

**Caracterização Geoquímica da Formação da Brejeira (Grupo do Flysch do Baixo Alentejo): Resultados Preliminares*****Geochemistry of the Brejeira Formation (Baixo Alentejo Flysch Group): Preliminary Results***Fernandes¹, P., Jorge², R. C. G. S., Rodrigues¹, B., Pereira³, Z. & Oliveira⁴, J. T.

1. CIMA, Universidade do Algarve, Campus de Gambelas 8005-139 Faro, Portugal (pfernandes@ualg.pt)

2. CREMINER, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Ed. C6, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

3. LNEG-LGM, Rua da Amieira, 4465-965 S. Mamede Infesta, Portugal

4. LNEG-LGM, Estrada Portela, Zambujal Alfragide, Ap.7586, 2720-866 Amadora, Portugal

Resumo

A Formação Brejeira é a unidade litoestratigráfica mais recente do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo consistindo, essencialmente, de grauvaques e quartzovaques de natureza turbidítica intercalados com xistos argilosos. A idade da Fm. Brejeira distribui-se entre o Bashkiriano e o Moscoviano superior (Carbonífero Superior). O estudo petrográfico e mineralógico dos grauvaques da Fm. Brejeira relevou a seguinte composição $Qt_{81,6}F_{0,9}Lt_{17,5}$, resultados que sugerem uma proveniência dos sedimentos de áreas caracterizadas predominantemente por rochas (meta)sedimentares recicladas.

Do ponto de vista geoquímico os grauvaques são enriquecidos em SiO_2 (>75%) reflectindo uma mineralogia dominada pelo quartzo. Os xistos argilosos apresentam Índices de Variabilidade Composicional (IVC) inferiores a 1 e baixas razões K_2O/Al_2O_3 ($0,2 \pm 0,02$) e Na_2O/K_2O ($0,15 \pm 0,06$). As litologias da Fm. Brejeira exibem padrões normalizados das Terras Raras caracterizados por enriquecimento em Terras Raras Leves, anomalia de Eu negativa e reduzido fraccionamento das Terras Raras Pesadas. Quer os grauvaques quer os xistos argilosos possuem valores similares das razões La_n/Sm_n , Gd_n/Yb_n e Eu/Eu^* . O Índice de Meteorização Química (CIW) das litologias da Fm. Brejeira é elevado (>80,93) e o Índice de Alteração da Plagioclase (PIA) apesar de mais variável, é na maioria das amostras elevado (PIA 67,24 – 96,14). Os valores de CIW e PIA sugerem condições de meteorização química de moderada a intensa. Os dados petrográficos e geoquímicos sugerem áreas-fonte dos sedimentos da Fm. Brejeira caracterizadas por rochas félsicas e (meta)sedimentares recicladas.

Palavras chave: Formação Brejeira, Grupo do Flysch do Baixo Alentejo, turbiditos, geoquímica, proveniência

Abstract

The Brejeira Formation is the youngest lithostratigraphic unit of the Baixo Alentejo Group and consists of turbiditic greywackes and quartzowackes interbedded with shales. The Brejeira Fm. is Bashkirian to upper Moscovian in age (Upper Carboniferous). Petrographic and mineralogical studies of the greywackes showed the following composition $Qt_{81,6}F_{0,9}Lt_{17,5}$, this results suggests provenance areas for the sediments characterized by recycled (meta)sedimentary rocks.

The greywackes of the Brejeira Fm. are rich in SiO_2 (>75%) reflecting a quartz dominant mineralogy. The shales have low values (<1) for the Compositional Variability Index (CVI) and low ratios K_2O/Al_2O_3 ($0,2 \pm 0,02$) and Na_2O/K_2O ($0,15 \pm 0,06$). The Rare Earth patterns of the Brejeira Fm. are characterized by enrichment in LREE, a negative Eu anomaly and low fractionalization of the HREE. Both greywackes and shales have similar values for the ratios La_n/Sm_n , Gd_n/Yb_n e Eu/Eu^* . The *Chemical Index of Weathering* (CIW) for the lithologies of the Brejeira Fm. is high (>80.93) and the *Plagioclase Index of Alteration* (PIA), although more variable is, for the majority of the samples, high (PIA 67.24 – 96.14). The values for the CIA and PIA suggest moderate to intense chemical weathering of the source – area. The petrographic and geochemical data strongly suggests provenance areas for the sediments of the Brejeira Fm. characterized by felsic and recycled (meta)sedimentary rocks.

Keywords: Brejeira Formation, Baixo Alentejo Flysch Group, turbidites, geochemistry, provenance

1. Introdução e Enquadramento Geológico

A Formação Brejeira (Fm. Brejeira) é a unidade litoestratigráfica mais recente do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (GFBA) constituindo este um dos domínios da Zona Sul Portuguesa (ZSP) (Oliveira, 1990). À semelhança das outras duas formações do GFBA, Formação Mértola e Formação Mira, a Fm. Brejeira apresenta características de depósitos turbidíticos, sendo constituída por grauvaques e quartzovaques intercalados com xistos argilosos. Com base em critérios litológicos a Fm. Brejeira encontra-se dividida em duas faixas distintas, uma faixa com cerca de 5 a 10 km de largura adjacente à Fm. Mira constituída por quartzitos impuros e quartzovaques intercalados com xistos argilosos, e uma faixa localizada a sudoeste, onde ocupa uma extensa área, formada por grauvaques intercalados com xistos argilosos (Oliveira *et al.*, 1979; Oliveira, 1990). As paleocorrentes registadas na Fm. Brejeira indicam transporte sedimentar predominante de NNO para SSE, todavia nos afloramentos localizados nas áreas mais a S-SW as paleocorrentes mostram direcções mais variáveis, provavelmente relacionadas com o facto das correntes de turbidez terem preenchido e contornado importante topografia submarina formada pela plataforma carbonatada representada pelas unidades do Grupo da Carrapateira (Oliveira, 1990). Faunas de amonóides e palinóforos indicam uma idade de Bashkiriano a Moscoviano superior para a Fm. Brejeira (Korn, 1997; Pereira, 1997, 1999). No caso particular dos palinóforos foi identificada a biozona FR do Bashkiriano médio na base da Fm. Brejeira, e segundo a direcção SW reconheceram-se sucessivamente as biozonas SS, Ra, NJ, SL e por último a biozona OT do Moscoviano superior (Pereira, 1999) (Figura 1). A distribuição das associações de palinóforos da Fm. Brejeira confirma a progradação para SW da sedimentação turbidítica e indica que a deformação neste sector é posterior ao Moscoviano.

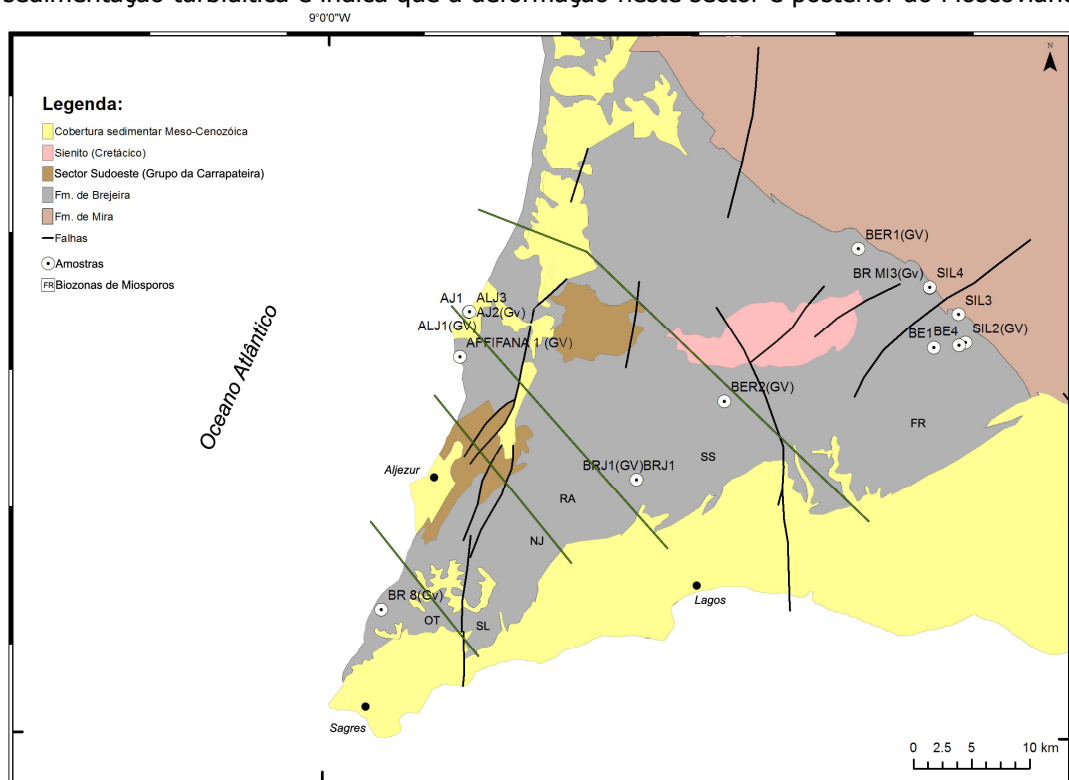


Figura 1. Geologia do Sector Sudoeste da Zona Sul Portuguesa com a localização das amostras estudadas e as fronteiras entre diferentes biozonas de miosporos encontradas na Fm. Brejeira. Adaptado da Carta Geológica de Portugal, esc. 1/500000, SGP, 1992 e Pereira, 1997, 1999.

Os estudos de natureza geoquímica conhecidos na ZSP concentram-se essencialmente na Faixa Piritosa, facto compreensível pela presença nesta de inúmeros jazigos de sulfuretos maciços de classe mundial. Este trabalho, de carácter preliminar, constitui uma primeira

tentativa para caracterizar geoquimicamente as litologias clásticas da Fm. Brejeira. A composição química dos sedimentos clásticos pode ser afectada por inúmeros factores incluindo a composição da área fonte, o tipo de meteorização dominante na área fonte, a selecção

hidráulica dos sedimentos, os fenómenos de adsorção de metais, a diagénese e o metamorfismo. Neste estudo apresentam-se dados geoquímicos da Fm. Brejeira, sendo a sua interpretação usada para avaliar os aspectos principais da sua história como: proveniência dos sedimentos, tipo de meteorização da área fonte dos sedimentos e sua evolução.

2. Material e Métodos

Com o objectivo de proceder à caracterização geoquímica da Fm. Brejeira foi realizado trabalho de amostragem que incluiu as principais manchas de rochas aflorantes desta unidade. Do extenso conjunto colhido, 14 amostras (6 xistos argilosos e 8 grauvaques) consideradas representativas das diferentes litofacies da Formação Brejeira foram seleccionadas para estudo de química de rocha total e cuja localização se ilustra na figura 1. Paralelamente, procedeu-se de forma sistemática à caracterização mineralógica/petrográfica das diferentes litofacies amostradas. A totalidade dos grauvaques seleccionados para química de rocha total foi alvo de análise modal com base nos critérios definidos por Gazzi-Dickinson. Para o efeito, procedeu-se à contagem, em média, de 320 grãos por amostra não tendo sido contabilizados quer os cimentos quer a matriz. O reconhecimento dos grãos de feldspato potássico e plagioclase foi realizado com recurso ao método proposto por Houghton (1980). As análises geoquímicas de rocha total para os elementos maiores e traço das amostras estudadas foram realizadas nos laboratórios ACTLABS (Ontário, Canadá) pelo método ICP/MS.

3. Caracterização Petrográfica

O constituinte clástico dominante dos grauvaques da Fm. Brejeira é o quartzo monocristalino. Os fragmentos líticos de rochas vulcânicas são os constituintes clásticos mais abundantes a seguir ao quartzo monocristalino, enquanto os grãos de rochas sedimentares e metamórficas ocorrem em proporções variáveis. Os feldspatos (plagioclases e feldspato potássico) raramente excedem 1% do total dos grãos clásticos. A matriz dos grauvaques é constituída por filossilicatos formando cerca de 15-20% dos constituintes clásticos. Palhetas de biotite e moscovite detrítica são raras. Os minerais pesados são dominados pelo zircão e em menor quantidade rútilo, turmalina e esfena.

A média dos componentes modais dos grauvaques da Fm. Brejeira é a seguinte: $Qt_{81,6}F_{0,9}Lt_{17,5}$, onde Qt é a totalidade dos grãos de quartzo (monocristalino e policristalino), F a soma das plagioclases e feldspato potássico e Lt os fragmentos líticos. No diagrama ternário de discriminação da proveniência QtFLt de Dickinson (1985), todos os grauvaques se projectam no campo dos sistemas orogénicos reciclados (Figura 2). Estes dados sugerem uma proveniência dos sedimentos da Fm. Brejeira de áreas caracterizadas predominantemente por rochas (meta)sedimentares recicladas.

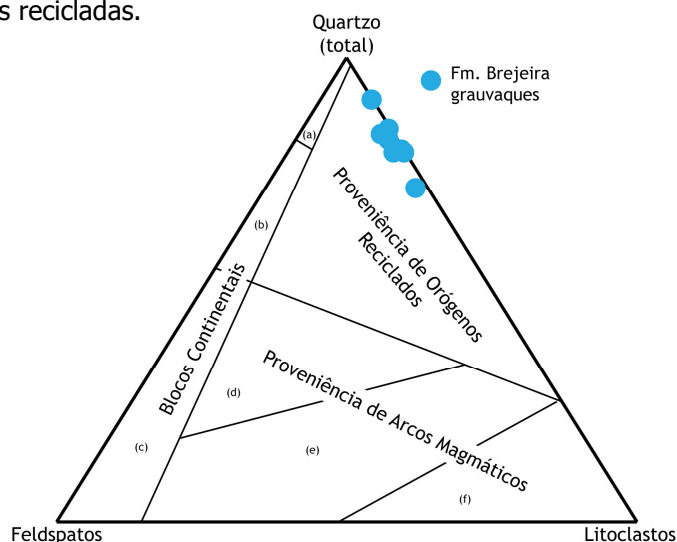


Figura 2. Projecção dos grauvaques da Fm. Brejeira no diagrama discriminante de Dickinson (1985). Quartzo total = quartzo monocristalino + quartzo policristalino; Feldspatos = Plagioclase + K feldspato; litoclastos = clastos sedimentares + metamórficos + ígneas.

4. Geoquímica

4.1 Elementos Maiores

Previsivelmente, a geoquímica dos grauvaques da Fm. Brejeira é marcada por elevados conteúdos em SiO_2 ($77,58 \pm 6,98\%$) reflectindo uma mineralogia fortemente dominada por quartzo. Neste grupo de rochas os valores médios em Al_2O_3 , MgO , Na_2O e K_2O são, respectivamente, $8,93 \pm 1,12\%$, $1,06 \pm 0,74\%$, $0,70 \pm 0,48\%$ e $1,27 \pm 0,11\%$. Os conteúdos em Fe_2O_3 oscilam entre 0,45 e 10,21% sendo o valor médio de $4,62 \pm 3,19\%$.

Ainda que de forma menos acentuada, o quimismo dos xistos argilosos é igualmente marcado por elevados conteúdos em SiO_2 ($54,10 \pm 2,77\%$). Os valores médios em Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO e K_2O são $23,96 \pm 1,92\%$, $6,55 \pm 0,77\%$ e $4,73 \pm 1,01\%$ respectivamente. Ambas as litologias exibem baixos conteúdos em MnO , CaO e P_2O_5 . Significativamente o índice de variabilidade composicional ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$; Cf. Cox et al. 1995) dos xistos argilos da Fm. Brejeira é sempre inferior a 1. Este grupo de rochas pauta-se igualmente por baixas razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ($0,20 \pm 0,02$) e $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ($0,15 \pm 0,06$). Idênticas assinaturas geoquímicas foram reportadas por Fernandes *et al.* (2008) para litologias congêneres das formações Mértola e Mira do GFBA.

Comparativamente aos Post-Archean Average Australian Shales (PAAS), os xistos argilosos da Fm. Brejeira exibem idênticas concentrações em Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 mostram-se empobrecidas em CaO , MgO , MnO e Na_2O relativamente àquele valor-padrão.

4.2 Elementos Traço

Os xistos argilosos da Fm. Brejeira possuem conteúdos médios em Th, Sc, V, Cr, Co e Ni de $16,22 \pm 0,92$, $23,0 \pm 2,45$, $192 \pm 19,73$, $16,00 \pm 11$ e 20 ppm, respectivamente. Neste grupo de rochas os valores das razões Cr/Th e Th/Sc são, respectivamente, $8,02 \pm 0,37$ e $0,71 \pm 0,07$. Conforme seria espectável, dado o feito de diluição do quartzo, os grauvaques exibem menores conteúdos em Th ($7,37 \pm 0,57$ ppm), Sc ($7,67 \pm 1,51$ ppm), V ($65,5 \pm 15,33$ ppm), Cr ($58,33 \pm 14,72$ ppm) e Co ($12,4 \pm 5,13$ ppm). Contudo, neste grupo de rochas, os valores das razões Cr/Th ($7,84 \pm 1,46$) e Th/Sc ($0,99 \pm 0,16$) são similares aos registados na população de xistos argilosos.

Na figura 3 foram projectadas as concentrações em Terras Raras (normalizadas relativamente à composição dos condritos; Taylor & McLennan 1985) exibidas pelos xistos argilosos e grauvaques da Formação Brejeira. Conforme se pode concluir da análise da sua distribuição, embora variando quanto às respectivas abundâncias absolutas, fruto do efeito de diluição do quartzo, os dois grupos de rochas exibem padrões normalizados em Terras Raras similares, caracterizados por enriquecimentos relativos em Terras Raras Leves, uma anomalia negativa no európio, e um muito reduzido fraccionamento das Terras Raras Pesadas. Nos xistos argilosos, as razões La_n/Sm_n e Gd_n/Yb_n são $3,57 \pm 0,33$ e $1,58 \pm 0,19$, respectivamente. Estes valores são idênticos aos registados nos grauvaques ($\text{La}_n/\text{Sm}_n = 3,44 \pm 0,30$ e $\text{Gd}_n/\text{Yb}_n = 1,51 \pm 0,10$). Xistos argilosos e grauvaques possuem valores de Eu/Eu^* de $0,72 \pm 0,02$ e $0,68 \pm 0,01$, respectivamente.

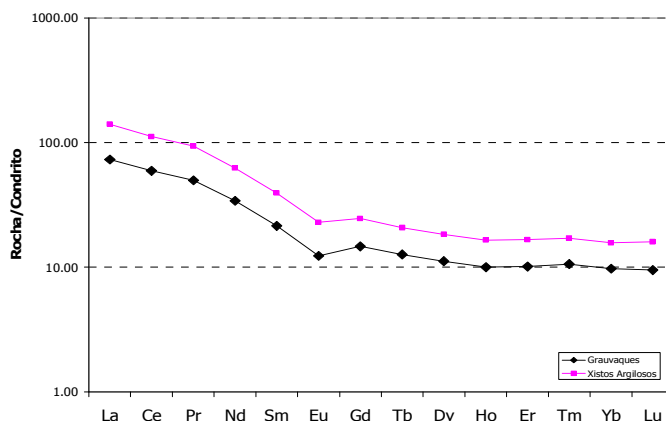


Figura 3. Espectro de Terras Raras exibido pelas rochas siliclásticas da Formação Brejeira.

4.3 Discussão e Conclusões

A interpretação da assinatura geoquímica de rochas siliciclásticas reveste-se, normalmente, de vários factores de complexidade. Desde logo, a natureza composicional da ou das fontes de proveniência dos (meta)sedimentos em questão, mas também o grau de meteorização da área fonte, os efeitos de transporte, selecção hidráulica, diagénese, entre outros (McLennan *et al.*, 2003). Contudo, e sem prejuízo da importância relativa de outros factores, o grau de meteorização da área fonte assume particular destaque já que condiciona directamente quer a mineralogia quer o quimismo das rochas siliciclásticas (Nesbitt 2003).

O grau de meteorização da área fonte das rochas siliciclásticas pode ser inferido com recurso ao *Chemical Index of Weathering* (CIW; $[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)] \times 100$; Cf. Harnois, 1988). Este índice oscila entre 100 para sedimentos resultantes de condições de meteorização química particularmente agressivas e 50 em rochas não alterada. Por exemplo, os PAAS exibem valores de CIW de 88,33 reflectindo elevadas condições de meteorização química.

Os grauvaques da Fm. Brejeira exibem valores de CIW's compreendidos entre 80,93 e 97,25 sendo o valor médio de $90,08 \pm 5,90$. Em oposição, os xistos argilosos pautam-se por valores de CIW relativamente uniformes ($96,81 \pm 0,91$; Min. = 95,72 - Max. = 98,29) ainda que ligeiramente superiores ao reportado para as rochas siliciclásticas grosseiras, facto que é consentâneo com uma historia de meteorização mais prolongada associada à génese destas rochas siliciclásticas de grão fino.

O grau de meteorização da área fonte pode igualmente ser inferido com base no *Plagioclase Index Alteration* (PIA; $[(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + K_2O + CaO^* + Na_2O - K_2O)] \times 100$, onde CaO^* representa a concentração deste óxido na fracção silicatada; Cf. Fedo *et al.*, 1995).

A população de grauvaques analisados exhibe variações significativas nos valores de PIA. Neste grupo de rochas o valor médio, mínimo e máximo de PIA é $84,48 \pm 9,91$, 67,24 e 94,61 respectivamente. Relativamente, aos xistos argilosos, o valor médio é superior ($93,53 \pm 1,65$) apesar de neste grupo de rochas se registar uma menor dispersão entre os valores mínimos (91,49) e máximo (96,14) do PIA.

Em conjunto, os valores de CIW e PIA agora obtidos denunciam condições de meteorização química de moderadas a intensas associadas à génese dos sedimentos da Fm. Brejeira. Contudo, este facto contrasta com o reportado por Fernandes *et al.*, (2008) quer para Formação Mértola quer para a Formação Mira. Na realidade, em ambas as formações, observam-se condições de meteorização química menos intensas e sensivelmente constante ao longo do intervalo de tempo que mediou a sua formação (cf. Fernandes *et al.*, 2008).

Um conjunto significativo de indicadores geoquímicos permitem inferir a composição química da(s) área(s) fontes das rochas siliciclásticas. Neste contexto, os elementos do grupo das terras raras assumem particular destaque já que no decurso dos processos sedimentares não sofrem fraccionamento (McLennan *et al.*, 2003).

Conforme foi anteriormente referido, os xistos argilosos e os grauvaques da Fm. Brejeiras possuem um padrão normalizado em Terras Raras similares, caracterizados por enriquecimentos relativos em Terras Raras leves, uma anomalia negativa no Európio, e um muito reduzido fraccionamento das Terras Raras Pesadas. Em conjunto, estas características são compatíveis com uma filiação félsica para ambos os grupos de rochas siliciclásticas da Formação da Brejeira. Esta conclusão é igualmente suportada com bases nas razões Fe/Ti, La/Sc, Cr/Th e V/Ni.

Por outro lado, no gráfico Th/Sc *versus* Zr/Sc, (Figura 4) as rochas siliciclásticas da Formação Brejeira, e em particular os seus termos mais grosseiros, projectam-se em campos distintas aos definidos pelas formações Mértola e Mira, e exibem invariavelmente valores mais elevados da razão Zr/Sc, reflectindo não só, uma clara filiação félsica como também um incremento das taxas de reciclagem associadas à formação destes sedimentos. Tais circunstâncias contrastam de forma notória com o observado na população de grauvaques da Formação Mértola. Na realidade, este grupo de rochas pauta-se por valores mais baixos nas razões Th/Sc (0,4-1) e Zr/Sc e possui, comparativamente as suas congéneres da Fm. Brejeira, maiores intervalos de variabilidade em quase todos os elementos em traço. Por outro lado, o seu padrão normalizado das Terras Raras, aliado a uma moderada a inexistente anomalia do Európio ($Eu/Eu^* = 0,65-1$), sugerem fortemente a possibilidade de, relativamente à Formação Mértola, se poder invocar mistura de fontes envolvendo, provavelmente, quer rochas ígneas félsicas, quer litologias máficas (Fernandes *et al.*, 2008).

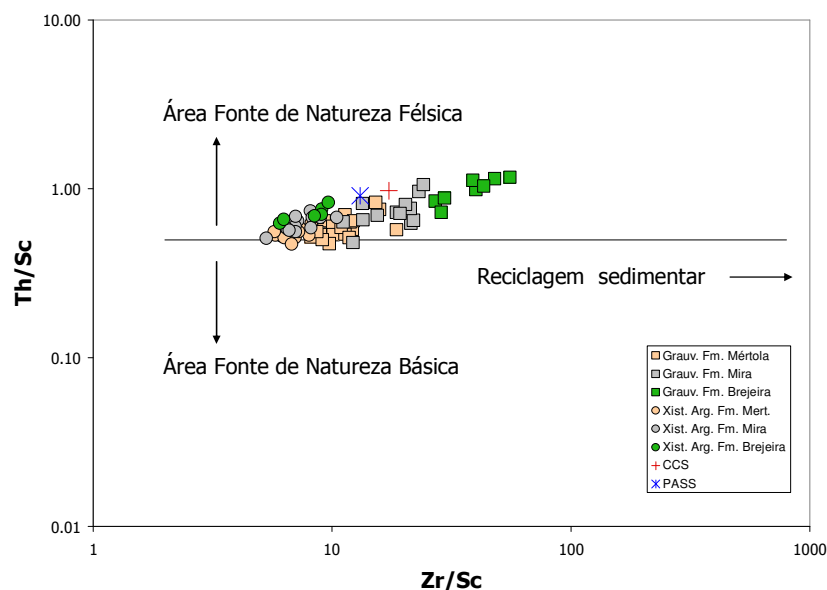


Figura 4. Projecção das rochas siliciclásticas da Fm. Brejeira no diagrama Th/Sc versus Zr/Sc (adaptado de McLennan et al., 1990). CCS – Crusta Continental Superior; PAAS – *Post Archean Average Shale* (Taylor & McLennan, 1985).

Em síntese, os dados agora obtidos para a Fm. Brejeira, expandem e reforçam o conjunto de indicadores geoquímicos que sugerem variações no quimismo da(s) área(s) de proveniência dos sedimentos que integram as diferentes formações do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado pelo projecto POCI/CTE-GEX/60278/2004 da Fundação para a Ciência e Tecnologia, Portugal.

Referências

- Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R.L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States: *Geochimica Et Cosmochimica Acta* v. 59, p. 2919-2940.
- Dickinson, W. R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G. G. (ed.) *Provenance of Arenites*. Dordrecht, Holland: Reidel, pp. 333-361.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1995. Unraveling the Effects of Potassium Metasomatism in Sedimentary-Rocks and Paleosols, with Implications for Paleoweathering Conditions and Provenance: *Geology* v. 23, p. 921-924.
- Fernandes, P., Jorge, R. C. G. S., Pereira, Z., Oliveira, J. T., 2008. Geochemistry of the Baixo Alentejo Flysch Group, South Portuguese Zone: Implications for provenance and palaeoweathering. *Geochimica Cosmochimica Acta*, vol. 72(12), Supplement 1, pp. A264.
- Harnois, L., 1988. The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sediment Geol.* 55, pp. 319-322.
- Houghton, H. F., 1980. Refined techniques for staining plagioclase and alkali feldspars in thin section. *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, pp. 629-631.
- Korn, D., 1997. The Palaeozoic ammonoids of the South Portuguese Zone. *Mem. Inst. Geol. Min. Portugal*, 33, pp. 1-131.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., Maynard, J.B., 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, pp. 2015-2050.
- McLennan, S. M., Bock, B., Hemming, R., Hurowitz, J. A., Lev, S. M., McDaniel, D. K., 2003. The roles of provenance and sedimentary processes in the geochemistry of sedimentary rocks. In: Lentz, D. R. (ed.), *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks*. Geological Association of Canada, p. 7-38.
- Nesbitt, H. W., 2003. Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks. In: Lentz, D. R., (ed.) *Geochemistry of sediments and sedimentary rocks*. Geological Association of Canada, pp. 39-51.

- Oliveira, J. T., 1990. Stratigraphy and syn-sedimentary tectonism in the South Portuguese Zone. In: Dallmeyer, R. D. & Martinez Garcia, E. (eds.) Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer Verlag, pp. 334-347.
- Oliveira, J. T., Horn, M., Paproth, E., 1979. Preliminary note on the stratigraphy of the Baixo Alentejo Group, Carboniferous of Portugal, and on the palaeogeography development compared to corresponding units in Northwest Germany. *Comum. Serv. Geol. Portugal*, 65, pp. 151-168.
- Pereira, Z., 1997. Palinologia e petrologia orgânica do Sector Sudoeste da Zona Sul Portuguesa. Ph.D. thesis. *Fac. Ciências da Universidade do Porto*, 268p.
- Pereira, Z., 1999. Palinoestratigrafia do Sector Sudoeste da Zona Sul Portuguesa. *Comum. Serv. Geol. Portugal*, 86, pp. 25-57.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific, 312 p., Boston, Mass.