicionais, a figura 17b mostra que os hidrocarbonetos do furo em estudo são originados a partir de fontes xistosas, ou seja, são originadas de xistos carbonosos depositados em ambientes pântanosos. O diagrama ternário (fig. 17A), mostra que parte da matéria orgânica provem de plantas superiores e de algas marinhas, no entanto, este facto pode significar que a matéria orgânica foi enriquecida em lípidos por acção bacteriana. A matéria orgânica que caie no campo de algas marinhas pode ter sido exumado dos sedimentos depositados no fundo do oceano Moçambique antes do Ciclo Orogénico Pan-Africano (841 e 632 Ma). Este fenómeno é sustentado pelos autores que dão conta que o sôco cristalino de Moçambique é composto por três terrenos diferentes, que colidiram e se amalgamaram durante o Ciclo Orogénico Pan-Africano (COPA). O primeiro cenário envolveu o fechamento do Oceano Moçambique entre 841 e 632 Ma (Cutten & Johnson 2006) e colisão e amalgamação (~640 to ~530 Ma) dos dois blocos crustais, anteriormente denominadas Gondwana Oeste e Gondwana Este (Shackleton 1994, Wilson et al. 1997, Kröner et al. 2001, Jacobs et al. 2006, Bingen et al. 2008).

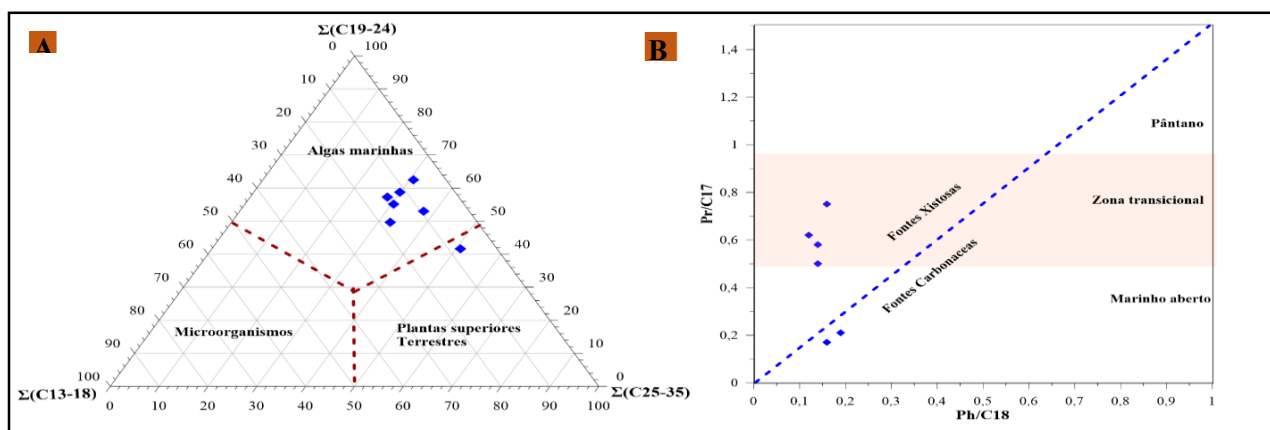


Figura 17: Diagrama pristano/fitano vs esterano ilustrando ambientes deposicionais da matéria orgânica.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na análise geoquímica de biomarcadores através da extração sob refluxo com uma mistura azeotrópica de diclorometano/metanol para obtenção do extrato orgânico no furo JOG16N-6, mostram que:

- As matérias orgânicas presentes no furo em referência têm uma fonte terrestre de plantas superiores, o que é evidenciado pela concentração máxima de *n-parafinas* que varia de C16-C27.
- O grau de maturação da matéria orgânica presente no furo JOG16N-6, mostra que está no estágio inicial de maturação o que é evidenciado pela presença de *Terpanos C27 17 β (H)-22,29,30-trinorhopane (β Tm)* em todas as amostras, assim como a relação de configurações R (epímero biológico) e S (epímero geológico) que apresenta valores entre 0,03 e 0,31 o que indica baixa evolução térmica para a matéria orgânica. Por sua vez os diagramas de OEP vs C29 e OEP vs CPI sustentam que a matéria orgânica presente no furo JOG16N-6 tem uma variação de maturação térmica que se situa nos campos de imaturo e maturo inicial.
- O Ambiente e condições de deposição da matéria orgânica do furo JOG16N-6 mostram-se ser de ambiente terrestre transicional oxidante graduante para redutor, o que é evidenciado pela razão pristano/fitano que é alta e com baixa biodegradação.
- Quando o paleoambiente deposicional é analisado em profundidade pela razão pristano/fitano (Pr/nC17 e Ph/nC18), a matéria orgânica mostra que foi depositado predominantemente em um ambiente óxico, porém a profundidades mais altas estabeleçam-se algumas condições de anoxia.
- A matéria orgânica em estudo no furo JOG16N-6, mostra-se potencial a geração de hidrocarbonetos pela presença do querogênio do Tipo III variando para uma mistura dos querogênio Tipo II e III confere a matéria orgânica um potencial para a geração de gás e uma mistura de gás e petróleo.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Com vista aprimorar a fiabilidade dos resultados e as interpretações apresentadas neste Projecto Científico e, esperando que as investigações não se encerrem por aqui, recomenda-se o seguinte:

1. Recomenda-se a realização de estudos geofísicos a nível da Bacia, pelo método sísmico através das técnicas de Reflexão em 2D e 3D.
2. Recomenda-se a abertura de mais furos exploração profundos e estudos mais apurados.
3. Recomenda-se a construção e apetrechamento de um laboratório de análises de geoquímica orgânica a nível da Universidade Ou do Instituto Nacional de Petroleos (INP), visto que localmente foi difícil, pois houve demoras tendo em conta que o laboratório usado estar localizado na República do Brasil.
4. Recomenda-se que seja feita a análise das fracções aromáticas e polares por forma avaliar a contribuição de outras moléculas não identificadas pela análise feita neste presente trabalho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

AFONSO. *recursos minerais da república de moçambique. contribuição para o seu conhecimento.* Lisboa, Portugal : Instituto de Investigação Científica Tropical de Portugal e Direcção Nacional de Geologia de Moçambique, 1994.

ALA, Michael. *An introduction to petroleum geoscience.* London, UK: world scientific publishing europe ltd., 2017.

ALLEN, P A e ALLEN, J R. *Basin analysis: principles and applications.* Toronto: Springer, 2005.

ANDERS, D E e Robinson, W E. *Cycloalkane constituents of the bitumen from Green river shale.* *geochim cosmochim Acta.* 1971.

BINGEN. *The Niassa Gold Belt, northern Mozambique – A segment of a continental scale Pan-African gold-bearing structure.* Maputo, 2008

BRAY, E E e EVANS, E D. *Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds.* *geochimica et cosmochimica Acta.* 1961.

CUMBANE, Félix Arnaldo.. *Aplicação de modelo digital de elevação e de imagens OLI na caracterização morfoestrutural da bacia de Maniamba – Niassa.* Departamento de Geologia, Universidade Eduardo Mondlane. 2017 : Faculdade de Ciências, 2017.

DA SILVA, Carla Grazieli Azevedo. *Caracterização geoquímica orgânica das rochas geradoras de petróleo das formações irati e poovta grossa da bacia do paraná.* Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

DE GRANDE, S M. B, Aquino Neto, F R e Mello, M R. *Extended tricyclic terpanes in sediments and petroleums.* *Organic Geochemistry.* 1993.

DELVAUX, D. *Karoo rifting in western Tanzania: precursor of Gondwana break-up: in Contributions to geology and palaentology of Gondwana in Honor of Helmut Wopfner.* Cologne: s.n., 1991. pp. 111 - 125.

DIDYK, B M, et al. *Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation.* *Nature.* 1978.

MOLDOWAN, J M. *Diverse applications of petroleum biomarker maturity parameters.* 1994, Arabian Journal for Science and Engineering, pp. 19-36.

DO NASCIMENTO, Rayane Maria. *Avaliação temporal de biomarcadores de petróleo empregados no estudo de derrames simulados em ambientes terrestres.* Recife: Universidade Federal rural de Pernambuco, 2019.

ENSMINGER, A. *Evolution of polycyclic alkanes under the effect of burial (Early Toarcian shales, Paris Basin).* In: *Advances in Organic Geochemistry.* Madrid: ENADIMSA, 1977.

FÁVERA, F C. Dellar. *Fundamentos da estratigrafia moderna*. [ed.] Petrobras. Rio de Janeiro : UERJ, 2001. Vol. 2ed.

FLORES, R. M. *Coal and Coalbed Gas: Fueling the Future*. Waltham, MA, Elsevier, 697 pp.

GALLEGOS, E J. *Identification of new steranes, terpanes and branched paraffins in Green River shale by combined capillary gas chromatography and mass spectrometry*. *Anal Chem*. 1971.

EL NADY, M M, MOHAMED, N S e SHARAF, L M. *Geochemical and biomarker characteristics of crude oils and source rock hydrocarbon extracts: An implication to their correlation, depositional environment and maturation in the Northern Western Desert, Egypt*.l. : Egyptian Journal of Petroleum, 2016, pp. 263-268.

GEOLOGICAL SURVEY OF NORWAY (NGU). *Geological infrastructure development project geological mapping – Lot 1, 1135 Lupilichi*. Maputo : NDF, 2006.

GTK Consortium. *Geological Map 1:250.000, Sheets 1135*. Maputo, Moçambique : Ministério dos Recursos Minerais, 2006a.

GTK CONSORTIUM. 2006. *Map Explanation; Volume 4: Sheets 1430 – 1432 and 1530 – 1534. Geology of Degree Sheets Inhamambo, Maluwera, Chifunde, Zumbo, Fingoè-Mágoè, Songo, Cazula and Zóbuè, Mozambique*. Maputo: Ministério dos Recursos Minerais, Direcção Nacional de Geologia,, 2006.

HONG, Z H. *Geochemical application of sterane and triterpane biological marker compounds in the Linyi Basin*. *Organic Geochemistry*. 1986.

KENT, P E e PERRY, J T. O. B. *he development of the Indian Ocean margin in Tanzania in Sedimentary basins of the African coasts*. Paris: ASGA, 1973.

KILLOPS S. D., & KILLOPS V. J. *An Introduction to Organic Geochemistry*. Xiii + 265 pp. Harlow: Longman; copublished in the USA by John Wiley. Price £17.99 (paperback). ISBN 0 582 08040 1.

MAE. 2014. *Perfil do Distrito de Sanga*. Lichinga : Direcção Nacional De Administração Local, 2014.

MAGOON, L B E DOW, W G. *The petroleum system*. Tulsa, Oklahoma, U.S.A: American Association of Petroleum Geologists, 1994.

MCCARTHY, K., ROJAS, K., NIEMANN, M., PALMOWSKI, D., PETERS, K., STANKIEWICZ, A. Basic petroleum geochemistry for source rock evaluation. 2011, Oilf. Rev. 23, 32–43.

MCLOUGHLIN, S. The breakup history of Gondwana and its impact on pre-Cenozoic floristic provincialism. 2001, Austr. J. Bot. 49, 271–300.

MIALL, Andrew D. *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Berlin Heidelberg: Springer – Verlag, 1997.

MOLDOWAN, J M, SUNDARARAMAN, P E SCHOELL, M. *Sensitivity of biomarker properties to depositional environment and/or source input in the Lower Toarcian of S. W. Germany. Organic Geochemistry*. Moscovo: s.n., 1986.

VEEVERS, J J. *Morphotectonics of rifted continental margins in embryo (east Africa), youth (Africa-Arabian), and maturity (Australia)*. 1981, Journal of Geology, pp. 119-127.

NHAMUTOLE, N.E., BAMFORD, M.K., ARAÚJO, R. New species of *Protaxodioxylon* (conifer wood) from the middle permian of the Metangula graben (Niassa province, Mozambique) and their implications. J. Afr. Earth Sci. 183, 104323.

NICHOLS, Gary. *Sedimentology and Stratigraphy*. 2a Edição. British Library: Willey-BlackWell, 2009.

NORCONSULT. *Notícia Explicativa das folhas: 1039 Muidine, 1040 Palma, 1134 Ponta Messuli, 1135 Lupilichi, 1136 Milepa, 1137 Macalange, 1138, Negomano, 1139 Mueda, 1140 Moçimboa da Praia, 1234 Metangula, 1235 Macaloge-Chiconono, 1236 Mavago, 1237 Mecula, 1238 Xixano,.* Maputo: Ministério dos Recursos Minerais e Energia, 2007.

PARRISH. C. C., ABRAJANO T. A., BUDGE S. M., HELLEUR R. J., HUDSON E. D., PULCHAN K, Ramos C. 2000 Lipid and Phenolic Biomarkers in Marine Ecosystems: Analysis and Applications; Marine Chemistry, Volume 5D. ISBN: 978-3-540-66020-0

PETERS, K E, Walters, C C e MOLDOVAN, J M. *The Biomarker Guide. Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History*. Cambridge: Cambridge University, 2005. Vol. II.

PETERS, K E, Walters, C C e MOLDOWAN, J M. *The biomarkers guide*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

PHILIP, J. R. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil - Water. Resources Research. v. 21, n°7. P.1025-1033.

- SEIFERT, W K e MOLDOWAN, J M.** *Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils.* *Geochimica ET Cosmochimica Acta.* 1978.
- SEIRFERT e MOLDOWAN.** *The effect of thermal stress on source-rock quality as measured by hopane stereochemistry.* *Physics and Chemistry of the Earth.* 1980.
- CATUNEANU, O.** 2005 *The Karoo basins of south-central Africa.* *Journal of African Earth Sciences*, pp. 211 - 253. 43.
- VERNIERS, J.** *The Karoo Graben of Metangula, Northern Mozambique.* 1989, *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 9, pp. 137 - 158. 1.
- MAGOON, L B.** *The play that complements the petroleum system—a new exploration equation.* 1995, *Oil & Gas Journal*, Vol. 93, pp. 85–87. 40.
- TISSOT, B e WELT, D.** 1984. *Petroleum Formation and Occurrence.* In *Eos, Transactions American Geophysical Union.* 1984. Vol. 66.
- VASCONCELOS, L e Achimo, M.** *O carvão em Moçambique. Ciências Geológicas – Ensino e Investigação da sua História.* Lisboa: s.n., 2010.
- ZUMBERGE, J E.** *Tricyclic diterpane distributions in the correlation of Paleozoic crude oils from the Williston Basin.* In: *Advances in Organic Geochemistry 1981.* New York: John Wiley & Sons, 1983.