

# Evolução metamórfica do complexo de base do Noroeste de Angola (Escudo do Maiombe): condições e idades do metamorfismo

## Metamorphic evolution of the Northwest Angola base complex (Maiombe Shield): conditions and ages of metamorphism

Nsungani Claude Pedro<sup>1</sup>, Rodríguez Cristina<sup>1,2</sup>, Mucanza Gomes<sup>1</sup>, Tunguno Carla Marina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro, 71, Luanda, Angola. pedroclaudensungani@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Unidade de Investigação em Energia, Ambiente e Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Praça de 9 de Abril, 349, 4249-004 Porto, Portugal. cfrodriq@gmail.com.

### CITAR COMO:

Nsungani, P. C., C. Rodrigues, G. Mucanza e C. Tunguno. Evolução metamórfica do complexo de base do noroeste de Angola (Escudo do Maiombe): condições e idades do metamorfismo. Revista Angolana de Geociências, 2020, 2(1), p. 186-198

### INFORMAÇÃO ADICIONAL:

Recebido: 14/10/2020

Aceite: 01/03/2021

\*Autor para

correspondência: Pedro Claude Nsungani (e-mail: pedroclaudensunganu@yahoo.com.br)

Licença: CC BY-NC

Copyright: Centro de Investigação em Ciências Geológicas Aplicadas

Conflito de interesses:

Os autores declaram que não há conflitos de interesses

**Resumo:** O estudo do metamorfismo do Noroeste de Angola foi realizado no domínio interno da Cadeia Quitexe - Caxito, onde as observações de campo demonstraram um aumento do gradiente metamórfico de Este para Oeste, tendo sido identificados migmatitos na área entre Úcua e Caxito. Este trabalho teve como objetivos principais determinar as relações entre as paragêneses mineralógicas e as deformações, assim como, reconstruir as trajetórias de exumação das diferentes fases metamórficas, o que foi efectuado a partir da construção das trajetórias P-T-t de cada unidade (estudo geocronológico 40Ar/39Ar). Neste sentido, na região entre Quitexe-Úcua (zona Este da área de estudo) foram estudadas três amostras, representadas por micaxisto e gnaiss a distena-granada-mica-estaurolite (08PC64, 08PC24 e 08PC31, respectivamente). A foliação é uniforme segundo a direcção N-S, enquanto a inclinação varia para Oeste (amostra 08PC24) e para Este (amostra 08PC31), estabelecendo claramente uma sinforma. Na zona Oeste foram recolhidas duas amostras de gnaiss a sillimanite, ricas em granada (08PC38 e 08PC39), e um migmatito a granada (08PC55), sendo a foliação segundo NO-SE e sub-vertical com o plano axial das dobras D2.

O presente trabalho permitiu estabelecer duas fases metamórficas sucessivas na região: a primeira paragénese (M1) corresponde à fase metamórfica principal, a qual encontra-se bem preservada na unidade oriental, sendo caracterizada pela foliação S1, com quartzo + granada + distena + estaurolite ± rutilo ± ilmenite. Os índices da reequilibrção secundária (M2), apresentando condições de pressão e temperatura mais baixas, ficam limitados a um domínio específico, sendo evidenciados pela deformação D2 (xistosidade de crenulação). Na unidade ocidental, o segundo episódio metamórfico é dominante e contemporâneo do redobramento da foliação principal S, a qual é acompanhada pelo desenvolvimento da foliação do plano axial S2.

**Palavras-chave:** Evolução metamórfica, Escudo do Maiombe, Angola

**Abstract:** The study of metamorphism in the Northwest of Angola was carried out in the internal domain of the Quitexe - Caxito Chain, where field observations showed an increase in the metamorphic gradient from East to West, where migmatites in the area between Úcua and Caxito were identified. This work main goals were to determine the relationships between mineralogical paragenesis and deformations, as well as, to reconstruct the exhumation trajectories of the different metamorphic phases, which was done from the construction of the P-T-t trajectories of each unit (40Ar/39Ar geochronological study). In this context, in the region between Quitexe-Úcua (East zone of the study area) three samples were studied, represented by micaschist and gneiss kyanite-garnet-mica-staurolite (08PC64, 08PC24 and 08PC31, respectively). Foliation is uniform in the N-S direction, while the inclination varies to the West (sample 08PC24) and to the East (sample 08PC31) clearly establishing a synform. In the West zone, two samples of gneiss were collected, sillimanite, rich in garnet (08PC38 and 08PC39), and a migmatite to garnet (08PC55), with foliation according to NO-SE and subvertical with the axial plane of D2 folds.

The present work allowed the establishment of two successive metamorphic phases in the region: the first paragenesis (M1) corresponds to the main metamorphic phase of the rock, which is well preserved in the eastern unit, being characterized by S1 foliation with quartz + garnet + kyanite + staurolite ± rutile ± ilmenite. The secondary rebalancing indexes (M2), presenting lower pressure and temperature conditions, are limited to a specific domain, being evidenced by the D2 deformation (crenulation schistosity). In the western unit, the second metamorphic episode is dominant and contemporary in the refolding of the main foliation S, which is accompanied by the development of foliation in the axial plane S2.

**Keywords:** Metamorphic evolution, Maiombe Shield, Angola

## INTRODUÇÃO

A área de estudo localiza-se no contexto geodinâmico do Escudo de Maiombe, na unidade estrutural Complexo de Base. Esta compreende um sistema orogénico complexo de dobramentos e cavalgamentos, gerados no Neoproterozoico/Cambriano durante a Orogenia Pan-africana na bordadura Noroeste do Cratão do Congo. Este segmento pré-cambriano teve uma evolução metamórfica complexa, na qual importa ressaltar: (1) o contraste metamórfico entre os dois domínios do Complexo de Base (NW de Angola) e (2) a ocorrência de diferenças metamórficas desde o Cinturão do Congo Ocidental (Este) até à zona de contacto com as bacias sedimentares (Oeste).

Neste contexto, faz-se notar que são poucos os trabalhos que abordam esta temática, especialmente os que focam a determinação das condições absolutas de pressão e temperatura das unidades litológicas dos diferentes domínios, cuja evolução parece ter sido bastante complexa, e que apresenta o envolvimento de níveis crustais distintos. Neste sentido, o presente trabalho tem como principal objectivo contribuir para o conhecimento dos processos e mecanismos responsáveis pela evolução metamórfica da região, implicando, para tal, que as amostras recolhidas tenham sido submetidas a um estudo quantitativo e de evolução das condições P-T a partir das paragénese, utilizando os métodos clássicos de termobarometria e das pseudosecções com PERPLEX (Connolly, 1990).

## GEOLOGIA

O Noroeste de Angola, localmente denominado de “Escudo de Maiombe”, é limitado a Oeste pelas séries sedimentares de idade Cretácica a Paleogénica/Neogénica das bacias do Baixo Congo e do Kwanza e, a Este, pelo Supergrupo Karoo do Carbónico superior a Jurássico médio e pelos depósitos do Quaternário (Figura 1). Este grande conjunto é representado por duas unidades estruturais e metamórficas: 1) domínio externo sub-aútóctone ou fracamente alóctone e 2) domínio interno alóctone. O domínio externo sub-aútóctone ou fracamente alóctone é caracterizado por estruturas imbricadas e pela presença de séries sedimentares de idade Proterozoico superior a Paleogénico. O conjunto é representado por quartzito, grés feldspático, arcose, grauvaque e argilito de idade Paleogénica (Stanton et al., 1963); calcário e dolomite apresentando nódulos de sílex do Neoproterozoico; e xisto pelítico, xisto carbonatado, argilito e outras fácies pelíticas do Neoproterozoico (Araújo et al., 1992). O domínio interno alóctone é extenso e, essencialmente, formado por nappes do soco policíclico (Stanton et al., 1963; Schermerhorn & Stanton., 1963; Carvalho et al., 2000). Este domínio é caracterizado por micaxisto, ortognaisse, anfíbolito, migmatito e gnaiss policíclico cortado pelas intrusões de granito e granodiorito (Schermerhorn et al., 1963; Torquato et al., 1979; Carvalho, 1982). A zona de contacto entre os dois domínios é caracterizada por uma deformação muito forte, a qual é representada por um cavalgamento (Figura 1).

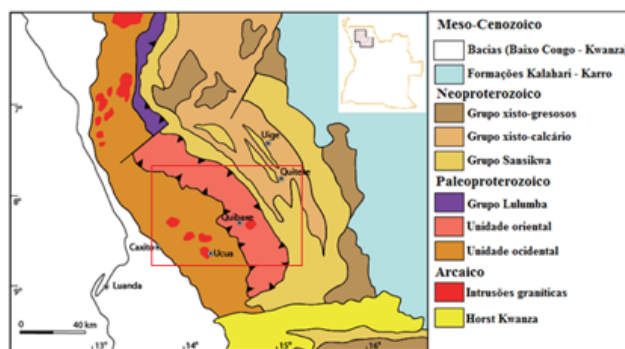


FIGURA 1. Mapa geológico de localização da área de estudo (rectângulo vermelho) (Extracto da carta geológica de Angola à escala 1/1 000 000; modificado de Araújo et al., 1992, Nsungani, 2012) Mapa com contorno laranja - Angola.

## E MÉTODOS

A execução do presente estudo implicou a realização de trabalho de campo, o qual culminou na recolha de quinze amostras. No entanto, tendo por base critérios mineralógicos, estruturais e as respectivas posições ao longo do perfil geológico, destas quinze amostras foram seleccionadas simplesmente seis amostras para a realização do presente trabalho (Figura 2).

As amostras foram analisadas por meio da microsonda electrónica CAMECA SX – 50 (Universidade de Montpellier II, França), utilizando como minerais de suporte a biotite e a granada, num feixe de electrões de 200 nm, n um tempo de contagem de 30 segundos e às condições de operação de 15kv e 10nA. Dos resultados representativos destas análises mineralógicas e fórmulas estruturais foi dada uma atenção especial

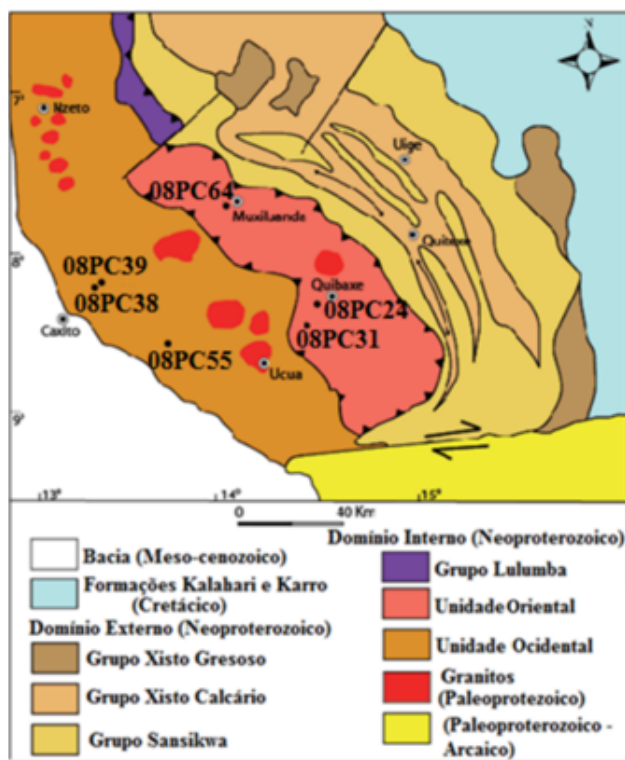


FIGURA 2. Mapa de localização das amostras (modificado de Araújo et al., 1992, Nsungani, 2012).

ao mineral de granada, ao seu zoneamento em gnaisses de distena e silimanite, e ao seu equilíbrio com as fases minerais em contacto. Será importante, desde já, referir que a petrografia neste trabalho foi, maioritariamente, utilizada para confirmar as paragénese.

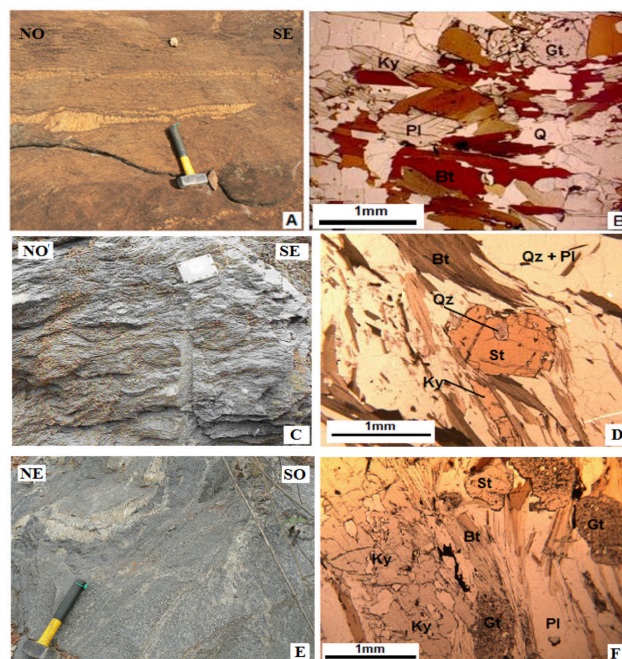
O estudo quantitativo e evolução das condições P-T foram efectuados utilizando os métodos tradicionais de termobarometria e pseudosecções com a suíte PERPLEX (Connolly, 1990) (Univerdade GéoAzur – Nice, França), com sistema [C-H] TiCaNKFMAS ( $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{TiO}_2 - \text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{FeO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ). Quanto à construção das trajectórias P-T-t foi efectuada a partir do estudo geocronológico com o método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , sobre os minerais de micas e anfífolas.

## PETROGRAFIA

A unidade oriental, a Este, em contacto com o domínio externo, permitiu a identificação das fácies tectono-metamórficas situadas numa posição suprajacente à unidade ocidental (Figura 2). O conjunto das amostras é representado, principalmente, por micaxisto, gnaiss com intercalações de quartzito, mármore, migmatito e anfíbolito, mas só as fácies de micaxisto, migmatito e gnaiss que foram objecto de estudo petrográfico.

1. Unidade Oriental: a) Paragnaisse 08PC64, amostra intensamente foliada com a paragénese quartzo (20%) + plagioclase (12%) + granada (5%) + distena (2%) + biotite (10%) ± moscovite (50%) + rútilo (1%) (Figura 3. A e B, Tabelas 1, 4 e 5). As biotites são fortemente pleocróicas, sendo algumas alteradas à clorite, a sua composição é intermédia entre anite e a flogopite. A ilmenite é o produto da desestabilização do rútilo que pertence à paragénese da rocha, a qual também se encontra nas inclusões dos cristais de granada e na matriz. A plagioclase apresenta-se sob a forma de placas de cor clara com maclas polisintéticas bem definidas. A distena apresenta-se bem preservada em equilíbrio com outras fases da paragénese (Tabela 1). A mica primária de cor branca, tal como já foi referido, representa 50% dos constituintes da rocha, encontrando-se sob a forma de lâminas espessas que se encontram reagrupadas em leitos alternados com quartzo. Observam-se, igualmente, cristais de micas de cor branca “neoformados” em relação à foliação. b) Micaxisto 08PC24 (Figura 3. C e D, Tabelas 2, 4, 5 e 6), amostra pelítica muito aluminiosa, ferrífera e magnésiana, a qual é constituída, essencialmente, por quartzo + plagioclase + granada + distena + estauroilite + biotite ± moscovite + rútilo + clorite e ilmenite. As granadas identificadas nesta amostra apresentam-se sob duas formas: a primeira de grande dimensão (1,0 mm a 1,5 cm) com várias inclusões (quartzo, biotite e ilmenite) de recristalização e a segunda do tipo coronítica sem inclusões. Estas granadas são do tipo almandina ( $X_{\text{alm}} = 95,5\%$ ;  $X_{\text{grs}} = 1,3\%$ ;  $X_{\text{pyr}} = 2,8\%$ ;  $X_{\text{sps}} = 0,4\%$ ) e as análises realizadas no centro e na bordadura deste mineral não apresentam grande variação, simplesmente um aumento do ferro e da relação Fe/Mg na bordadura desta granada (Figura 3. C e D). A biotite de cor verde tem uma composição equivalente à da amostra anterior. A plagioclase apresenta diferentes características: (1) em grandes fenocristais sob-automorfo coroados, com inclusões de quartzo e (2) em fenocristais de tamanho normal sub-automorfo, geralmente, alongados paralelamente à foliação da

rocha. Estes cristais são, geralmente, límpidos com desenvolvimento de maclas polisintéticas de albite, não apresentando a mesma composição química (Tabela 6). A distena tem a forma de grandes cristais com tendência sub-automorfa e encontra-se em equilíbrio com o conjunto da paragénese, uma vez que os contactos entre os diferentes minerais são bem definidos. A estauroilite é formada por grandes placas, as quais acompanham a foliação da biotite, apresenta-se, geralmente, coroadas e ricas em inclusões (quartzo e biotite). c) O Micaxisto 08PC31 (Figura 3. E e F, Tabelas 3, 4, 5 e 6) é equivalente ao da amostra 08PC24, apresentado paragénese à granada + biotite + quartzo + plagioclase + distena + estauroilite e rútilo (± ilmenite), sendo que a clorite e o epidoto se desenvolveram tardiamente. As granadas apresentam um tamanho grande (3 mm a 5 mm) e fracturadas com inclusões de quartzo e biotite, encontrando-se absorvidas pela xistosidade S1 e não apresenta microestruturas internas. As granadas são do tipo almandina, sendo relativamente ricas em pirope ( $95\% \leq \text{Alm} \leq 98\%$ ,  $2\% \leq \text{Pyr} \leq 5\%$ ). A biotite apresenta-se em lâminas alongadas automorfas, formando leitos que marcam a foliação da rocha, estando contida nas fases quartzo-feldspáticas. Observam-se algumas biotites sob a forma de relíquias no centro das granadas e das estauroilites ou, por vezes, associadas à distena, que indicam as relíquias do metamorfismo progressivo. As biotites formam, geralmente, lamelas em associação com o epidoto e apresentam muitas inclusões de zircão, esfena e apatite, mas localmente a biotite é parcialmente ou inteiramente cloritizada. A plagioclase é do tipo albite-oligoclase (An-30%, Tabela 6), fracturada e alterada por vezes em sericite, apresentando-se disposta segundo a foliação S1. A distena e a estauroilite apresentam-se, geralmente, ricas em inclusões (quartzo e biotite), indiciando um estado de progressão do metamorfismo. Alguns cristais de distenas porfiroblásticas cortam, igualmente, a foliação ( $S_{1-2}$ ), evidenciando a cristalização ao longo das duas fases de deformação.



**FIGURA 3.** Amostra 08PC64 – A e B; amostra 08PC24 – C e D; amostra 08PC31 – E e F. Q – Quartzo, Gt – Granada, Pl – Plagioclase, Bt – Biotite, St – Estauroilite (afioramento - fotografias à esquerda e lâmina delgada analisada à microsonda - fotografias à direita).

**Tabla 1** - Resultados P-T da amostra 08PC64: GBT - termómetro granada-biotite; GPBQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-quartzo; GPAQ - barómetro granada-plagioclase-silicato de alumínio-quartzo. As pressões no centro e na bordadura são calculadas para as temperaturas de 600° e 500°C.

Método de calibração	Termómetro GBT	Mineral	T(°C)
Ferry & Spear, 1978		Gr (centro)	600
		Gr (bordadura)	450
Hodges & Spear, 1982		Gr (centro)	620
		Gr (bordadura)	470
Ferry, Spear & Berman, 1990		Gr (centro)	620
		Gr (bordadura)	475
Patinô-Douce et al., 1993		Gr (centro)	620
		Gr (bordadura)	480
Gessman et al., 1977		Gr (bordadura)	600
		Gr (bordadura)	450
Holdaway et al., 1997		Gr (centro)	800
<b>Barómetro GPBQ</b>			<b>P(kbar) a 500°C</b>
Hoisch, 1990 - Mg		Gr (centro)	7,0
		Gr (bordadura)	2,5
Hoisch, 1990 - Fe		Gr (centro)	7,0
		Gr (bordadura)	2,5
<b>Barómetro GPAQ</b>			<b>P(kbar) a 600°C</b>
Newton & Haselton, 1982 - Ky		Gr (centro)	4,0
		Gr (bordadura)	5,0
Hodges & Spear, 1992 - Ky		Gr (centro)	6,0
		Gr (bordadura)	3,0
Ganguly & Saxena, 1984 - Ky		Gr (centro)	6,0
		Gr (bordadura)	3,0
Hodges & Crowley, 1985 - Ky		Gr (centro)	6,5
		Gr (bordadura)	3,0

**Tabla 2** - Resultados P-T da amostra 08PC24: GBT - termómetro granada-biotite; GPBQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-quartzo; GPAQ - barómetro granada-plagioclase-silicato de alumínio-quartzo; GMPQ - barómetro granada-moscovite-plagioclase-quartzo; GPBMQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-moscovite-quartzo. As pressões no centro e na bordadura são calculadas para as temperaturas de 625 e 600°C.

Método de calibração	Termómetro GBT	Mineral	T(°C)
Ferry & Spear, 1978		Gr (centro)	600
		Gr (bordadura)	550
Hodges & Spear, 1982		Gr (centro)	650
		Gr (bordadura)	570
Ferry, Spear & Berman, 1990		Gr (centro)	650
		Gr (bordadura)	600
Patinô-Douce et al., 1993		Gr (centro)	650
		Gr (bordadura)	600
Gessman et al., 1977		Gr (bordadura)	650
		Gr (bordadura)	580
<b>Barómetro GPBQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Hoisch, 1990 - Mg		Gr (centro)	12,0
		Gr (bordadura)	8,0
Hoisch, 1990 - Fe		Gr (centro)	12,0
		Gr (bordadura)	8,0
<b>Barómetro GPAQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Newton & Haselton, 1982 - Ky		Gr (centro)	12,0
		Gr (bordadura)	8,0
Hodges & Spear, 1992 - Ky		Gr (centro)	11,0
		Gr (bordadura)	7,0
Ganguly & saxena, 1984 - Ky		Gr (centro)	11,0
		Gr (bordadura)	7,0
Hodges & Crowley, 1985 - Ky		Gr (centro)	11,0
		Gr (bordadura)	7,0
<b>Barómetro GPMQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Hoges & Crowley, 1985		Gr (centro)	10,0
		Gr (bordadura)	6,5
Hoisch, 1990		Gr (centro)	13,0
		Gr (bordadura)	8,5
<b>Barómetro GPBMQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Ghent & Stout, 1981 - Fe		Gr (centro)	9
		Gr (bordadura)	6,5
Hodges & Crowley, 1985		Gr (centro)	11
		Gr (bordadura)	7,5
Powell & Holland, 1998		Gr (centro)	11
		Gr (bordadura)	8

**Tabla 3** - Resultados P-T da amostra 08PC31: GBT - termómetro granada-biotite; GPBQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-quartzo; GPAQ - barómetro granada-plagioclase-silicato de alumínio-quartzo; GMPQ - barómetro granada-moscovite-plagioclase-quartzo; GPBMQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-moscovite-quartzo. As pressões no centro e na bordadura são calculadas para as temperaturas de 620 e 580°C.

Método de calibração	Termómetro GBT	Mineral	T(°C)
Ferry & Spear, 1978		Gr (centro)	580
		Gr (bordadura)	550
Hodges & Spear, 1982		Gr (centro)	610
		Gr (bordadura)	580
Ferry, Spear & Berman, 1990		Gr (centro)	630
		Gr (bordadura)	580
Patinô-Douce et al., 1993		Gr (centro)	630
		Gr (bordadura)	610
Gessman et al., 1977		Gr (bordadura)	600
		Gr (bordadura)	550
<b>Barómetro GPBQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Hoisch, 1990 - Mg		Gr (centro)	10,0
		Gr (bordadura)	8,0
Hoisch, 1990 - Fe		Gr (centro)	10,0
		Gr (bordadura)	8,0
<b>Barómetro GPAQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Newton & Haselton, 1982 - Ky		Gr (centro)	10,0
		Gr (bordadura)	8,0
Hodges & Spear, 1992 - Ky		Gr (centro)	8,0
		Gr (bordadura)	7,0
Ganguly & saxena, 1984 - Ky		Gr (centro)	8,0
		Gr (bordadura)	7,0
Hodges & Crowley, 1985 - Ky		Gr (centro)	8,5
		Gr (bordadura)	7,5
<b>Barómetro GPMQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Hoges & Crowley, 1985 - Fe		Gr (centro)	7,5
		Gr (bordadura)	6,5
Hoges & Crowley, 1985 - Mg		Gr (centro)	7,8
		Gr (centro)	7,8
<b>Barómetro GPBMQ</b>			<b>P(kbar)</b>
Ghent & Stout, 1981 - Fe		Gr (centro)	6,0
		Gr (centro)	6,5
Hodges & Crowley, 1985 - Fe		Gr (centro)	7,0
		Gr (centro)	8,0
Hoisch, 1990 - Fe		Gr (centro)	9,0
		Gr (centro)	9,0

**Tabla 4** - Composição química das granadas (amostras 08PC64, 08PC24, 08PC31).

Amostra	08PC64	08PC24	08PC31
<b>Óxidos % das granadas</b>			
SiO <sub>2</sub>	37,56	36,98	37,87
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,01	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,46	21,40	21,41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,14	1,88	1,88
FeO	35,57	31,49	31,87
MnO	0,74	5,26	4,54
MgO	3,83	3,96	4,32
CaO	2,11	1,65	1,72
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,03	0,02
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,01
<b>Total</b>	<b>102,43</b>	<b>102,66</b>	<b>103,62</b>
<b>Catiões % por 12 oxigénios</b>			
Si	2,952	2,911	2,939
Ti	0,000	0,001	0,001
Al	1,988	1,986	1,961
Cr	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>3</sup>	0,067	0,111	0,110
Fe <sup>2</sup>	2,338	2,073	2,070
Mn	0,049	0,351	0,298
Mg	0,448	0,464	0,500
Ca	0,178	0,139	0,143
Na	0,001	0,004	0,002
K	0,000	0,000	0,001
<b>Total</b>	<b>8,021</b>	<b>8,042</b>	<b>8,026</b>
X <sub>alm</sub>	95,800	97,500	97,200
X <sub>pyr</sub>	3,300	0,100	0,600
X <sub>gro</sub>	0,900	2,900	1,900
X <sub>spss</sub>	0,000	0,500	0,300
X <sub>Fe</sub>	0,800	0,810	0,810

**Tabla 5** - Composição química das biotites (amostras 08PC64, 08PC24, 08PC31).

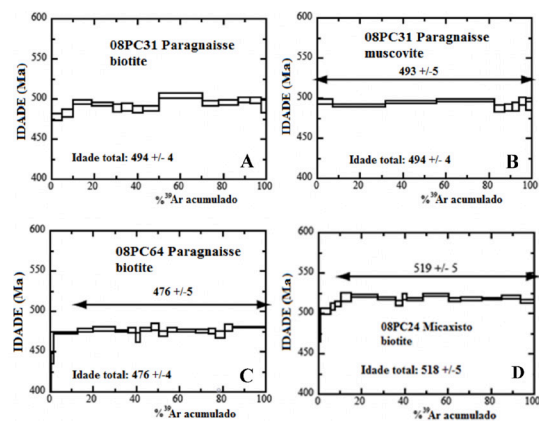
Amostra	08PC64	08PC24	08PC31
<b>Óxidos% das biotites</b>			
SiO <sub>2</sub>	35,90	36,82	35,76
TiO <sub>2</sub>	2,86	1,79	1,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,55	18,78	19,40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,01	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00
FeO	16,34	16,54	18,04
MnO	0,11	0,14	0,06
MgO	10,41	11,89	10,64
CaO	0,01	0,00	0,05
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,32	0,13
K <sub>2</sub> O	9,84	9,62	8,77
<b>Total</b>	<b>95,10</b>	<b>95,92</b>	<b>94,33</b>
<b>Catiões por 11 oxigénios</b>			
Si	2,699	2,742	2,768
Ti	0,162	0,101	0,085
Al	1,733	1,650	1,729
Cr	0,001	0,000	0,001
Fe <sup>3</sup>	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2</sup>	1,027	1,030	1,084
Mn	0,007	0,009	0,004
Mg	1,167	1,320	1,160
Ca	0,001	0,000	0,007
Na	0,008	0,047	0,020
K	0,944	0,914	0,868
<b>Total</b>	<b>7,749</b>	<b>7,813</b>	<b>7,727</b>
X <sub>phl</sub>	36,900	43,500	37,600
X <sub>ann</sub>	21,300	19,000	26,800
X <sub>east</sub>	41,800	37,500	35,600
X <sub>Fe</sub>	0,470	0,440	0,480

**Tabla 6** - Composição química das plagioclases (amostras 08PC24, 08PC31).

Amostra	08PC24	08PC31
<b>Óxidos% das plagioclases</b>		
SiO <sub>2</sub>	65,23	60,59
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,61	24,23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,01
FeO	0,00	0,00
MnO	0,01	0,00
MgO	0,00	0,00
CaO	2,54	6,49
Na <sub>2</sub> O	10,33	7,90
K <sub>2</sub> O	0,07	0,07
<b>Total</b>	<b>99,79</b>	<b>99,29</b>
<b>Catiões por 8 oxigénios</b>		
Si	2,842	2,712
Ti	0,000	0,000
Al	1,110	1,279
Cr	0,000	0,000
Fe <sup>3</sup>	0,062	0,000
Fe <sup>2</sup>	0,001	0,000
Mn	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000
Ca	0,118	0,311
Na	0,873	0,686
K	0,004	0,004
<b>Total</b>	<b>5,006</b>	<b>4,993</b>
%Or	0,400	0,400
%Alb	87,200	68,500
%An	12,400	31,100

Os resultados das datações (40Ar/39Ar) obtidos nas amostras da unidade oriental (Figura 4 e Tabela 7) permitem distinguir dois grupos de idades independentemente da temperatura do fecho isotópico dos minerais datados: a) um primeiro grupo de idades entre 527 Ma e 511 Ma, obtidos a Este da zona oriental

(amostra 08PC24, Figura 4. D), b) um segundo grupo de idade entre 493 Ma e 476 Ma, obtidos nas amostras situadas mais na zona interna (amostras 08PC31 e 08PC64, Figura 4. A, B e C), as quais registam um segundo evento térmico, maior no início do retorno a zero do cronómetro 40Ar/39Ar nas micas.



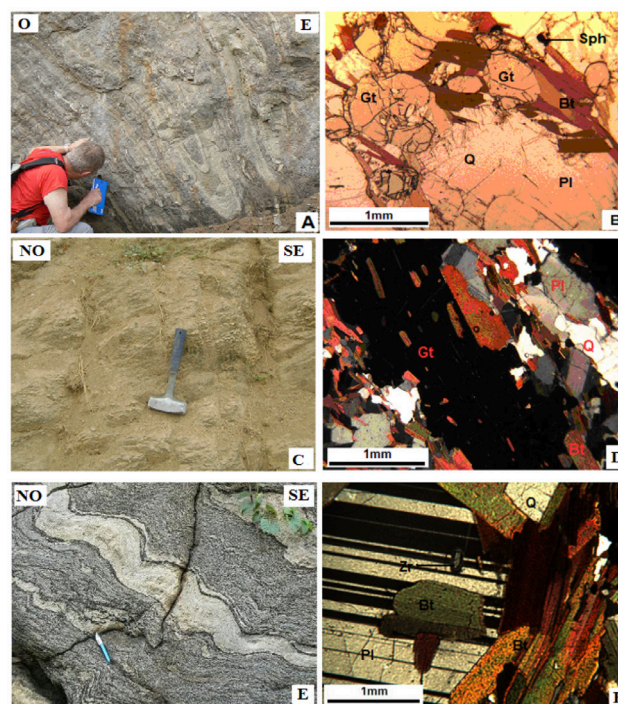
**FIGURA 4.** Espectros das idades obtidas nas amostras 08PC31 (A e B); 08PC64 (C) e 08PC24 (D). As idades plateau são calculadas a 1σ.

**Tabla 7** - Resultados dos estudos geocronológicos 40Ar/39Ar das amostras 08PC64, 08PC24, 08PC31.

Pontos de medição	Amostra 08PC64 (Biotite)		Amostra 08PC24 (Biotite)		Amostra 08PC31 (Moscovite)		Amostra 08PC31 (Biotite)	
	Idade (Ma)	±1σ (Ma)	Idade (Ma)	±1σ (Ma)	Idade (Ma)	±1σ (Ma)	Idade (Ma)	±1σ (Ma)
1	262,5	21,6	349,3	5,1	496,2	3,2	394,1	99,0
2	441,3	6,6	472,9	8,3	490,9	1,6	478,0	4,4
3	473,3	1,2	502,8	3,8	495,3	1,4	482,6	4,7
4	476,5	1,8	508,3	4,0	497,7	1,6	496,1	2,9
5	478,3	2,4	511,9	3,0	487,3	4,0	493,9	2,4
6	475,5	1,4	520,2	5,3	488,3	4,4	489,0	4,8
7	476,7	2,8	521,9	1,7	489,1	5,4	490,0	4,5
8	467,9	5,7	518,5	1,6	496,3	5,3	487,5	4,2
9	477,8	2,5	512,7	2,9	490,2	5,3	488,3	3,2
10	481,0	3,9	520,6	3,9	-	-	504,4	2,9
11	472,4	3,1	517,4	1,7	-	-	494,4	3,0
12	477,3	2,7	522,6	1,8	-	-	496,0	3,3
13	476,0	1,5	517,1	2,0	-	-	498,7	3,3
14	475,8	1,9	517,9	2,2	-	-	498,5	3,7
15	475,5	3,0	518,0	1,3	-	-	491,0	7,5
16	471,3	4,5	520,3	2,3	-	-	-	-
17	480,2	4,4	515,2	2,0	-	-	-	-
18	480,4	0,9	-	-	-	-	-	-
Idade Total	476±4	M	518±5		494±4		494±4	

2. Unidade Ocidental é constituída por rochas que testemunham as condições de metamorfismo de transição de fácies anfíbolítica – granulítica, isto é, compreende rochas orto e paraderivadas e metagranodioritos, sendo representadas por gnaiss, anfíbolito e migmatito com a paragénese quartzo + granada + plagioclase + feldspato potássica + biotite + anfíbola + ortopiroxena. Localmente, nota-se a presença de silimanite em forma de relíquias nas granadas. À escala desta unidade observa-se um aumento do grau de metamorfismo de Este (zona de Pedra Boa) à Oeste (Caxito): a) Gnaiss a granada-silimanite 08PC38, esta amostra apresenta-se muito deformada, na qual observa-se claramente a sobreposição de duas fases principais de deformação. Esta amostra é constituída por 35% de plagioclase, 25% de quartzo e 20% de granada de tamanho grande (1 mm), 15% de biotite e 5% de inclusões de rútilo, zircão, monazite, clorite, moscovite e esfena tardia e silimanite dentro das granadas (Figura 5. A e B, Tabelas 8, 11, 12 e 13). A plagioclase (An 33%-36%) apresenta uma forma sub-automorfa, com inclusões de quartzo. A biotite desenvolve-se na foliação à volta da granada ou, por vezes, dos porfiroblastos de quartzo e de plagioclase, com uma composição intermédia entre a anite e a flogopite (Tabela 12). A granada aparece em fenocristais xeromorfos, contendo inclusões orientadas de quartzo, rutilo-ilmenite e raramente de silimanite. A análise química mostra que não existe uma variação notável entre o centro e a bordadura dos cristais ( $94\% \leq \text{Alm} \leq 98\%$ ,  $2\% \leq \text{Pyr} \leq 5\%$ ), traduzindo um equilíbrio perfeito. b) Gnaiss a granada silimanite 08PC39, a amostra apresenta a seguinte associação mineralógica: granada + biotite + quartzo + plagioclase + silimanite blindada nas granadas, clorite tardio ± esfena. A granada é muito límpida, de cor rosa e do tipo almandina (93%-95%) (Tabelas 9, 11, 12 e 13), apresenta-se muito heterogénea (devido à presença de diferentes tipos de inclusões) com uma variação notável de teor em almandina e piropo (Pyr centro - 7% versus Pyr bordadura - 5,5%). Esta evolução química da relação Fe/Mg do centro para a bordadura traduz um aquecimento e/ou um rebaixamento da pressão ao longo da trajetória retrograda. A silimanite foi encontrada em forma de agulhas como inclusões nas granadas e ausente na matriz, evidenciando o carácter polimetamórfico destas rochas, as quais são caracterizadas por um estado precoce de HP-MP e HT, seguida de um re-equilíbrio a temperatura elevada e pressão mais baixa (Tabela 9). Quanto à plagioclase foram analisadas duas secções de albite, as quais não apresentam variações na composição química. Enquanto as biotites são de cor castanha-vermelha pleocrónica homogénea e, geralmente, de tamanho pequeno com orientação segundo a foliação (Figura 5. C e D). c) Migmatito 08PC55, a amostra é constituída por grão fino a médio, apresentando características típicas de migmatito, nomeadamente alternâncias de bandas claras (leucossoma) e escuras (melanossoma) ricas em biotite, e com a seguinte composição mineralógica: quartzo + plagioclase + biotite + granada + esfena + zircão + clorite e a sericite, a qual aparece tardiamente na paragénese. Dentro do melanossoma, a granada é a que apresenta o tamanho maior, na ordem dos 1,5 cm, e contém cristais de plagioclase em forma de inclusões (Figura 5E e F). As análises químicas (Tabelas 10, 11, 12 e 13) permitem sugerir que as granadas são do tipo almandina, sendo também ricas em piropo e grossulária (Alm 90%, Pyr 6%, Gro 4%). A plagioclase é do tipo albite-oligoclase e aparece sob a forma de grandes placas automorfas com uma textura porfírica e, geralmente, alterada em sericite. A biotite é, essencialmente, intersticial e desenvolve-se na foliação à volta do quartzo e da plagioclase (Figura 5E e F).

clase em forma de inclusões (Figura 5E e F). As análises químicas (Tabelas 10, 11, 12 e 13) permitem sugerir que as granadas são do tipo almandina, sendo também ricas em piropo e grossulária (Alm 90%, Pyr 6%, Gro 4%). A plagioclase é do tipo albite-oligoclase e aparece sob a forma de grandes placas automorfas com uma textura porfírica e, geralmente, alterada em sericite. A biotite é, essencialmente, intersticial e desenvolve-se na foliação à volta do quartzo e da plagioclase (Figura 5E e F).



**FIGURA 5.** Amostra 08PC38 – A e B; amostra 08PC39 – C e D; amostra 08PC55 – E e F. Q – Quartzo, Gt – Granada, Pl – Plagioclase, Bt – Biotite, Sph – Esfena (afloramento - fotografias à esquerda e lâmina delgada analisada à microsonda - fotografias à direita).

**Tabela 8** - Resultados P-T de amostra 08PC38: GBT - termómetro granada-biotite; GPBQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-quartzo; GPAQ – barómetro granada-plagioclase-silicato de alumínio-quartzo; GMPQ - barómetro granada- moscovite-plagioclase-quartzo. As pressões são calculadas a uma temperatura de 750°C.

Método de calibração	Mineral	T(°C)
<b>Termómetro GBT</b>		
Ferry & Spear, 1978	Gr (centro)	750
Hodges & Spear, 1982	Gr (centro)	770
Ferry, Spear & Berman, 1990	Gr (centro)	750
Patinô-Douce et al., 1993	Gr (centro)	720
Gessman et al., 1977	Gr (centro)	770
Holdaway et al., 1997	Gr (centro)	780
<b>Barómetro GPBQ</b>		
Hoisch, 1990 - Mg	Gr (centro)	6 a 10
Hoisch, 1990 - Fe	Gr (centro)	6 a 10
<b>Barómetro GPAQ</b>		
Newton & Haselton, 1982 - Sill	Gr (centro)	6 a 10
Hodges & Spear, 1992 - Sill	Gr (centro)	4 a 8
Ganguly & Saxena, 1984 - Sill	Gr (centro)	5 a 7
Hodges & Crowley, 1985 - Sill	Gr (centro)	6 a 10

**Tabela 9** - Resultados P-T de amostra 08PC39: GBT - termómetro granada-biotite; GPBQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-quartz; GPAQ - barómetro granada-plagioclase-silicato de alumínio-quartz. As pressões no centro e na bordadura são calculadas para as temperaturas de 750 e 580°C.

Método de calibração	Mineral	T(°C)
<b>Termómetro GBT</b>		
Ferry & Spear, 1978	Gr (centro)	750
	Gr (bordadura)	650
Hodges & Spear, 1982	Gr (centro)	750
	Gr (bordadura)	670
Ferry, Spear & Behann, 1990	Gr (centro)	750
	Gr (bordadura)	650
Patinô-Douce et al., 1993	Gr (centro)	680
	Gr (bordadura)	610
Gessman et al., 1977	Gr (bordadura)	750
	Gr (bordadura)	650
<b>Barómetro GPBQ</b>		
		<b>P(kbar)</b>
Hoisch, 1990 - Mg	Gr (centro)	9,0
	Gr (bordadura)	7,0
Hoisch, 1990 - Fe	Gr (centro)	9,0
	Gr (bordadura)	7,0
<b>Barómetro GPAQ</b>		
		<b>P(kbar)</b>
Newton & Haselton, 1982 - Sill	Gr (centro)	8,5
	Gr (bordadura)	6,0
Hodges & Spear, 1992 - Sill	Gr (centro)	7,0
	Gr (bordadura)	5,3
Ganguly & Saxena, 1984 - Sill	Gr (centro)	8,0
	Gr (bordadura)	5,7
Hodges & Crowely, 1985 - Sill	Gr (centro)	8,3
	Gr (bordadura)	6,2

**Tabela 10** - Resultados P-T de amostra 08PC55: GBT - termómetro granada-biotite; GPBQ - barómetro granada-plagioclase-biotite-quartz. As pressões no centro e na bordadura são calculadas para as temperaturas de 750 e 580°C.

Método de calibração	Mineral	T(°C)
<b>Termómetro GBT</b>		
Ferry & Spear, 1978	Gr (centro)	560
	Gr (bordadura)	650
Hodges & Spear, 1982	Gr (centro)	610
	Gr (bordadura)	580
Ferry, Spear & Behann, 1990	Gr (centro)	620
	Gr (bordadura)	700
Patinô-Douce et al., 1993	Gr (centro)	620
	Gr (bordadura)	700
Gessman et al., 1977	Gr (centro)	580
	Gr (bordadura)	650
<b>Barómetro GPBQ</b>		
		<b>P(kbar)</b>
Hoisch, 1990 - Mg	Gr (centro)	11
	Gr (bordadura)	11
Hoisch, 1990 - Fe	Gr (centro)	10
	Gr (bordadura)	11

Os resultados das datações (<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar) obtidos nas amostras da unidade ocidental apresentam-se na figura 6 e tabela 14. No gnaisse a silimanite (amostra 08PC38) foi analisada a biotite em 17 pontos, cujo espectro mostra uma concordância no conjunto do plateau de 480 ± 6 Ma por 92% de <sup>39</sup>Ar libertado e a idade total é de 480 ± 4 Ma. Enquanto a biotite da melanossoma (amostra 08PC55), a qual foram analisadas em 16 pontos, apresentou um espectro de idade no plateau de 493 ± 6 Ma, calculado sobre 9 pontos representando 74% de <sup>39</sup>Ar libertado, sendo a idade total de 497 ± 5 Ma.

**Tabela 11** - Composição química das granadas (amostras 08PC38, 08PC39, 08PC55).

Amostra	08PC38	08PC39	08PC55
<b>Oxidos % das granadas</b>			
SiO <sub>2</sub>	38,24	38,59	37,91
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,02	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,78	21,91	21,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,01	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,36	0,89	0,67
FeO	30,85	30,75	27,10
MnO	0,81	0,72	3,43
MgO	6,53	6,83	3,38
CaO	1,83	1,94	6,57
Na <sub>2</sub> O	0,02	0,00	0,02
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>101,10</b>	<b>101,59</b>	<b>100,63</b>
<b>Catiões % por 12 oxigénios</b>			
Si	2,964	2,977	2,969
Ti	0,001	0,001	0,001
Al	1,990	1,993	2,022
Cr	0,002	0,001	0,001
Fe <sup>3</sup>	0,080	0,051	0,040
Fe <sup>2</sup>	2,000	1,984	1,785
Mn	0,053	0,047	0,229
Mg	0,755	0,786	0,396
Ca	0,152	0,161	0,555
Na	0,002	0,000	0,002
K	0,000	0,000	0,000
<b>Total</b>	<b>8,000</b>	<b>8,000</b>	<b>8,000</b>
X <sub>alm</sub>	92,000	91,300	92,300
X <sub>pyr</sub>	0,100	0,200	3,000
X <sub>gro</sub>	7,900	8,500	4,900
X <sub>psp</sub>	0,000	0,000	0,200
X <sub>fe</sub>	0,730	0,720	0,810

**Tabela 12** - Composição química das biotites (amostras 08PC38, 08PC39, 08PC55).

Amostra	08PC38	08PC39	08PC55
<b>Oxidos % das biotites</b>			
SiO <sub>2</sub>	35,90	35,90	36,82
TiO <sub>2</sub>	3,64	3,64	1,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,77	17,77	18,78
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,05	0,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00
FeO	15,53	15,53	16,54
MnO	0,02	0,02	0,14
MgO	12,10	12,10	11,89
CaO	0,01	0,01	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,08	0,08	0,32
K <sub>2</sub> O	9,80	9,80	9,62
<b>Total</b>	<b>94,92</b>	<b>94,92</b>	<b>95,92</b>
<b>Catiões por 11 oxigénios</b>			
Si	2,702	2,702	2,742
Ti	0,206	0,206	0,101
Al	1,577	1,577	1,650
Cr	0,003	0,003	0,000
Fe <sup>3</sup>	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2</sup>	0,977	0,977	1,030
Mn	0,001	0,001	0,009
Mg	1,357	1,357	1,320
Ca	0,001	0,001	0,000
Na	0,011	0,011	0,047
K	0,941	0,941	0,914
<b>Total</b>	<b>7,778</b>	<b>7,778</b>	<b>7,813</b>
X <sub>phl</sub>	42,300	42,300	0,073
X <sub>ann</sub>	16,000	16,000	0,032
X <sub>east</sub>	41,700	41,700	0,063
X <sub>fe</sub>	0,350	0,350	

**Tabela 13** - Composição química das plagioclases e moscovites (amostras 08PC38, 08PC39, 08PC55).

Amostra	08PC39	08PC55	Amostra	08PC38	08PC39
<b>Oxidos % das plagioclases</b>			<b>Oxidos % das moscovites</b>		
SiO <sub>2</sub>	60,92	59,52	SiO <sub>2</sub>	46,50	45,16
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,01	TiO <sub>2</sub>	0,73	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,75	25,10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34,02	35,99
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00
FeO	0,00	0,00	FeO	1,16	1,06
MnO	0,00	0,02	MnO	0,01	0,01
MgO	0,00	0,00	MgO	1,08	0,54
CaO	5,14	6,66	CaO	0,02	0,01
Na <sub>2</sub> O	8,54	7,80	Na <sub>2</sub> O	1,15	1,31
K <sub>2</sub> O	0,17	0,22	K <sub>2</sub> O	9,57	9,58
<b>Total</b>	<b>98,60</b>	<b>99,43</b>	<b>Total</b>	<b>94,25</b>	<b>94,10</b>
<b>Catiões por 8 oxigénios</b>					
Si	2,741	2,669	Si	3,117	3,035
Ti	0,000	0,000	Ti	0,037	0,021
Al	1,259	1,327	Al	2,688	2,851
Cr	0,000	0,000	Cr	0,000	0,001
Fe <sup>3</sup>	0,002	0,004	Fe <sup>3</sup>	0,000	0,000
Fe <sup>2</sup>	0,000	0,000	Fe <sup>2</sup>	0,065	0,060
Mn	0,000	0,001	Mn	0,001	0,000
Mg	0,000	0,000	Mg	0,108	0,054
Ca	0,248	0,320	Ca	0,001	0,001
Na	0,745	0,678	Na	0,150	0,171
K	0,010	0,013	K	0,818	0,821
<b>Total</b>	<b>5,006</b>	<b>5,011</b>	<b>Total</b>	<b>6,986</b>	<b>7,015</b>
			X <sub>mu</sub>	81,800	52,800
%Or	0,410	0,520	X <sub>cel</sub>	2,600	1,200
%Alb	0,750	0,680	X <sub>feel</sub>	1,600	1,200
%An	33,000	36,000	X <sub>pa</sub>	14,000	44,800
			X <sub>fe</sub>	0,400	0,530

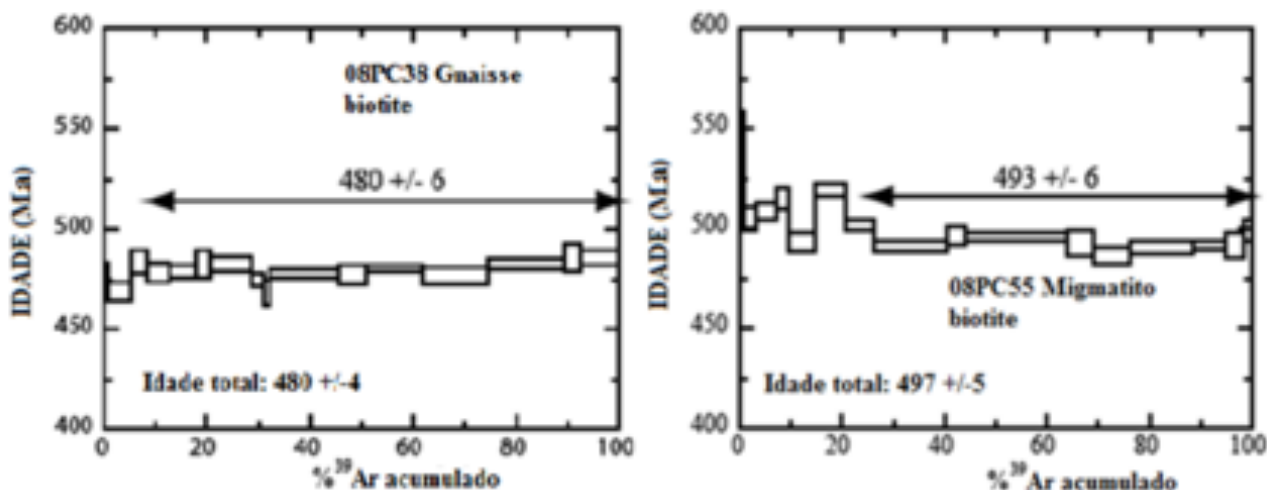


FIGURA 6. Espectros das idades obtidas nas amostras 08PC38 e 08PC55. As idades plateau são calculadas a  $1\sigma$ .

Tabela 14 - Resultados dos estudos geocronológicos  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  das amostras 08PC64, 08PC24, 08PC31.

Pontos de medição	Amostra 08PC38 (Biotite)		Amostra 08PC55 (Biotite)	
	Idade (Ma)	$\pm 1\sigma$ (Ma)	Idade (Ma)	$\pm 1\sigma$ (Ma)
1	369,8	18,8	547,5	11,0
2	473,7	8,9	505,2	5,9
3	469,0	4,6	508,5	4,6
4	483,1	5,9	514,8	5,7
5	478,0	4,7	493,1	4,4
6	478,8	3,5	519,2	3,0
7	482,5	7,3	501,9	2,6
8	482,6	3,4	490,9	2,8
9	474,2	3,1	496,5	5,0
10	468,2	6,2	495,4	2,0
11	477,9	2,2	492,5	6,0
12	476,8	4,7	486,2	4,7
13	480,3	1,5	490,1	3,3
14	476,3	4,2	491,5	2,3
15	482,6	2,9	491,3	6,5
16	485,8	6,7	499,1	5,7
17	486,0	3,8	-	-
Idade Total	480 $\pm$ 4Ma		497 $\pm$ 5Ma	

O estudo petrográfico mostra que a unidade oriental apresenta duas fases metamórficas sucessivas: a primeira (M1) é materializada pelos porfiroclastos de granadas, contendo inclusões e uma foliação oblíqua. As inclusões observadas são de biotite e quartzo, que são caracterizadas pela foliação S1 ao quartzo + moscovite + granada + distena + estaurolite  $\pm$  rutilo  $\pm$  ilmenite. Esta paragénesis à distena, observada na unidade oriental, é o testemunho de um metamorfismo de tipo barroviense clássico, o qual acompanha a fase da deformação maior D1. O segundo episódio é marcado, provavelmente, pelo prolongamento do cavalgamento, no qual a clorite, biotite, silimanite (inclusões na granada) e o quartzo re-cristalizam-se (M2). Este episódio M2 é, igualmente, marcado pelo dobramento da foliação principal S1. Localmente, nos micaxistos, o dobramento é acompanhado pelo desenvolvimento duma foliação de plano axial S2, identificado nos cavalgamentos das dobras, e a orientação das microestruturas é compatível com a deformação D2.

A série metamórfica da unidade ocidental indica dois episódios tectono-metamórficos sucessivos (M1 e M2), com uma diferença notável das características metamórficas em relação à unidade oriental. O episódio M1 corresponde à foliação principal S1, sendo caracterizada pela paragénesis à granada + biotite + quartzo + plagioclase + silimanite + esfena. O segundo episódio M2 desenvolveu-se nas condições de temperatura mais baixas, associado ao dobramento observado sobre as séries da zona Úcuá-Caxito. Este episódio é marcado pela cristalização da biotite (coloração esverdeada) + clorite + quartzo, provavelmente contemporâneo das microdobras tardias observadas nas lâminas delgadas, que afectam a paragénesis M1. Este re-equilíbrio corresponde a um estado tardio de evolução metamórfica associada à paragénesis principal M1.

#### ESTIMATIVA DE TEMPERATURAS E PRESSÕES

As estimativas de P-T (termobarometria) foram efectuadas a partir da paragénesis de minerais em perfeito equilíbrio. As condições de equilíbrio são realizadas às condições do pico de temperatura ou às velocidades de difusão que são óptimas. (Berman, 1988; Gottschalk, 1997; Holland & Powell, 1998; Holland & Powell, 2003), permitindo calcular o equilíbrio das fases mais precisas e para os sistemas mais complexos. Paralelamente, foram utilizados outros métodos de equações de termodinâmica para as estimativas termobarométricas (THERIAK: Capitani & Brown, 1987; THERMOCALC: Powell & Holland, 1988; PERPLEX: Connolly, 1990; TWEEQ: Berman, 1991).

1) Unidade oriental: a) Na amostra Paragneiss 08PC64, o estado precoce foi preservado no centro das granadas e as temperaturas avaliadas com diferentes termómetros biotite-granadas situam-se no intervalo de 600°C-620°C (Tabela 1), e as pressões associadas ao estado precoce apresentam os valores estimados a 600°C, no centro da granada, entre 6 e 7 kbar. A trajectória retrógrada foi estimada no equilíbrio biotite-bordadura da granada com uma temperatura de 450°C-480°C, às pressões de 2,5 kbar-3 kbar. Os resultados



mostram, em particular, que as estimativas P-T calculadas são compatíveis com a ausência da silimanite e da andaluzite nos gnaisses estudados e de fenómenos de fusão parcial (Figura 7. A e B). A trajectória retrógrada verificou-se no limite dos campos distena-silimanite e, posteriormente, distena-andaluzite, provavelmente de forma mais rápida, o que permitiu preservar o equilíbrio da paragénese mineralógica. Uma pseudosecção P-T foi calculada no sistema [C-H] TiCaNKFMAS, sendo a paragénese gt-ky-bio-pl-ms-q-ru (abreviações segundo Connolly, 1990; Berman, 1991) observada na amostra 08PC64, que corresponde ao campo entre 620°C e 780°C e as pressões variam de 7 kbar a 12 kbar. A determinação da dimensão do campo de estabilidade da paragénese foi efectuada, sendo as isopletas correspondentes às composições das biotites e do centro da granada, correspondendo aos valores analisados à microsonda (XFe de granada = 0,8) dos minerais numa pressão de 8 kbar e a uma temperatura de 630°C (Figura 8). b) Na amostra Micaxisto 08PC24, a determinação P-T mostra que o estado precoce foi preservado no centro das granadas e as temperaturas avaliadas com diferentes termómetros biotite-granada situam-se entre 600°C-650°C. As pressões associadas a este estado precoce foram estimadas aos 625°C, estando o centro da granada situado entre 9 kbar e 12 kbar. A trajectória retrógrada foi avaliada no equilíbrio biotite-bordadura da granada numa temperatura de 550°C-600°C, nas pressões de 6,5 kbar a 8 kbar. Os resultados sintéticos da figura 7. C e D mostram, em particular, que as estimativas P-T confirmam a boa preservação das paragénese de alta pressão, onde a exumação dos micaxistos desenvolveu-se, inteiramente no campo de estabilidade da distena. A pseudosecção P-T foi calculada no sistema [C-H] TiCaNKFMAS (Figura 9) e a paragénese gt-pl-ms-ky-q-ru observada na amostra corresponde a um campo compreendido entre 650°C e 800°C e as pressões variam de 10,5 kbar a 12 kbar, para o pico do metamorfismo. Sendo este o campo de estabilidade da paragénese, as isopletas correspondem às composições das biotites e do centro da granada, correspondendo aos valores analisados na microsonda (XFe de granada = 0,6) dos minerais para a pressão de 11,9 kbar e uma temperatura de 680°C. c) Na amostra Micaxisto 08PC31, as estimativas P-T de diferentes termobarómetros mostram que o estado precoce preservado no centro das granadas e as temperaturas avaliadas nos termómetros biotite-granada situam-se no intervalo entre 580°C-630°C. E as pressões associadas a este estado precoce, onde os valores estimados a 620°C no centro da granada, situam entre 6 kbar e 10 kbar. A trajectória retrógrada é analisada no equilíbrio biotite-bordadura da granada a uma temperatura de 550°C-610°C, com as pressões de 6,5 kbar a 8 kbar (Figura 7. E e F). A pseudosecção P-T foi calculada no sistema [C-H] TiCaNKFMAS (Figura 10), sendo que a paragénese gt-ky-bio-pl-ms-q-ru corresponde a um campo entre 620°C e 800°C e as pressões variam de 6 kbar a 12 kbar. A determinação da dimensão do campo de estabilidade da paragénese foi efectuada, assim sendo as isopletas, que correspondem às composições de biotites e do centro das granadas, foram calculados e correspondem aos valores analisados na microsonda (XFe da granada = 0,8 e XFe da biotite = 0,4) para uma pressão de 7,5 kbar e uma temperatura 660°C.

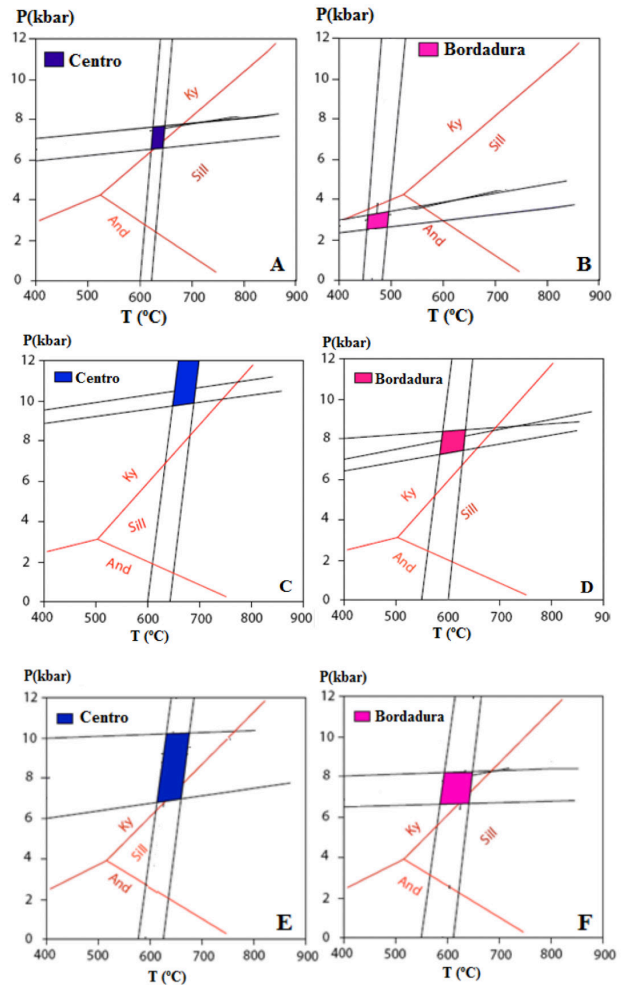


FIGURA 7. Diagramas P-T das amostras 08PC64 (A/B), 08PC24 (C/D) e 08PC31 (E/F) nos métodos clássicos de termobarometria (GBT – GPAQ). Calculado com centro e bordadura da granada.

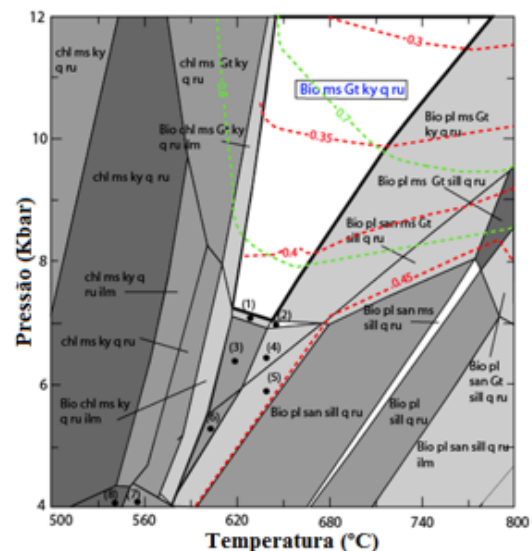
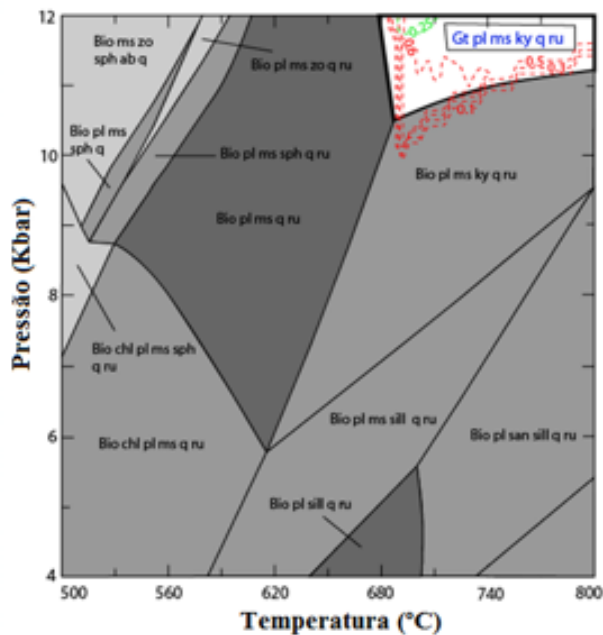
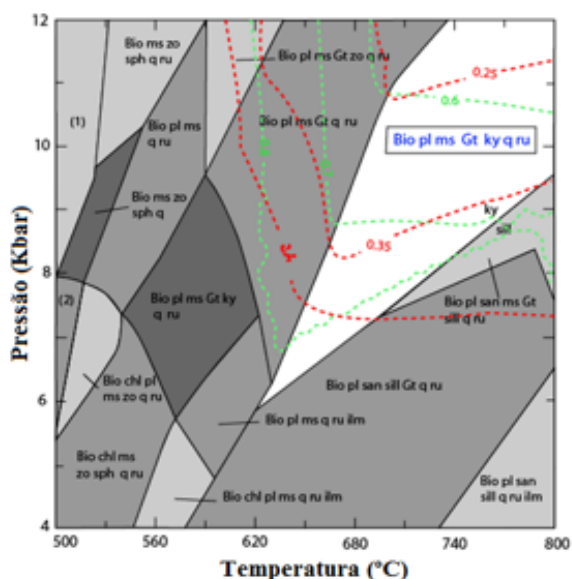


FIGURA 8. Pseudosecção P-T (08PC64) no sistema [C – H] TiCaNKFMAS (SiO<sub>2</sub>: 64,57; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 20,02; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,07; FeO: 7,26; MgO: 2,44; MnO: 0,06; CaO: 0,15; Na<sub>2</sub>O: 0,15; K<sub>2</sub>O: 2,38; TiO<sub>2</sub>: 1,10) e dentro da pseudosecção a actividade da água é fixada aos 0,8. (1) Bio ms Gt ky q ru ilm, (2) Bio pl ms Gt Ky q ru ilm, (3) Bio ms Ky q ru ilm, (4) Bio pl ms Ky q ru ilm, (5) Bio pl ms sill q ru ilm, (6) Bio ms sill q ru ilm, (7) chl ms and q ru ilm, (8) chl Ms and q ru (dados em percentagem molar).



**FIGURA 9.** Pseudosecção P-T da amostra 08PC24 no sistema [C – H] TiCaNKFMAS (SiO<sub>2</sub>: 77,39; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,16; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 5,02; FeO: 4,52; MgO: 3,31; MnO: 0,10; CaO: 0,58; Na<sub>2</sub>O: 1,33; K<sub>2</sub>O: 2,08; TiO<sub>2</sub>: 0,32) e actividade da água é fixada aos 0,8 (dados em percentagem molar).



**FIGURA 10.** Pseudosecção P-T da amostra 08PC31 no sistema [C – H] TiCaNKFMAS (SiO<sub>2</sub>: 58,41; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 19,72; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,96; FeO: 8,06; MgO: 3,12; MnO: 0,17; CaO: 2,57; Na<sub>2</sub>O: 2,35; K<sub>2</sub>O: 2,57; TiO<sub>2</sub>: 0,78). Actividade da água fixada aos 0,8. (1) Bio chl ms zo sph q, (2) chl pl ms zo sph q ru (dados em percentagem molar).

1) Unidade ocidental: a) Os resultados P-T estimados na amostra Gnaiss 08PC38, obtidos nos diferentes termobarómetros encontram-se na figura 11, onde as diferentes calibrações do termómetro biotite-granada desenvolveram uma série de temperaturas entre 720°C e 780°C, e um campo de pressão que variou entre 4 kbar e 10 kbar, o que pode ter sido provocado pela ligeira alteração da pla-

gioclase. A pseudosecção foi calculada no sistema [C-H] TiCaNKFMAS (Figura 14), sendo que o conjunto gt-bio-pl-q ru ± sill ± ms observado na amostra 08PC38 corresponde a um campo restrito que varia entre 650°C e 800°C, a uma pressão aproximadamente de 5 kbar. A determinação da dimensão do campo de estabilidade deste conjunto foi efectuada, sendo que as isopletras calculadas correspondem às composições das biotites e do centro da granada. Estes dados correspondem aos valores analisados na microsonda (XFe de granada = 0,7 e XFe de biotite = 0,35) dos minerais para a pressão de 5,5 kbar e uma temperatura de 665°C. b) Os resultados da amostra 08PC39, dos diferentes termobarómetros, permitiram a identificação de zonamentos nas granadas, o que permitiu distinguir duas fases: a fase precoce no centro das granadas mais magnesianas, sendo que as temperaturas avaliadas nos diferentes termómetros biotite-granada situam entre 680°C-755°C e as pressões variam entre 7 kbar e 9 kbar; enquanto na segunda fase foi definido o equilíbrio na bordadura da granada-biotite com as temperaturas de 610°C – 670°C, para as pressões de 5 kbar a 7 kbar. A estimativa P-T das duas fases estão de acordo com a boa preservação da paragénese de alta pressão, o que indicia que a exumação deste gnaiss desenvolveu-se no campo de estabilidade da silimanite (Figura 12). A pseudosecção foi calculada no sistema [C-H] TiCaNKFMAS (Figura 15), sendo que a paragénese gt-sill-bio-pl-q observada nesta amostra não aparece no campo definido pelo PERPLEX, onde a granada não é identificada em todo o conjunto. Posto isto, esta ausência da granada pode ser atribuída ao problema de cristalização entre fluido da fusão e o material restito. A presença da granada em relíquia mostra uma textura corroída, sendo incompatível com a composição da rocha total que se comporta como uma parte do fluido migmatítico. Assim, o sistema não se comporta como um sistema fechado na modelização para PERPLEX e não reflecte a composição do restito, mas pode ser um fluido silicatado de biotite-quartzo-feldspato. Assim sendo, somente o estudo das condições de troca catiónica é que pode ser validado no estudo termobarométrico. c) Na amostra Gnaiss 08PC55, as estimativas P-T de diferentes termobarómetros foram calculados tendo em conta a variação das granadas entre o centro e a bordadura, utilizando diferentes termómetros biotite-granada avaliados entre 560°C-620°C. As pressões associadas às composições internas da granada, com os valores estimados a 580°C situam-se entre 10 kbar e 11 kbar. Na fase seguinte, em que se analisou o equilíbrio biotite-granada na bordadura com temperaturas entre 580°C-700°C e pressões entre 10 kbar-11 kbar, os resultados sugerem que a migmatização ocorreu a relativamente grandes profundidades (± 30km), no campo de estabilidade da distena (Figura 13). A pseudosecção foi calculada no sistema [C-H] TiCaNKFMAS (Figura 16), sendo que a paragénese granada-quartzo-plagioclase-biotite-clorite-esfena foi observada na amostra 08PC55. No entanto, a granada não aparece no campo definido pelo PERPLEX, assim sendo a granada não foi identificada em todo o conjunto. Esta ausência da granada foi atribuída ao problema dos migmatitos no sistema PERPLEX, que não produz bem as paragénese, onde a rocha comporta-se como dois subsistemas.

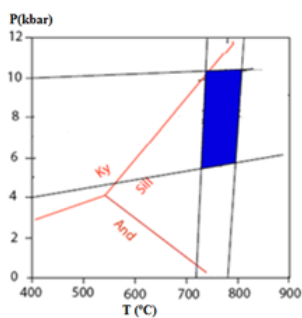


FIGURA 11. Diagrama P-T da amostra 08PC38, nos métodos clássicos de termobarometria (GBT – GPAQ). Calculado no centro da granada.

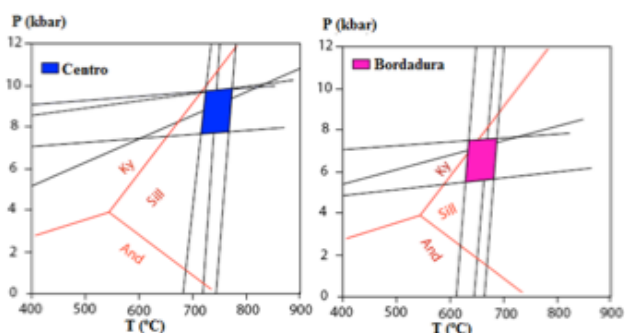


FIGURA 12. Diagramas P-T da amostra 08PC39 nos métodos clássicos de termobarometria (GBT – GPAQ). Calculado no centro e na bordadura da granada.

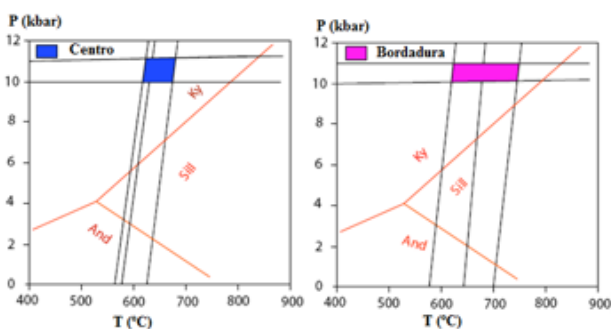


FIGURA 13. Diagramas P-T da amostra 08PC55 nos métodos clássicos de termobarometria (GBT – GPAQ). Calculado no centro e na bordadura da granada.

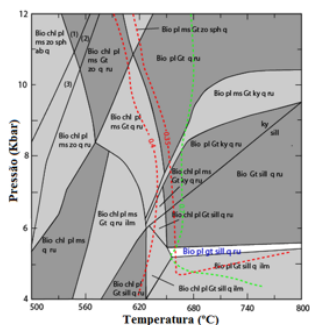


FIGURA 14. Pseudosecção P-T amostra 08PC38 no sistema [C – H] TiCaNKFMS (SiO<sub>2</sub>: 58,41; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 19,72; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,96; FeO: 8,06; MgO: 3,12; MnO: 0,17; CaO: 2,57; Na<sub>2</sub>O: 2,35; K<sub>2</sub>O: 2,57; TiO<sub>2</sub>: 0,78). Actividade da água foi fixada aos 0,8. (1) Bio chl pl ms Gt zo sph q ab ru, (2) Bio pl ms q ru, (3) chl pl ms zo sph q ru (dados em percentagem molar).

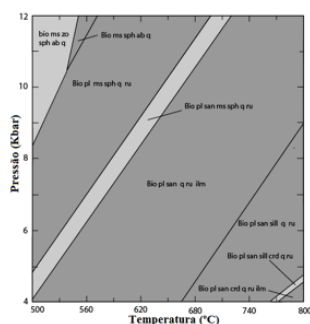


FIGURA 15. Pseudosecção P-T da amostra 08PC39 no sistema [C – H] TiCaNKFMS (SiO<sub>2</sub>: 56,71; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 15,43; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 10,20; FeO: 9,18; MgO: 5,62; MnO: 0,09; CaO: 1,20; Na<sub>2</sub>O: 1,72; K<sub>2</sub>O: 5,59; TiO<sub>2</sub>: 1,32). Actividade da água é fixada aos 0,8 (dados em percentagem molar).

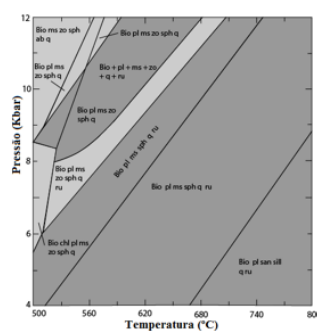


FIGURA 16. Pseudosecção P-T da amostra 08PC55 no sistema [C – H] TiCaNKFMS (SiO<sub>2</sub>: 57,80; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 16,17; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 8,99; FeO: 8,09; MgO: 4,61; MnO: 0,13; CaO: 2,52; Na<sub>2</sub>O: 2,44; K<sub>2</sub>O: 4,07; TiO<sub>2</sub>: 1,23). Actividade da água fixada aos 0,8 (dados em percentagem molar).

Os resultados obtidos nas diferentes calibrações termobarométricas de trocas catiónicas e análises das pseudosecções calculadas com PERPLEX (Connolly, 1990) permitiram propor as trajectórias de P-T das amostras estudadas e elaborar os trajectos P-T-t combinados com o estudo geocronológico. O conjunto destes resultados permitiu traçar a evolução tectono-metamórfica das unidades da zona de estudo.

Os conjuntos das estimativas do metamorfismo nas duas unidades são diferentes (Figura 17). A unidade oriental é marcada pelo desenvolvimento da foliação principal S1 e as condições P-T estimadas para o episódio metamórfico M1, associado a esta deformação, variam segundo as seguintes zonas: na zona de Muxiluanda (amostra 08PC64), as rochas registaram um pico de metamorfismo a P = 8 kbar e T = 630°C, enquanto na zona de Quibaxe, o pico de metamorfismo foi estimado a P = 7,5 kbar–1,9 kbar e T = 660°C–680°C (amostras 08PC24 e 08PC31). Este episódio progressivo é contemporâneo do aumento crustal gerado pela tectónica compressiva e, imediatamente, seguido de exumação das unidades metamórficas. Na unidade ocidental (zona de Caxito), as estimativas P-T mostram que o pico do metamorfismo foi seguido por uma re-equilíbrio importante das paragéneses nas condições menos severas (P = 5,7 kbar – 7,9 kbar, T = 620°C–750°C e P = 5,5 kbar, T = 660°C), no episódio de retrogradação M2, a qual é contemporânea da deformação D2 que altera quase totalmente as estruturas precoces D1.

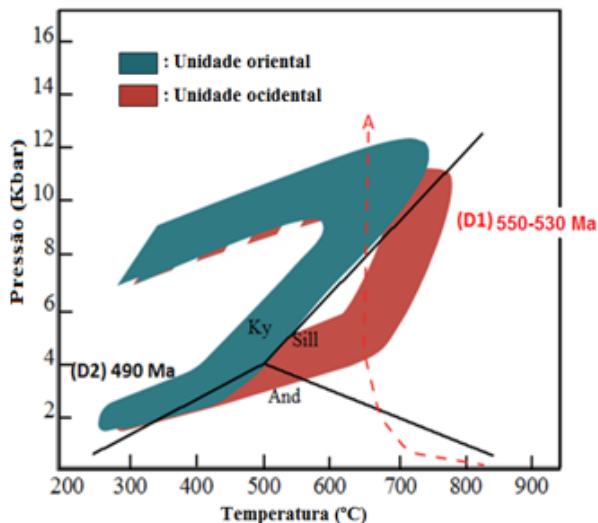


FIGURA 17. Evolução metamórfica do NW de Angola. As duas trajetórias P-T correspondentes às duas unidades diferentes da zona de estudo. A linha vermelha tracejada representa a trajetória do limite da fusão parcial.

## CONCLUSÕES

O estudo do metamorfismo das rochas da zona de estudo é considerado ainda preliminar. As lâminas delgadas estudadas permitem propor a existência de duas fases metamórficas sucessivas. A primeira paragênese (M1) corresponde à fase metamórfica principal ( $P = 7,5 \text{ kbar} - 11,9 \text{ kbar}$ ), sendo bem preservada na unidade oriental, onde é caracterizada pela foliação S1 com quartzo + granada + distena + estauroilite  $\pm$  rútilo  $\pm$  ilmenite. Os índices da re-equilíbrio secundária (M2), a qual é caracterizada por condições de pressões ( $P = 5,7 \text{ kbar} - 7,9 \text{ kbar}$ ) e temperaturas distintas ( $T = 620^\circ\text{C} - 750^\circ\text{C}$ ) das da primeira fase, exprimem a deformação D2 (xistossidade de crenulação). Na unidade ocidental, o segundo episódio metamórfico é dominante e contemporâneo do redobramento da foliação principal S1, que é acompanhada pelo desenvolvimento da foliação do plano axial S2. As fases precoces do metamorfismo são preservadas sob formas de restitos blindados nas granadas (silimanite e rútilo). As estimativas termobarométricas mostram que a unidade ocidental atingiu profundidades mais elevadas que a unidade oriental, e que tinha sido exposta a temperaturas mais altas, facilitando o desenvolvimento dos migmatitos.

Todas as idades  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  obtidas durante este trabalho atestam a importância da Orogenia Pan-africana na estrutura tectono-metamórfica do Noroeste de Angola. Dois grupos de idades de resfriamento podem ser distinguidos:

- um primeiro grupo preservado, principalmente, na unidade oriental e para o qual os minerais plagioclase, moscovite e biotite fornecem uma faixa de idades de 520 Ma-530 Ma. A concordância destas idades para sistemas cuja temperatura de fechamento isotópico encontra-se entre  $550^\circ\text{C}$  e  $325^\circ\text{C}$  implica em resfriamento rápido dessas séries orien-

tais quando se sobrepõem às zonas frias externas no final da fase D1. Este resfriamento rápido favoreceu a preservação de conjuntos de alta pressão e uma trajetória retrógrada que permanece no campo da distena. As idades no pico do metamorfismo são de  $541 \pm 3 \text{ Ma}$ .

- O segundo grupo de idades de resfriamento encontra-se entre 480 Ma e 500 Ma, intervalo correspondendo a toda a unidade ocidental e à base da unidade oriental. Essas idades posteriores à migmatização da unidade ocidental, refletem principalmente um retorno gradual das séries metamórficas ao equilíbrio térmico a uma taxa de aproximadamente  $10^\circ\text{C} / \text{Ma}$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO, A.G., GUIMARÃES, F., PEREVALOV, O.V., VOINOVSKY, A.S., TSELIKOVSKY, A.F., AGUEEV, Y.L., POLSKOI, F.R., KHODIREV, V.L. E KONDRÁTIEV, A.I. (1992). *Notícia explicativa da carta geológica de Angola à escala 1/1.000.000*. Instituto Geologica de Angola, Luanda, 42-56.
- [2] BERMAN R. G. (1988) *Internally consistent thermodynamic data for minerals in the system Na<sub>2</sub>O - K<sub>2</sub>O - CaO - MgO - FeO - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - TiO<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O - CO<sub>2</sub>*. *Journal of Petrology* 29, 445-522.
- [3] BERMAN R.G. (1991) *Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique with petrological applications*. *Canadian Mineralogist*, 29, 833-855.
- [4] CAHEN, L. (1977). *Vue d'ensemble sur les supergroupes antérieurs à l'Ouest-congolien dans la zone interne de l'orogène ouest-congolien depuis l'Angola septentrional jusqu'au Gabon*. *Rapp. ann. Musée Royal Afrique Central, Dépt. Géol. Min., Tervuren, Belgique*, pp.56-62.
- [5] CAHEN, L. (1978). - *La stratigraphie et la tectonique du supergroupe ouest-congolien dans la zone médiane et externe de l'orogène ouest-congolien (panafricain) au Bas-Zaïre et dans les régions voisines*. *Ann. Sci. Musée Royal Afrique Central, Dépt. Géol. Min., Tervuren, Belgique, sér. in 8°, 83, pp.150*
- [6] CARVALHO, H. (1984). *Estratigrafia do Precâmbrico de Angola*. Garcia de Orta, Serie Geologia, Instituto Investigação Tropical, Lisboa 7 (1-2), 47-50.
- [7] CARVALHO, H., TASSINARI C., ALVES P. H., GUIMARÃES F. AND SIMÕES M. C. (2000). *Geochronological Review of the Precambrian in Western Angola: links with Brazil*. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 31, N° 2, pp.384-400.
- [8] CONNOLLY J. A. D. (1990) *Multivariable phase diagrams an algorithm base and generalized thermodynamics*. *American Journal of Science*, 290, 666-718.
- [9] CONNOLLY J. A. D. AND KERRICK D.M. (1987). *An algorithm and computer program for calculating composition diagrams*. *CALPHAD* 11, 1-54.
- [10] GOTTSCHALK M. (1997) *Internally consistent thermodynamic data for rock forming minerals*. *European Journal of Mineralogy* 9, 175-223.
- [11] HOLLAND, T. J. B. AND POWELL R. (1988). *An*

internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16, 309-443.

- [12] HOLLAND, T. J. B. AND POWELL R. (2003). Activity composition relation for phases in petrological calculations: an asymmetric multicomponent formulation. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 145, 492-501.
- [13] POWELL, R. AND HOLLAND, T. J. B. (1988). An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 3 applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *Journal of Metamorphic Geology*, 6, 173-204.
- [14] SCHERMERHORN, L. J. G. AND STANTON, W. I.

(1963). *Noticia explicativa da Carta geologica de Angola*. Instituto Investigaçao Cientifica, Luanda, pp. 6 – 15.

- [15] SCHERMERHORN, L. J. G. E STANTON, W. I. (1964). *Carta geologica de Angola. Noticia explicativa da folha SUL UB-33 (Bembe)*. Direc. Provinc. Serv. Geol. Minas, Luanda, 28p.
- [16] STANTON, W. I., SCHERMERHORN, L. J. G. AND KORPERSHOEK, H. R. (1963). *The West Congo System*. *Bol. Serv. Geol. Min. Angola*, 8, 69 – 78.
- [17] Torquato, J. R., Silva, A.T. S. F., Cordani, G. and KAWASHITA, K. (1979). *A evoluçao geologica da cintura movel do Quipungo no Ocidental de Angola*. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 52, 133 – 143.

