



02-009-T05-O: ROCHAS MÃE DE HIDROCARBONETOS DA BACIA CARBONÍFERA DE MOATIZE-MINJOVA

Fernandes, P.^{1*}; Marques, J.²; Rodrigues, B.¹ & Jorge, R.C.G.S.³

1. CTMA — Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal
2. Gondwana Empreendimentos e Consultorias Limitada, Rua B, nº. 233, Bairro da COOP, CP 832, Maputo, Moçambique
3. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa (GeGUL), Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, Edifício C6, Piso 4, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

pfernandes@ualg.pt, joamarques@gondwana.co.mz, bmgrodrigues@sapo.pt, rjorge@fc.ul.pt.

*autor correspondente

RESUMO:

A Formação (Gresosa) de Moatize da Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova, é uma unidade estratigráfica importante do Supergrupo do Karoo de Moçambique, consistindo em argilitos carbonosos, arenitos e camadas de carvão. Os argilitos da Formação (Gresosa) de Moatize caracterizam-se por possuírem querogénio do tipo II-III e do tipo III, com elevado conteúdo em carbono orgânico COT (1,3 – 31 wt.%) e valores de Índice de Hidrogénio (HI) baixos a médios (70 – 270 mg HC/g COT), sendo considerados como uma boa a excelente rocha mãe de gás. A Formação (Tilítica) de Vúzi, na base do Supergrupo do Karoo, não possui capacidade para gerar hidrocarbonetos.

Palavras-chave: geoquímica orgânica, gás, Karoo, Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova, Moçambique

1. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Na Província de Tete, na região Centro Oeste de Moçambique, o Supergrupo do Karoo (SGK) está bem representado ao longo do vale do rio Zambeze em bacias intra-cratónicas separadas por blocos de tipo *horst* constituídos por rochas cristalinas do Proterozóico. A região do presente estudo localiza-se na Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova, a mais importante bacia carbonífera do vale do rio Zambeze.

A geologia do SGK é dividida em duas unidades litológicas diferentes, as unidades sedimentares, que constituem a maioria da sucessão estratigráfica, e as unidades de natureza ígnea que se posicionam no topo da sucessão do Karoo. Estas últimas consistem em rochas vulcânicas (basaltos e riólitos) e rochas intrusivas (doleritos, gabros e sienitos) de idade jurássica inferior e são relacionadas com o início da fase de *rifting* responsável pela fragmentação do Supercontinente Gondwana. As unidades sedimentares são constituídas por várias formações de natureza clástica depositadas em ambiente continental que registam importantes mudanças dos ambientes sedimentares, desde ambientes glaciares e proglaciares característicos da Formação (Tilítica) de Vúzi (Pérmico Inferior – Médio, Lopes *et al.* e Pereira *et al.*, 2014) na base da sucessão, seguidos por ambientes continentais temperados húmidos da Formação (Gresosa) de Moatize (Pérmico Inferior - Médio, Pereira *et al.*, 2014) e por último, no topo da sucessão, ambientes quentes e áridos que caracterizam a Formação (Margo-Gresosa) de Matinde (Pérmico Médio – Superior) e a Formação (Gresosa) de Cádzi (Pérmico Superior – Triásico Inferior). As camadas de carvão exploradas na Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova encontram-se ao longo da Formação de Moatize e estão intercaladas com arenitos e argilitos carbonosos (Vasconcelos & Achimo, 2010). É sobre a avaliação do potencial gerador de hidrocarbonetos dos argilitos carbonosos da Formação de Moatize, que este trabalho é dedicado.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram recolhidas de sete sondagens de exploração de carvão que penetraram o topo da Formação Vúzi e a Formação de Moatize (Figura. 1). As sondagens foram realizadas pela companhia *ETA STAR Moçambique S.A.*, com o objectivo de reconhecer a posição das camadas de carvão da Formação de Moatize em profundidade, assim como, a profundidade e distribuição da Formação de Vúzi. A Figura 1 ilustra as colunas litológicas das sete sondagens, uma possível correlação lateral entre as sondagens e a posição das amostras estudadas. As amostras estudadas foram argilitos negros carbonosos, argilitos cinzentos e silto-argilitos. Um total de 92 amostras foram estudadas para geoquímica orgânica (pirólise *rock-eval*).

A técnica de pirólise *rock-eval* (Epitalié *et al.* 1977) fornece dados sobre a quantidade, tipo e maturação térmica da matéria orgânica presente em rochas e em sedimentos. Os parâmetros medidos por esta técnica incluem: carbono orgânico total (COT), S1, S2, S3 e temperatura máxima de pirólise (Tmax). Os índices de hidrogénio (HI) e de oxigénio (OI) foram calculados de acordo com Peters & Cassa (1994).

A preparação das amostras de rocha para os estudos geoquímicos envolveu, em primeiro lugar, a redução a pó de cerca de 50 - 70 g da amostra, com um moinho de ágata. O pó de rocha obtido foi posteriormente enviado para análise no laboratório GEO-data GmbH na Alemanha. As análises de pirólise *rock-eval* foram efectuadas num instrumento analisador ROCK-EVAL 6 (Vinci Technologies SA) seguindo a metodologia descrita por Tissot & Espitalié (1975).

3. RESULTADOS

Das 92 amostras analisadas para geoquímica orgânica, em apenas 8 amostras os valores de COT foram inferiores a 0,5 wt. % (limite inferior de detecção do aparelho) sendo a maioria destas pertencentes à Formação de Vúzi (6 amostras). Os valores de pirólise *rock eval* obtidos para as amostras analisadas podem ser solicitados ao autor correspondente. O COT na Formação de Moatize varia entre 1,3 e 31 wt. %, mas a maioria das amostras apresentam valores de COT superiores a 4 wt. %, valores típicos de rochas com COT muito bons a excelentes. Já os valores de COT da Formação de Vúzi são, de modo geral, inferiores aos valores da Formação Moatize, variando entre um valor mínimo de 0,9 wt. % e um valor máximo de 24 wt. %.

Os valores de S1 medidos na Formação de Vúzi são inferiores a 0,5 mg HC/g rocha indicando que poucos hidrocarbonetos foram gerados durante a fase de maturação orgânica. Na Formação de Moatize os valores de S1 estão, na maioria das amostras, entre 0,1 e 2 mg HC/g rocha indicando que alguns hidrocarbonetos foram gerados durante a fase de maturação orgânica na bacia sedimentar.

Relativamente, aos hidrocarbonetos gerados durante a segunda fase da pirólise (S2), a Formação de Vúzi apresenta valores inferior a 2,5 mg HC/g rocha, e a Formação de Moatize valores, para a maioria das amostras, entre 5 e 60 mg HC/g rocha. Atendendo aos valores de S2 obtidos, a Formação de Vúzi apresenta um potencial muito fraco para gerar petróleo ou gás, enquanto que a Formação de Moatize o potencial da maioria das amostras distribui-se entre o moderado, o bom, o muito bom e o excelente. Sugerindo, portanto, um potencial apreciável para gerar hidrocarbonetos.

Os valores de Tmax variam entre 436 – 589°C e 442 – 597°C para a Formação de Moatize e Formação de Vúzi, respectivamente. Contudo, os valores de Tmax das duas formações não são confirmados pelas medidas obtidas para o poder reflector da vitrinite das mesmas amostras por Fernandes *et al.* (2014) (1,3 – 1,69%*R_v*) e de outros locais da Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova por Vasconcelos (1995) e Vasconcelos & Achimo (2010) (1,28 – 1,51%*R_v*). O poder reflector da vitrinite indica um *rank* de carvões Betuminosos na transição entre B e A (ISO 11760) e



uma posição no final da janela do petróleo e início da janela do gás termogénico, tendo sido considerado como o parâmetro de maturação orgânica das amostras estudadas e não os valores de Tmax obtidos pela pirólise. A não correspondência entre os valores do poder reflector da vitrinite e os valores de Tmax pode ser devida a vários factores: existência de migrabetunes, incorrecta identificação do pico de S2, etc., estando em curso a sua investigação.

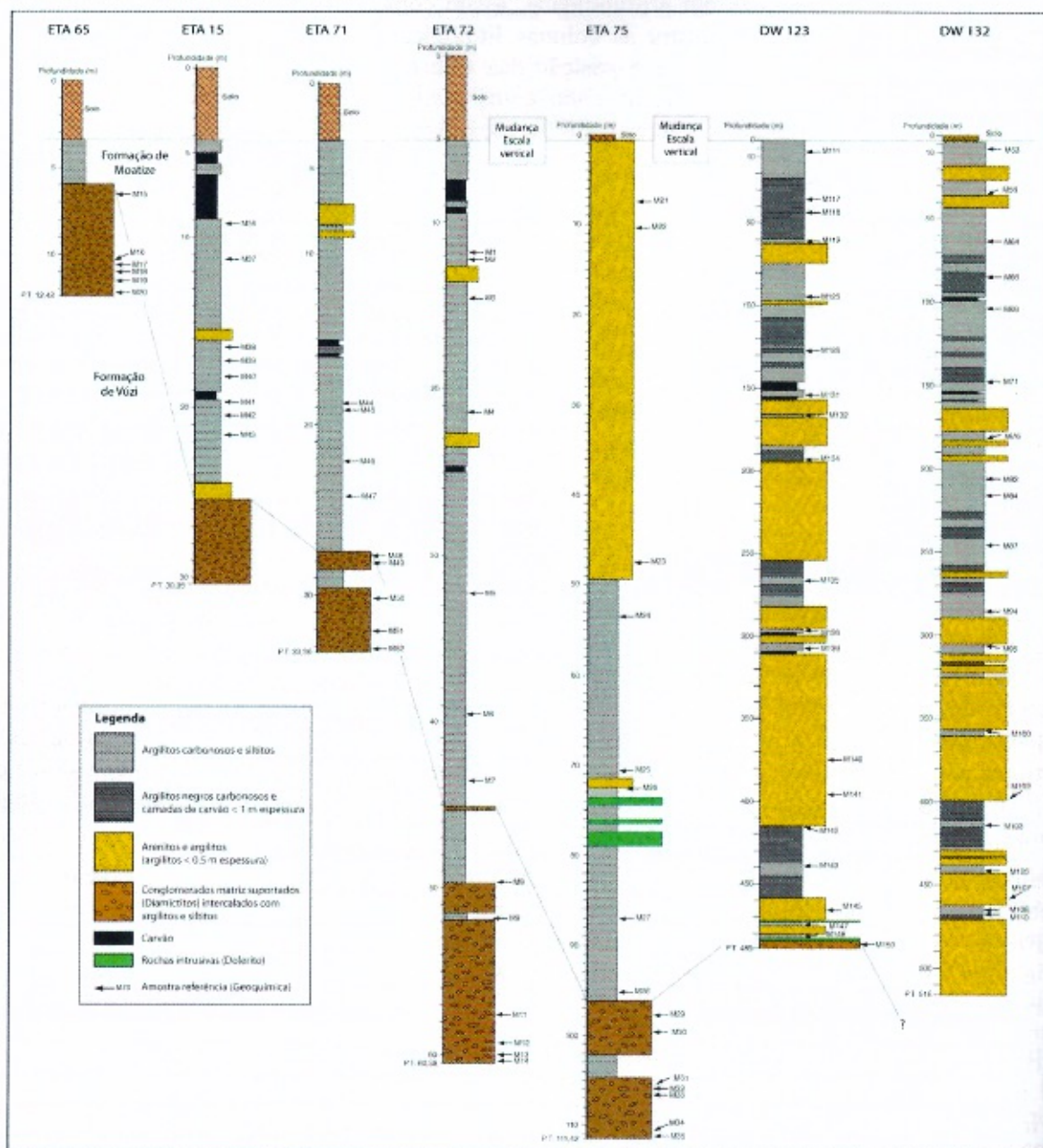


Figura 1. Descrição geral das sondagens analisadas, com a posição das amostras estudadas e a correlação lateral para o topo da Formação de Vúzi.



3.1. Tipo de Matéria Orgânica

De acordo com o gráfico COT vs. S2 (Figura 2), a maioria das amostras da Formação de Moatize estudadas projectam-se no campo de valores baixos a moderados de HI (50 – 200 mg HC/g COT) indicando que a matéria orgânica é constituída por querogénio do tipo III e de tipo II-III. O querogénio do tipo III é propenso à produção de gás, enquanto que o de tipo II-III é propenso à produção de petróleo e gás. As amostras da Formação Vúzi têm valores de HI muito baixos (< 50 mg HC/g COT), indicando que a matéria orgânica é classificada como querogénio do tipo IV e que não apresenta nenhuma propensão para a geração de hidrocarbonetos, quer petróleo, quer gás.

Uma característica da maioria das amostras da Formação de Moatize é o baixo valor do índice OI que apresentam.

3.2. Potencial Gerador de Hidrocarbonetos

Os resultados das análises de geoquímica orgânica (COT e pirólise *rock-eval*) permitem discriminar as formações de Vúzi e de Moatize em relação ao tipo de querogénio mas, também, em relação ao potencial gerador de hidrocarbonetos e maturação que apresentam.

Em diagramas COT vs. S1, COT vs. S2, HI vs. S2/S3 e Tmax vs. HI é possível discriminar as formações de Vúzi e de Moatize, pois as amostras destas formações projectam-se nestes gráficos em dois campos distintos, com poucas amostras de ambas as formações a se sobreporem nos campos característicos de cada formação. A maioria das amostras da Formação de Moatize apresentam valores de COT elevados (> 8 wt. %) e valores de S2 resultante da pirólise superiores a 100 mg HC/g rocha apontando, portanto, para um potencial muito bom a excelente para gerar gás. As amostras da Formação de Vúzi projectam-se noutra campo do gráfico COT vs. S2, os valores de COT são baixos (< 4 wt. %) e, mais importante para o potencial gerador de hidrocarbonetos, os valores de S2 são muito baixos, sempre inferiores a 3 mg HC/g rocha, indicando que esta formação não apresenta potencial gerador de hidrocarbonetos (gás e petróleo). No gráfico COT vs. S1 é, também, possível discriminar com facilidade as amostras das duas formações. Os valores de S1 obtidos por pirólise da Formação de Vúzi são muito baixos indicando que poucos hidrocarbonetos foram destilados das amostras durante a primeira fase de pirólise. A Formação Moatize separa-se por apresentar valores de S1 superiores, distribuindo-se entre os campos do potencial moderado e o do potencial bom. Este dado indica que foram gerados hidrocarbonetos durante a história térmica da Formação de Moatize na bacia sedimentar, todavia o seu potencial é, ainda, moderado.

Uma característica notável de ambas as formações são os valores baixos de S3 e, portanto, valores elevados para a razão S2/S3. Normalmente, os querogénios do tipo III e IV, característicos da Formação de Moatize e da Formação de Vúzi, respectivamente, apresentam valores de S3 mais elevados dos que foram medidos para estas duas formações.

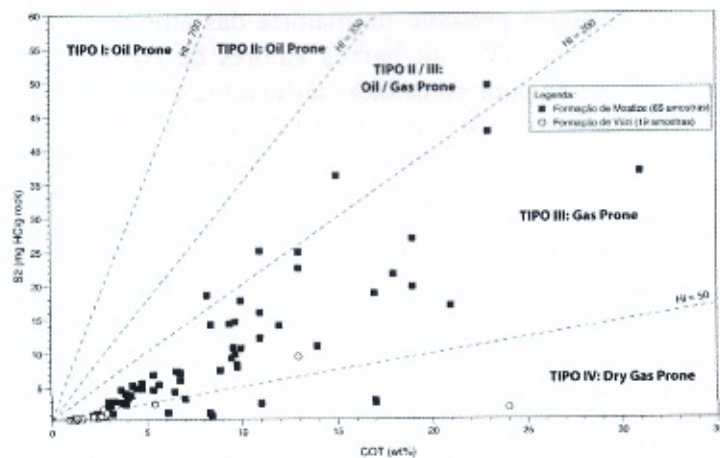


Figura 2. Gráfico COT vs. S2, com o tipo de querogénio e o seu potencial gerador em hidrocarbonetos.



4. CONCLUSÕES

A matéria orgânica presente na maioria das amostras da Formação de Vúzi é classificada como querogénio de tipo IV com baixos valores de HI, indicando que esta unidade estratigráfica não possui capacidade para gerar hidrocarbonetos. A Formação de Moatize é caracterizada por possuir querogénio do tipo II-III e do tipo III, com elevados valores de COT (> 4 wt. %) e valores de HI médios a elevados, sendo considerada como possuindo capacidade para gerar gás. Todavia, esta situação só se poderá verificar, actualmente, em regiões da Bacia Carbonífera de Moatize – Minjova onde a Formação de Moatize estiver a profundidades e a temperaturas (> 150°C) capazes de gerar gás termogénico. Atendendo aos valores da maturação orgânica da Formação de Moatize que indicam uma posição no final da janela do petróleo início da janela do gás termogénico (Vasconcelos, 1995; Fernandes *et al.*, 2014), é possível que gás possa ser explorado por *fracking* em locais onde a Formação Moatize apresentar valores de maturação superiores aos medidos, por efeito de maior subsidência no depocentro da bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar o seu agradecimento às empresas *ETA STAR Moçambique, S.A.* proprietária das sondagens e que autorizou a recolha das amostras e o seu estudo e *Gondwana Empreendimentos e Consultorias, Limitada*, pelo apoio prestado durante a recolha das amostras. Os autores desejam, também, expressar o seu agradecimento à empresa *GALP Exploração* o apoio financeiro dado para a realização das análises de geoquímica orgânica. Paulo Fernandes, agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia a bolsa de licença sabática concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Espitalic, J.; Laporte, J.L.; Madec, M.; Marquis, F.; Leplat, P.; Paulet, J. & Boutefeu, A., 1977. Méthode rapide de caractérisation des roches mères de leur degré d'évolution. *Revue Institut Français du Pétrole*, 32(1), pp. 23 - 42.
- Fernandes, P.; Cogné, N.; Rodrigues, B.; Jorge, R.C.G.S.; Marques, J. & Jamal, D., 2014. História Térmica do Supergrupo do Karoo da Bacia Carbonífera de Moatize-Minjova, Província de Tete, Moçambique. Integração de dados do Poder Reflector da Vitrinite e da Termocronologia dos Traços de Fissão da Apatite. *Actas do IX Congresso Nacional de Geologia/2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, Porto, Portugal*.
- ISO 11760 (2005) - Classification of coals. 9 p.
- Lopes, G.; Pereira, Z.; Fernandes, P. & Marques, J., 2014. Datação Palinológica dos Sedimentos Glaciogénicos da Formação Vúzi, sondagem ETA 65, Bacia de Moatize-Minjova, Moçambique – Resultados Preliminares. *Actas do IX Congresso Nacional de Geologia/2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, Porto, Portugal*, 7p.
- Peters, K.E. & Cassa, M.R., 1994. Applied source rock geochemistry, in Magoon, L.B., and Dow, W.G., eds., *The Petroleum System - From Source to Trap*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 60, p. 93-117.
- Pereira, Z.; Lopes, G.; Fernandes, P. & Marques, J., 2014. Estudo palinoestratigráfico da sondagem ETA 72 do Karoo Inferior da Bacia de Moatize-Minjova, Moçambique - Resultados Preliminares. *Actas do IX Congresso Nacional de Geologia/2º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, Porto, Portugal*, 6p.
- Tissot, B. & Espitalic, J., 1975. L'évolution thermique de la matière organique des sédiments: application d'une simulation mathématique. *Rev. Inst. Fr. Pet.* 30, 743-777.
- Vasconcelos, L., 1995. Contribuição para o conhecimento dos carvões da Bacia Carbonífera de Moatize, Província de Tete, República de Moçambique. Tese de doutoramento, Universidade do Porto, Portugal. Vol. 1, 231p.
- Vasconcelos, L. & Achimo, M., 2010. O carvão em Moçambique. Ciências Geológicas – Ensino e Investigação da sua História. In: Cotelos Neiva, J. M., Ribeiro, A., Mendes Victor, L., Noronha, F. e Ramalho, M. M. (Eds.). *Geologia das Ex-Colónias de África, Moçambique*, Lisboa, III, 191-206.