



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:**  
**PETROLOGIA, METALOGÊNESE E EXPLORAÇÃO MINERAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**PSEUDOSEÇÕES P-T COM BASE NA VARIAÇÃO QUÍMICA**  
**DE GRANADAS ZONADAS NAS ROCHAS METAPELÍTICAS**  
**DA PARTE LESTE DO DOMÍNIO MACURURÉ, ORÓGENO**  
**SERGIPANO**

**ERICK MATHEUS VAZ GUEDES**

SALVADOR

2019

**PSEUDOSEÇÕES P-T COM BASE NA VARIAÇÃO QUÍMICA  
DE GRANADAS ZONADAS NAS ROCHAS METAPELÍTICAS  
DA PARTE LESTE DO DOMÍNIO MACURURÉ, ORÓGENO  
SERGIPANO**

**Erick Matheus Vaz Guedes**

*Orientadora: Profa. Dra. Jailma Santos de Souza de Oliveira*

*Co-orientador: Prof. Dr. Moacyr Moura Marinho*

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral.

SALVADOR

2019

Vaz Guedes, Erick Matheus

Pseudoseções P-T com base na variação química de granadas zonadas nas rochas metapelíticas da parte leste do Domínio Macururé, Orógeno Sergipano. / Erick Matheus Vaz Guedes. -- Salvador, 2019.

57 f. : il

Orientador: Dra. Jailma Santos de Souza de Oliveira.

Coorientador: Dr. Moacyr Moura Marinho.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geologia) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências - IGEO, 2019.

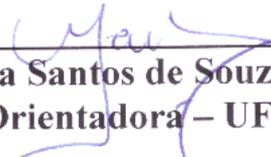
1. Domínio Macururé. 2. Pseudoseções P-T. 3. Granadas zonadas. 4. Zonas metamórficas. I. Souza-Oliveira, Jailma Santos de. II. Marinho, Moacyr Moura. III. Título.

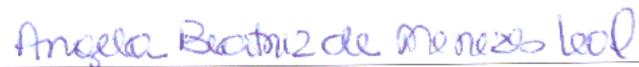
**ERICK MATHEUS VAZ GUEDES**

**“P-T PSEUDOSECTIONS COM BASE NA VARIAÇÃO QUÍMICA DE GRANADAS ZONADAS NAS ROCHAS METAPELÍTICAS DA PARTE E DO DOMÍNIO MACURURÉ, ORÓGENO SERGIPANO”**

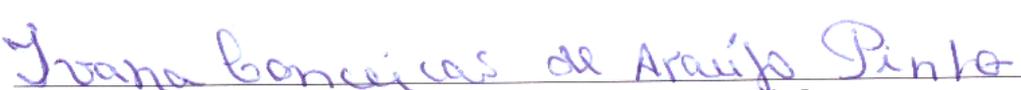
Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral em 29/08/2019.

**APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA:**

  
**Dra. Jailma Santos de Souza de Oliveira**  
**Orientadora – UFBA**

  
**Dra. Angela Beatriz de Menezes Leal**

**Dra. Angela Beatriz de Menezes Leal**  
**Examinadora Interna – UFBA**

  
**Dra. Ivana Conceição de Araujo Pinho**

**Dra. Ivana Conceição de Araujo Pinho**  
**Examinadora Externa – CPRM**

Salvador – BA  
2019

*“Ao meu Deus, minha esposa e meus pais, com  
muito carinho.”*

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento, primeiramente, é direcionado ao autor da minha fé, o qual me susteve e permitiu que concluísse o presente trabalho, apesar de tantas adversidades. Agradeço ao apoio e estímulo prestados por minha esposa, Isis e por meus pais e familiares. Também sou grato pelo apoio e orientações da professora Jailma, professor Moacyr e Ângela. Minha gratidão também fica registrada ao Programa de Pós-Graduação de Geologia da UFBA pela oportunidade de desenvolver este trabalho, a CAPES pela bolsa de estudo e ao Projeto Geoterm Se-AI, coordenado pelo professor Roberto Argollo, por ter cedido os dados e financiado a pesquisa. Sou grato à Ferbasa, representadas nas pessoas de Dr. José Viana e Dr. Rafael Tibo, por ter permitido que eu concluísse o mestrado, apesar da demanda do trabalho.

## RESUMO

O Domínio Macururé corresponde ao domínio de maior expressividade do Orógeno Sergipano, aflorando nos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas e é composto, predominantemente, por metapsamopelitos. Este trabalho objetivou identificar as condições de pressão e temperatura que estas rochas foram submetidas, utilizando estudos petrogenéticos com a construção de pseudoseções P-T através do software Perple\_X. Trabalhos recentes mostraram que as rochas metapelíticas do Domínio Macururé apresentam uma progressão metamórfica de sul para norte desde fácies xisto-verde a anfibolito, marcada pela zoneografia metamórfica iniciada pela zona da granada, passando pela zona da cianita e culminando com a zona da silimanita, evidenciando um metamorfismo de pressões intermediárias do tipo Barrowiano. Os resultados obtidos através da química de rocha total mais a variação da química mineral de  $X_{Ca}$  e  $X_{Mg}$  (núcleo-borda) dos cristais de granada, para uma amostra representativa de cada zona, indicaram que, para a amostra situada na zona da granada as condições do núcleo e borda da granada foram 449°C - 0,438GPa e 629°C - 1,094GPa, respectivamente. Para a amostra na zona da cianita obteve-se valores de 515°C - 0,655GPa (núcleo) e 616°C - 0,845GPa (borda) e, para a amostra na zona da silimanita, valores de 512°C - 0,615GPa (núcleo) e 617°C - 1,129GPa (borda), corroborando com a investigação do metamorfismo regional. A partir destes resultados, este estudo confirma a progressão do metamorfismo para norte, porém, foi registrado um evento subsequente que estabilizou as três amostras em condições de fácies anfibolito, no Neoproterozoico, associado as intrusões graníticas de 571Ma de idade.

Palavras-chave: Domínio Macururé. Pseudoseção P-T. Granadas zonadas. Zonas Metamórficas.

## ABSTRACT

Macururé Domain corresponds to the most expressive domain of Sergipian Orogen, emerging in the states of Bahia, Sergipe and Alagoas and is composed predominantly by metapsamopelites. This work aimed to identify the pressure and temperature conditions that these rocks were submitted to, with P-T pseudosection building by *Perple\_X* software. Recent works have shown that the metapelitic rocks of the Macururé Domain exhibit a metamorphic progression from south to north from the schist-green to amphibolite facies, marked by the metamorphic zoneography initiated by the garnet zone, passing through the kyanite zone and ending up in the silimanite zone, showing an intermediate pressures metamorphism, Barrowian type. The results obtained by bulk-rock composition + the variation of  $X_{Ca}$  and  $X_{Mg}$  core-edge garnet crystals (XRF and EMP-WDS), for a representative sample from each zone indicated for the sample placed on garnet zone, the conditions of the garnet core and edge were 449°C - 0.438GPa and 629°C - 1.094GPa, respectively. While for the sample placed on kyanite zone the values obtained were 515°C - 0.655GPa (core) and 616°C - 0.845GPa (edge) and for the sample situated on silimanite zone the presented were 512°C - 0.615 GPa (core) and 617°C - 1,129GPa (edge), corroborating with a regional metamorphism investigation. From these results, this study confirms the progression of metamorphism to the north, however, a subsequent event was recorded that stabilized the three samples under conditions of amphibolite facies in the Neoproterozoic, associated with 571Ma granite intrusions.

Keywords: Macururé Domain; P-T pseudosection; Zoned garnets; Metamorphic zones.

# SUMÁRIO

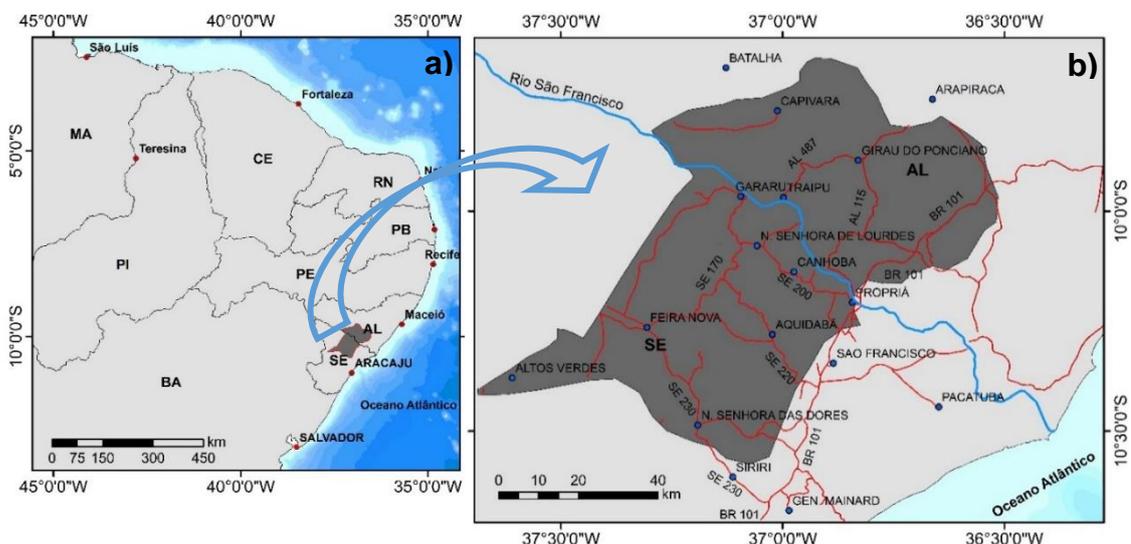
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 2 ARTIGO – PSEUDOSEÇÕES P-T COM BASE NA VARIAÇÃO QUÍMICA DE GRANADAS ZONADAS NAS ROCHAS METAPELÍTICAS DA PARTE LESTE DO DOMÍNIO MACURURÉ, ORÓGENO SERGIPANO .....</b>	<b>15</b>
1. INTRODUÇÃO .....	18
2. ORÓGENO SERGIPANO .....	19
3. LITOTIPOS DO DM NA ÁREA .....	19
4. ESTRUTURAS DO DM NA ÁREA DE ESTUDO .....	22
5. ZONEOGRAFIA METAMÓRFICA .....	23
6. MÉTODOS E TÉCNICAS .....	25
7. RESULTADOS .....	27
8. DISCUSSÕES .....	38
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	41
<b>CAPÍTULO 3 CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES .....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICE B – DETALHAMENTO DO MÉTODO DE TRABALHO DESENVOLVIDO.....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEOLOGIA USP, SÉRIE CIENTÍFICA .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO B – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO .....</b>	<b>57</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO GERAL

As rochas pelíticas compõem um grupo de rochas que apresentam uma característica bastante peculiar quando submetidas ao metamorfismo. O conteúdo químico-mineralógico dessas rochas faz com que elas se tornem bastante sensíveis a variações termobarométricas dos processos metamórficos. Essa sensibilidade é comumente marcada pela formação de diferentes minerais indicadores de condições de pressão (P) e temperatura (T), denominados de minerais índices. Portanto, em terrenos metamórficos onde essas rochas afloram, com bastante expressividade, é possível identificar a zoneografia metamórfica marcada por diferentes isógradas minerais. George Barrow no século XIX, nos seus estudos nos metapelitos da região do Dalradian da Escócia, foi um dos primeiros pesquisadores a descrever esse tipo de zoneografia nesse grupo de rochas. Com os estudos, Barrow constatou que os metapelitos apresentavam uma zoneografia que se iniciava pela zona da clorita, passando pela zona da biotita, zona da granada, zona da estauroлита, zona da cianita e finalizada pela zona da silimanita. Após anos desses estudos, caracterizou-se, portanto, esse tipo de metamorfismo como de pressões intermediárias ou metamorfismo barrowiano.

A área de estudo localiza-se nos estados de Sergipe e Alagoas restringindo-se a uma exposição do Domínio Macururé (DM) limitado ao oeste pela bacia Sergipe-Alagoas e ao leste pelo meridiano de Nossa Senhora da Glória, correspondendo a uma faixa de 50 km de largura (área de domínio dos Projetos GEOTERM NE e GEOTERM Se-Al) (Figura 1). O acesso à área de estudo, a partir de Salvador, se faz por um percurso total de 378 km. É feito inicialmente pela BA-099 até a divisa entre os estados de Bahia e Sergipe, em seguida pela SE-100 até o entroncamento com a SE-368, seguindo-se por essa rodovia até Estância. A partir de Estância, toma-se a BR-101 até o entroncamento com a SE-230, seguindo-se por essa rodovia até a cidade de Nossa Senhora das Dores, no limite sudeste da área de estudo. As principais vias de acesso utilizadas no mapeamento foram as seguintes: BR-101, SE-230, SE-220, SE-200, SE-170, AL-115 e AL-487.



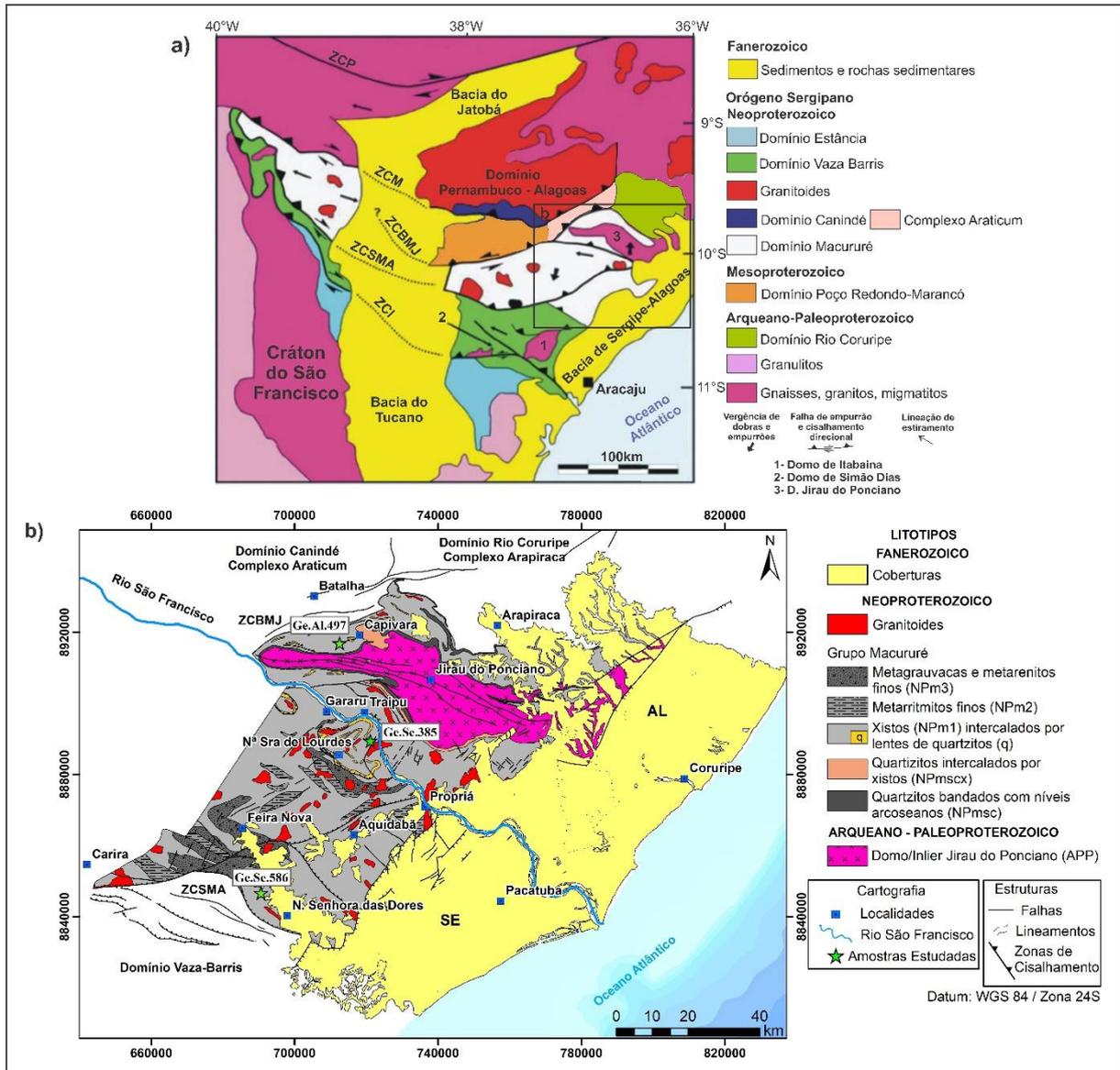
**Figura 1.** Mapa de situação (a) e localização (b) da área de estudo.

A área de estudo está inserida na Subprovíncia Sul da Província Borborema. Segundo Santos et al. (2000) e, Mendes e Brito (2016), em termos geotectônicos essa região engloba porções dos domínios: Pernambuco-Alagoas, Rio Coruripe, Domo / *Inlier* Jirau do Ponciano e o Orógeno Sergipano (Figura 2). Dentre os domínios dessa subprovíncia, o Orógeno Sergipano (OS) (Oliveira et al., 2015), anteriormente denominado como Faixa Sergipana (D’el Rey Silva, 1992), é o que apresenta maior extensão, aflorando nos estados de Sergipe, Alagoas e Bahia. Esse orógeno tem formato triangular e é limitado a norte pelo Domínio PEAL e ao sul pelo Cráton São Francisco, sendo separado na porção oeste pela bacia Tucano-Jatobá. O OS é representado por cinco domínios litoestruturais, de sul para norte: Estância, Vaza Barris, Macururé, Poço Redondo-Marancó e Canindé, os quais são limitados, respectivamente, pelas seguintes Zonas de Cisalhamento: Itaporanga, São Miguel do Aleixo, Belo Monte-Jeremoabo e Macururé (Figura 2a). Apesar de estudos anteriores interpretarem como um geossinclinal típico (Humprey e Allard, 1969), o OS foi resultado da inversão de uma bacia oceânica, formando um *Fold Thrust Belt* (D’el Rey Silva, 1999; Oliveira et al., 2006; Oliveira et al., 2010).

Ao longo do tempo, pesquisas realizadas nas rochas metapelíticas do DM comprovaram a existência de uma zoneografia semelhante à descrita por Barrow nas rochas metapelíticas da Escócia (região Dalradian). Os trabalhos de Silva (1992) e Silva et al. (1995) descreveram a presença de uma zoneografia de cianita para silimanita no estado de Alagoas, nas quais a geração desses polimorfos estaria associada a evolução deformacional, sem quebra metamórfica, entre D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub>. Outros trabalhos como Vaz Guedes (2016) e Vaz Guedes et al. (2017), esboçaram um mapa da zoneografia metamórfica (Figura 2b), marcando sua existência a partir da isógrada da granada no extremo sul do DM, passando pela zona da cianita, próximo à divisa entre os estados Sergipe e Alagoas, culminando com a zona da silimanita, próximo a Capivara-Al. Quanto ao grau metamórfico, os trabalhos executados registram que as rochas metapelíticas do DM foram submetidas e estabilizadas em condições de fácies anfíbolito (Silva Filho e Brito Neves, 1979; Davinson e Santos, 1989; Silva et al., 1995; Santos et al., 1998; Bueno et al., 2009b; Oliveira et al., 2010).

O OS foi estudado por diversos autores (Davinson e Santos, 1989; Silva Filho e Brito Neves, 1995; Santos et al., 1998; D’el Rey Silva, 1999; Oliveira et al., 2010, dentre outros) por ser um orógeno do Neoproterozoico que exhibe características semelhantes aos cinturões orogênicos do Fanerozoico (Oliveira et al., 2006). Apesar destes estudos, esse orógeno carece de uma abordagem específica sobre o metamorfismo, em cada um de seus domínios geotectônicos. Portanto, a caracterização do metamorfismo dos litotipos do DM é carente de estudos mais detalhados através da determinação das condições de pressão e temperatura, com ferramentas atuais, a exemplo do aplicativo *Perple\_X*, que possibilitem resultados mais precisos. Consequentemente, um estudo mais completo, com o auxílio da petrografia, dos dados de química de rocha total e química mineral para a construção de *grids* petrogenéticos (pseudoseções), além do apoio de trabalhos anteriores, é algo inédito acerca dos estudos desenvolvidos sobre o metamorfismo no DM, bem como no OS.

Para este trabalho, foram selecionadas três amostras dos metapelitos do DM (Ge.Se.586, Ge.Se.385 e Ge.Al.497), uma de cada zona metamórfica identificada em Vaz Guedes (2016), visando estimar, de modo mais exato, as condições de temperatura (T) e pressão (P) das zonas metamórficas, com a interpretação das reações/texturas metamórficas através dos estudos petrográficos.



**Figura 2.** (a) Mapa Geológico do Orógeno Sergipano (Modificado de D’el-Rey Silva, 1992). (b) Mapa geológico da porção leste do Domínio Macururé (Modificado de Santos *et al.*, 2000; Mendes e Brito, 2016). Abreviações - ZCP: Zona de Cisalhamento Pernambuco; ZCM: Zona de Cisalhamento Macururé; ZCBMJ: Zona de Cisalhamento Belo Monte Jeremoabo; ZCSMA: Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo; ZCI: Zona de Cisalhamento Itaporanga.

O objetivo geral deste trabalho consiste em contribuir para o entendimento da evolução metamórfica do OS através de cálculos das condições de temperatura e pressão com maior precisão com o auxílio do *software* *Perple\_X*. Como objetivo específico, este trabalho buscou: (i) detalhar os estudos petrográficos dos metapelitos do Domínio Macururé; (ii) confeccionar as pseudoseções metamórficas com a química de rocha total para uma amostra de cada zona; (iii) restringir as condições de P-T de equilíbrio da paragênese metamórfica a partir da variação composicional de cristais zonados de granada; (iv) correlacionar os eventos metamórficos com os eventos deformacionais e granitogênicos, propondo um modelo evolutivo conceitual para a progressão metamórfica da área.

A integração dos estudos petrográficos com a geotermobarometria permitiu a elaboração desta dissertação de mestrado, bem como a confecção de um artigo que foi submetido à revista científica: Revista Geologia USP - Série Científica.

## Referências

- Bueno, J.F., Souza, J.J., Araújo, M.N.C., Oliveira, E.P. (2009b). Evolução tectono-cronológica da estrutura de interferência de Nossa Senhora de Lourdes, Faixa Sergipana, NE Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 9, 608–623.
- Davinson, I., Santos, R.A. dos. (1989). Tectonic evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. *Precambrian Research*, 45, 319-342.
- D’el-Rey Silva, L. J. H. (1992). Tectonic evolution of the southern part of the Sergipano Fold Belt, northeastern Brazil. Tese (PhD). University of London, England, Royal Holloway.
- D’el-Rey Silva, L.J.H. (1999). Basin infilling in the southerncentral part of the Segipano Belt (NE Brazil) and implications for the evolution of Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic sedimentary cover. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 453-470.
- Humphrey, F.L., Allard, G.O. (1969). Geology of the Itabaiana Dome Area (Sergipe) and its bearing on the geology of the Propriá Geosyncline: a newly recognized tectonic element in the Brazilian Shield. Petrobrás, CENPES, Rio de Janeiro.
- Mendes, V. A., Brito, M. F. L. (2016). Geologia e recursos minerais da folha Arapiraca SC.24-X-D: escala 1:250.000: estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe / Vanildo Almeida Mendes e Maria de Fatima Lyra de Brito. – Recife: CPRM, 2016.
- Oliveira E. P., Toteu S. F., Araújo M. N. C., Carvalho M. J., Nascimento R. S., Bueno J. F., McNaughton N., Basilici, G. (2006). Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, Africa). *Journal of African Earth Science*, 4, 470-478.
- Oliveira, E. P., Windley, B. F., Araújo, M. N. C.(2010). The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research*, 181, 64-84.
- Oliveira E.P., Bueno J.F., McNaughton N.J., Silva Filho A.F., Nascimento R.S., Donatti-Filho J.P. (2015). Age, composition, and source of continental arc- and syn-collision granites of the Neoproterozoic Sergipano Belt, Southern Borborema Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 257-280.
- Santos, R. A., Martins, A. A. M., Neves, J. P., Leal, R. A. (1998). Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe. CPRM/CODISE, Brasília.
- Santos, E. J. dos, Brito Neves, B. B., Van Schmus, W. R., Oliveira, R. S.; Medeiros, V. C. (2000). An Overall View on the Displaced Terrane Arrangement of the Borborema province, NE. BRAZIL. Extended Abstract, *31º International Geological Congress*. CPRM, 1Cd ROOM. Rio de Janeiro: SBG.
- Silva Filho, M. A., Brito Neves, B. B. (1979). O Sistema de dobramentos Sergipano no Nordeste da Bahia. *Geologia Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos*, 1, 203–217.

Silva, J.M.R. (1992). Evolução Tectono-Metamórfica de uma parte da Faixa Sul-Alagoana, Sistema de Dobramentos Sergipano – Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP, 130 p.

Silva, J.M.R., Campos Neto, M.C., Brito Neves, B.B. (1995). Deformação e metamorfismo principais de uma parte da Faixa Sul-Alagoana (Complexo Macururé), sistema de dobramentos Sergipano, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25, 343-350.

Vaz Guedes, E. M. (2016). Esboço da Zoneografia Metamórfica do Subdomínio Macururé (Faixa Sergipana) nos Estados de Sergipe e Alagoas. Trabalho final de Graduação. Universidade Federal da Bahia, UFBA.

Vaz Guedes, E. M., Marinho, M. M., Oliveira, J. S. de S. de, Menezes, A. B. L. (2017). Esboço da Zoneografia Metamórfica do Subdomínio Macururé (Orógeno Sergipano), Porção Leste do Meridiano de Nossa Senhora da Glória nos Estados de Sergipe e Alagoas. *27º Simpósio de Geologia do Nordeste*, Anais, p. 12, João Pessoa: SGB.

**CAPÍTULO 2****ARTIGO – PSEUDOSEÇÕES P-T COM BASE NA VARIAÇÃO  
QUÍMICA DE GRANADAS ZONADAS NAS ROCHAS  
METAPELÍTICAS DA PARTE LESTE DO DOMÍNIO  
MACURURÉ, ORÓGENO SERGIPANO**

---

PSEUDOSEÇÕES P-T COM BASE NA VARIAÇÃO QUÍMICA DE GRANADAS ZONADAS NAS ROCHAS METAPELÍTICAS DA PARTE LESTE DO DOMÍNIO MACURURÉ, ORÓGENO SERGIPANO

P-T PSEUDOSECTIONS BASED ON THE CHEMICAL VARIATION OF ZONED GARNETS IN THE METAPELITIC ROCKS OF EAST MACURURÉ DOMAIN, SERGIPAN OROGEN

Título Curto: PSEUDOSEÇÕES P-T DOS METAPELITOS DO D. MACURURÉ

Erick Matheus Vaz Guedes

Universidade Federal da Bahia – Bahia – Brasil

Endereço: Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina. CEP: 40170-020. Salvador – Bahia.

E-mail: erickguedez@gmail.com

Telefone: (75) 99231-8363 / (71) 99953-0131

Jailma Santos de Souza-Oliveira

Universidade Federal da Bahia – Bahia – Brasil

E-mail: jailmasouza@gmail.com

Moacyr Moura Marinho

Universidade Federal da Bahia – Bahia – Brasil

E-mail: mmm@ufba.br

Angela Beatriz de Menezes Leal

Universidade Federal da Bahia – Bahia – Brasil

E-mail: angelab@ufba.br

Roberto Max de Argollo

Universidade Federal da Bahia – Bahia – Brasil

E-mail: robmax@ufba.br

Número de Palavras: 10081

Número de Figuras: 15

Total de Tabelas: 4

## RESUMO

O Domínio Macururé corresponde ao domínio de maior expressividade do Orógeno Sergipano, aflorando nos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas e é composto, predominantemente, por metapsamopelitos. Este trabalho objetivou identificar as condições de pressão e temperatura que estas rochas foram submetidas, utilizando estudos petrogenéticos com a construção de pseudoseções P-T através do software Perple\_X. Trabalhos recentes mostraram que as rochas metapelíticas do Domínio Macururé apresentam uma progressão metamórfica de sul para norte desde fácies xisto-verde a anfíbolito, marcada pela zoneografia metamórfica iniciada pela zona da granada, passando pela zona da cianita e culminando com a zona da silimanita, evidenciando um metamorfismo de pressões intermediárias do tipo Barrowiano. Os resultados obtidos através da química de rocha total mais a variação da química mineral de  $X_{Ca}$  e  $X_{Mg}$  (núcleo-borda) dos cristais de granada, para uma amostra representativa de cada zona, indicaram que, para a amostra situada na zona da granada as condições do núcleo e borda da granada foram  $449^{\circ}C - 0,438GPa$  e  $629^{\circ}C - 1,094GPa$ , respectivamente. Para a amostra na zona da cianita obteve-se valores de  $515^{\circ}C - 0,655GPa$  (núcleo) e  $616^{\circ}C - 0,845GPa$  (borda) e, para a amostra na zona da silimanita, valores de  $512^{\circ}C - 0,615GPa$  (núcleo) e  $617^{\circ}C - 1,129GPa$  (borda), corroborando com a investigação do metamorfismo regional. A partir destes resultados, este estudo confirma a progressão do metamorfismo para norte, porém, foi registrado um evento subsequente que estabilizou as três amostras em condições de fácies anfíbolito, no Neoproterozoico, associado as intrusões graníticas de 571Ma de idade.

Palavras-chave: Domínio Macururé; Pseudoseções P-T; Granadas zonadas; Zonas metamórficas.

## ABSTRACT

Macururé Domain corresponds to the most expressive domain of Sergipian Orogen, emerging in the states of Bahia, Sergipe and Alagoas and is composed predominantly by metapsamopelites. This work aimed to identify the pressure and temperature conditions that these rocks were submitted to, with P-T pseudosection building by *Perple\_X* software. Recent works have shown that the metapelitic rocks of the Macururé Domain exhibit a metamorphic progression from south to north from the schist-green to amphibolite facies, marked by the metamorphic zoneography initiated by the garnet zone, passing through the kyanite zone and ending up in the silimanite zone, showing an intermediate pressures metamorphism, Barrowian type. The results obtained by bulk-rock composition + the variation of  $X_{Ca}$  and  $X_{Mg}$  core-edge garnet crystals (XRF and EMP-WDS), for a representative sample from each zone indicated for the sample placed on garnet zone, the conditions of the garnet core and edge were 449°C - 0.438GPa and 629°C - 1.094GPa, respectively. While for the sample placed on kyanite zone the values obtained were 515°C - 0.655GPa (core) and 616°C - 0.845GPa (edge) and for the sample situated on silimanite zone the presented were 512°C - 0.615 GPa (core) and 617°C - 1,129GPa (edge), corroborating with a regional metamorphism investigation. From these results, this study confirms the progression of metamorphism to the north, however, a subsequent event was recorded that stabilized the three samples under conditions of amphibolite facies in the Neoproterozoic, associated with 571Ma granite intrusions.

Keywords: Macururé Domain; P-T pseudosection; Zoned garnets; Metamorphic zones.

## 1. INTRODUÇÃO

A definição das condições de P (pressão) e T (temperatura) de inúmeros processos são de grande interesse para muitos pesquisadores, principalmente para aqueles que têm como intuito compreender a evolução de sistemas orogênicos. Essas informações obtidas através da variação químico-mineralógica de minerais específicos, a exemplo da granada, fornecem elemento importantes para construções de trajetórias metamórficas P-T (Massone, 2013). Rochas metapsamopelíticas metamorfisadas de médio-alto grau, neste caso, além de rochas metamáficas, podem fornecer abundantes subsídios para esse tipo de estudo (Massone, 2013), devido à presença de uma gama de minerais índices metamórficos. Neste trabalho foram selecionadas três amostras de rochas metapelíticas do Domínio Macururé, Orógeno Sergipano, para um estudo aprofundado das condições de P-T a que foram submetidas.

A área de pesquisa compreende a uma faixa de 50 km de largura a oeste do contato do Domínio Macururé com a cobertura da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas (Figura 1), até próximo ao meridiano Nossa Senhora da Glória - SE.

O Orógeno Sergipano (OS) (Oliveira et al., 2015), denominando anteriormente como Faixa Sergipana (D'el Rey Silva, 1992) (Figura 1b) representa o segmento mais ao sul da Província Borborema (NE do Brasil). Esse orógeno é composto, de sul para norte, pelos domínios Estância, Vaza Barris, Macururé, Poço Redondo – Marancó e Canindé (Davinson e Santos, 1989; D'el-Rey Silva, 1995; Oliveira et al. 2006), correspondendo a um dos sistemas orogênicos mais importantes do NE brasileiro por conter domínios litoestruturais semelhantes aos orógenos fanerozoicos (Oliveira et al., 2006).

Diversos trabalhos nos metapelitos do Domínio Macururé (DM) (Silva Filho e Brito Neves, 1979; Davinson e Santos, 1989; Silva et al., 1995; Santos et al., 1998; Bueno et al., 2009b; Oliveira et al., 2010) registram que essas rochas foram submetidas e estabilizadas em condições de metamorfismo da fácies anfíbolito. Trabalhos como Silva (1992) e Silva et al. (1995) descrevem a presença de uma zoneografia de cianita para silimanita no estado de Alagoas, nas quais a geração desses polimorfos estaria associada a evolução deformacional entre D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> sem quebra metamórfica. No entanto, esse domínio carece de um estudo mais amplo, compreendendo desde o contato com o Domínio Vaza Barris até o limite norte no estado de Alagoas, aplicando técnicas de geotermobarometria que possam calcular com maior exatidão as condições reais nas quais essas rochas foram metamorfisadas.

Resultados de campo e de estudos petrográficos (Vaz Guedes, 2016; Vaz Guedes et al., 2017) indicam uma zoneografia metamórfica desde a fácies xisto verde (zona da granada) ao sul, passando para anfíbolito intermediário de temperatura média e alta pressão (zona da cianita) na divisa Sergipe - Alagoas, culminando com anfíbolito intermediário de alta temperatura (zona da silimanita).

Neste trabalho, são apresentados: uma zoneografia metamórfica do DM; dados de química de rocha total; química mineral e as condições de P-T das rochas metapelíticas do Domínio Macururé, através de estudos da variação da composição mineralógica de grãos de granada.

## 2. ORÓGENO SERGIPANO

O OS é o resultado da colisão entre o Maciço Pernambuco-Alagoas, ao norte, e o Cráton São Francisco, ao sul, durante o neoproterozoico (Santos et al., 1998), com o clímax em torno de 590 e 570 Ma (Bueno et al., 2009; Oliveira et al., 2010). Inicialmente esse orógeno foi considerado como um geossiclinal típico (Humphrey e Allard, 1969; Silva Filho, 1977) resultante da colagem de domínios geológicos. Entretanto, estudos mais recentes interpreta-o como um *fold thrust belt* (D’el-Rey Silva, 1999; Oliveira et al., 2006), originado a partir da inversão de uma paleobacia oceânica entre essas duas massas continentais. Esse orógeno é compartimentado nos domínios tectônicos: Estância, Vaza Barris, Macururé, Poço Redondo – Marancó e Canindé (Santos et al., 1998; D’el-Rey Silva, 1999; Oliveira et al., 2010), os quais são limitados, respectivamente pelas seguintes zonas de cisalhamento regionais: Itaporanga, São Miguel do Aleixo, Belo Monte – Jeremoabo e Macururé (Figura 1b).

São identificados e descritos quatro eventos deformacionais nas rochas supracrustais do OS (Jardim de Sá et al., 1986; D’el-Rey Silva et al., 1995; Oliveira et al., 2010). O primeiro, evento D<sub>1</sub>, é marcado por uma tectônica de *nappes*, com a vergência das estruturas para sul e zonas de cavalgamento que deslocaram as rochas metassedimentares dos domínios Estância, Vaza Barris e Macururé sobre o Cráton do São Francisco (Jardim de Sá et al., 1992). O evento posterior, D<sub>2</sub>, o mais penetrativo do OS, transpressivo, foi responsável pela reativação do evento D<sub>1</sub> e deu origem aos *thrusts* e *nappes* com vergência para sul. O evento D<sub>3</sub> com uma tectônica compressiva, sob regime dúctil-rúptil, é marcado pelas séries de soerguimentos, responsável pelo desenvolvimento das zonas de cisalhamento que limitam os domínios do orógeno e pela Estrutura de Interferência Nossa Senhora de Lourdes (EINSL) (Bueno et al., 2009b). O último evento, D<sub>4</sub>, está associado ao soerguimento e resfriamento do orógeno, onde houve reativação das estruturas anteriores gerando *kinks*, fraturas de extensão, falhas e, *tension gashes en echelon*.

O DM, localizado na porção central do OS, é formado predominantemente por rochas metapsamopelíticas, intercaladas por quartzitos e mármore subordinados, lentes de rochas calcissilicáticas e rochas metavulcânicas (Santos et al., 1998), intrudido por diversos corpos graníticos colisionais (Bueno et al., 2009; Bueno e Oliveira, 2007) (Figura 1c). No estado de Alagoas, é marcado por uma mega-antiforme de traço axial E-W, o Domo Jirau do Ponciano, onde afloram o embasamento pré-brasiliano, formado por rochas ortognáissicas e sequências vulcanossedimentares dos complexos Nicolau – Campo Grande, Jirau do Ponciano e, Ortognaisse Serra das Cabaças (Mendonça e Amorim, 1988). Dados geocronológicos apontam cristais de zircões detríticos de quartzitos e mica-xistos com idades predominantemente Mesoproterozoicas (~1000 Ma), indicando que a fonte dos sedimentos foi a Província Borborema. Outros zircões com idades U-Pb SHRIMP de 856 Ma apontam que foram formados no Neoproterozoico e metamorfisados entre 630 – 570 Ma, baseado nas idades dos granitos sin-colisionais (Oliveira et al., 2010).

## 3. LITOTIPOS DO DM NA ÁREA

Na área de estudo, cinco unidades litológicas do DM são individualizadas: quartzitos e xistos com granada e cianita da Formação Santa Cruz (NPmsc e NPmscx, respectivamente); granada-moscovita-biotita xistos localmente com cianita, estaurolita ou silimanita (NPM<sub>1</sub>); metarritmitos finos (NPM<sub>2</sub>) e; metagrauvacas e metarenitos finos (NPM<sub>3</sub>) (Figura 1c).

### **Quartzitos bandados com níveis arcoseanos (NPm<sub>sc</sub>)**

Essa unidade aflora apenas no estado de Alagoas. Ocorre sob a forma de serras que contornam o Domo Jirau do Ponciano (Figura 1c). Tratam-se de quartzitos bandados de granulação fina a média e coloração cinza esverdeada (Figura 2a). As bandas são marcadas por níveis ricos em quartzo, por vezes quartzo-feldspáticas, e níveis micáceos (biotita e/ou moscovita). A orientação preferencial das micas, bem como, o bandamento composicional marcam a foliação principal das rochas S<sub>2</sub>.

### **Quartzitos intercalados por xistos (NPm<sub>scx</sub>)**

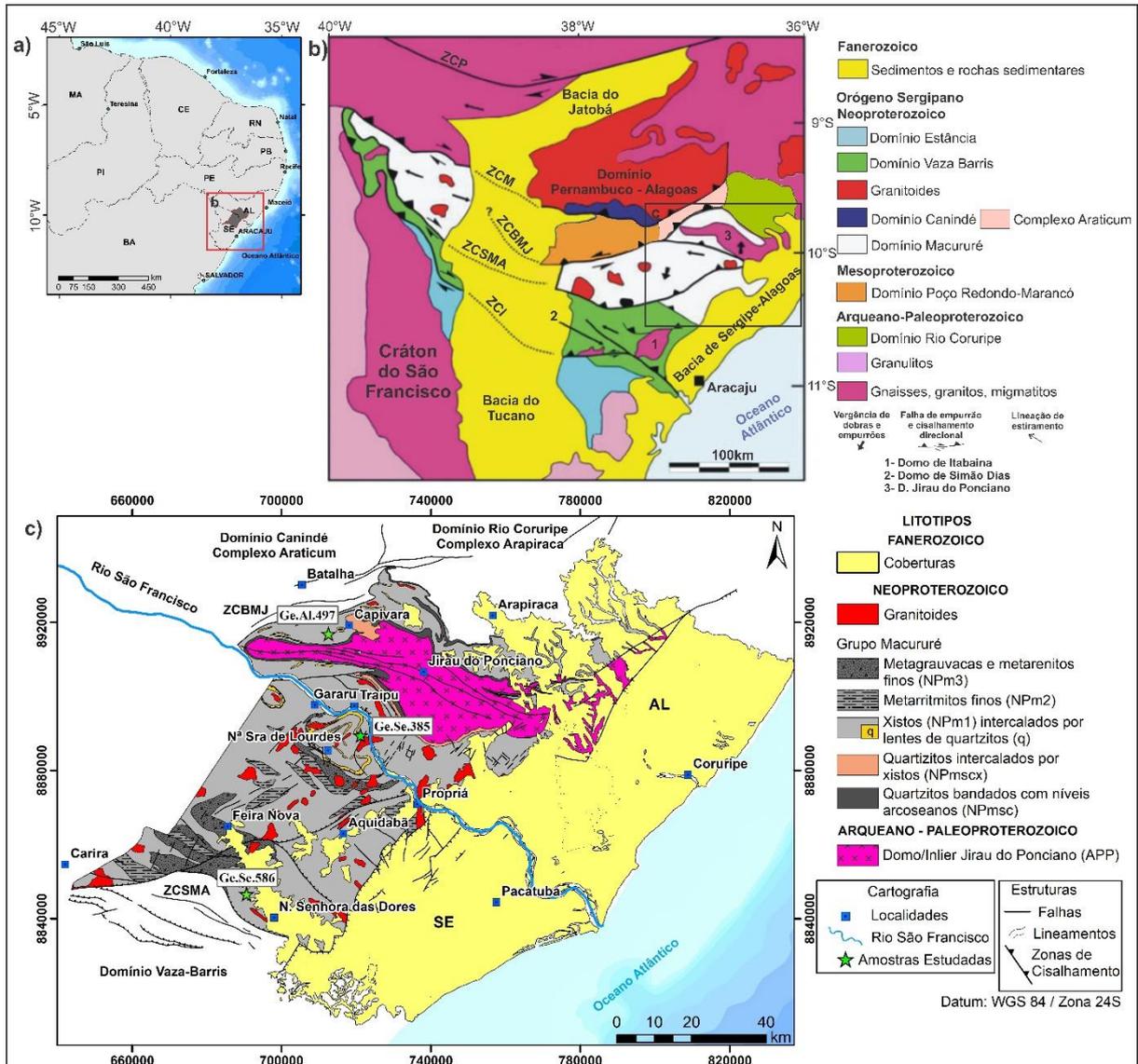
Esta unidade é encontrada apenas no estado de Alagoas, contornando parcialmente os quartzitos arcoseanos e do Domo Jirau do Ponciano (Figura 1c). Essa unidade é constituída de quartzitos micáceos e quartzitos arcoseanos, intercalados por granada-biotita xistos, por vezes, com cianita (Figura 2b). Os quartzitos apresentam coloração variada (rosa, bege claro e cinza-esverdeado) e os xistos uma coloração acinzentada. Essas rochas apresentam uma foliação principal S<sub>2</sub>, que é marcada por uma xistosidade penetrativa, a partir da orientação preferencial de palhetas de biotita, prismas de cianita e barras de quartzo. Essa foliação apresenta uma leve crenulação, marcada pelo microdobramento da foliação S<sub>2</sub>, relacionada a fase D<sub>3</sub>.

### **Xistos (NPm<sub>1</sub>) intercalados por lentes de quartzito (q)**

Corresponde à unidade com maior extensão aflorante do DM (Figura 1c). Essa unidade é formada predominantemente por xistos granadíferos (2 a 15%), localmente com estaurolita (0 a 12%), cianita (0 a 7%) e/ou silimanita (Figura 2c). A matriz dessas rochas é constituída por 25 a 60% de minerais micáceos e um mosaico poligonal de 25 a 55% de quartzo e plagioclásio. Estes xistos variam de xistos com granulação fina e coloração cinza claro a xistos de granulação mais grossa e tonalidade mais escura. Nessas rochas também estão registradas as principais estruturas deformacionais que caracterizam o OS, onde a foliação principal S<sub>2</sub> é marcada por uma xistosidade penetrativa, dada pela orientação preferencial dos minerais micáceos, prismas de cianita, estaurolita e barras de quartzo. Também é possível observar uma foliação pretérita S<sub>1</sub> marcada por palhetas levemente orientadas, de biotita e moscovita truncadas pela S<sub>2</sub>. A foliação S<sub>3</sub> é do tipo plano axial, marcada pela orientação preferencial de palhetas de moscovita e plaquetas de óxidos, associada à crenulação que é desenvolvida em algumas áreas. Intercalados aos xistos ocorrem quartzitos, que delineiam a EINSL (Estrutura de Interferência de Nossa Senhora de Lourdes) (Figura 2d), calcissilicáticas e rochas metamáficas, além das próprias unidades que serão descritas a seguir. De acordo com Santos et al. (1998), o ambiente deposicional que deu origem a essa unidade corresponde à fácies distais de leques submarinos, com eventual contribuição terrígena.

### **Metarritmitos finos (NPm<sub>2</sub>)**

Esta unidade está limitada ao estado de Sergipe. Ocorre sob a forma de corpos alongados e dobrados em mapa (Figura 1c). Tratam-se de metarritmitos finos (Figura 2e), marcados pela intercalação rítmica de metassiltitos (10-35%) e filitos (65 a 90%). Essa variação é registrada pela intercalação entre uma matriz quartzo-feldspática com finas barras de quartzo orientadas e um nível micáceo microscopicamente crenulado. A foliação principal S<sub>2</sub> é marcada pela orientação preferencial de palhetas de moscovita, biotita e barras de quartzo. A presença de porfiroblastos de biotita rotacionados pela foliação S<sub>2</sub>, revela a transposição responsável pela paralelização S<sub>0</sub>/S<sub>1</sub>/S<sub>2</sub>. Santos et al. (1998) remete essa unidade a clássica sequência turbidítica de Bouma: Tc-d-e, Td-e.



**Figura 1.** (a) Mapa de situação da área de estudo. (b) Mapa Geológico do Orógeno Sergipano, porção sul da Província Borborema (Modificado de D'el-Rey Silva, 1992). (c) Mapa geológico da porção leste do Domínio Macururé (Modificado de Santos et al., 2000; Mendes e Brito, 2016). Abreviações: ZCP: Zona de Cisalhamento Pernambuco; ZCM: Zona de Cisalhamento Macururé; ZCBMJ: Zona de Cisalhamento Belo Monte Jeremoabo; ZCSMA: Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo; ZCI: Zona de Cisalhamento Itaporanga.

### Metagrauvacas e metarenitos finos (NPm3)

As rochas desta unidade, também limitadas ao estado de Sergipe (Figura 1c), consistem de metagrauvacas arcoseanas (Figura 2f) a feldspáticas de coloração cinza claro a esverdeado, rosadas, quando alteradas, e de metarenitos finos de coloração esbranquiçada. As metagrauvacas são compostas por 10 a 75% de grãos de quartzo e plagioclásio imersos em uma matriz formada por palhetas de moscovita e biotita (25 a 75%). Os metarenitos finos, ou xistos arenosos, apresentam palhetas orientadas de moscovita (5 a 30%) em permeio a uma matriz quartzo-feldspática (35 a 60%) com porfiroblastos de granada (5 a 10%) e biotita (0 a 20%). A foliação principal dessas rochas,  $S_2$ , é marcada pela orientação principal das palhetas de moscovita. Segundo Santos et al. (1998), essa unidade refere-se a uma fácies proximal de leques submarinos.



**Figura 2.** (a) Lajedos de quartzito bandado (NPm<sub>sc</sub>), próximo a Capivara (Traipu – AL); (b) Amostra do afloramento de granada-cianita-biotita xisto (NPm<sub>scx</sub>) na estrada para Capivara – AL; (c) Lajedo de xisto granadíferos (NPm<sub>1</sub>) em um riacho a NW da cidade de Nossa Senhora das Dores –SE; (d) Fechamento NW da EINSL marcada pela Serra da Tabanga, no povoado de Escurial - SE, suportada pelos quartzitos da unidade NPm<sub>1q</sub>; (e) Afloramento de metarritmitos (NPm<sub>2</sub>) na margem da estrada SE-170 no trecho entre Itabi e Nossa Senhora de Lourdes – SE; (f) Afloramento de metagrauvaca (NPm<sub>3</sub>) em um corte de estrada na SE-175, no trecho de Nossa Senhora da Glória para São Matheus – SE.

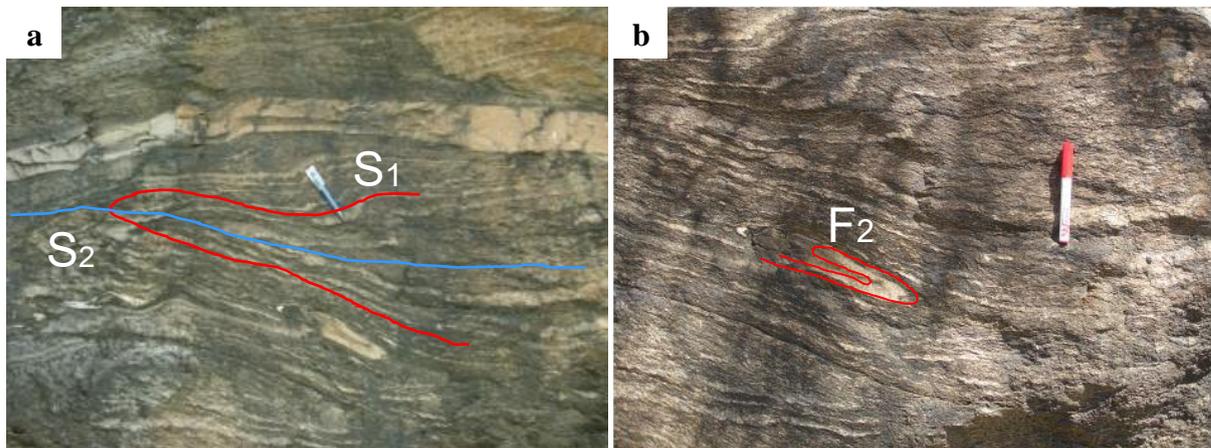
#### 4. ESTRUTURAS DO DM NA ÁREA DE ESTUDO

Considerados os diversos trabalhos realizados na região, somando-se os dados dessa pesquisa, foram caracterizados três eventos deformacionais principais na área investigada (Tabela 1). O evento D<sub>1</sub> desenvolveu dobras (F<sub>1</sub>) isoclinais, por vezes recumbentes regionais e intrafoliais associadas à nappes e uma xistosidade penetrativa que marca a foliação S<sub>1</sub>, nos

xistos (Figura 3a e b). A foliação  $S_1$ , ainda preservada, é observada próximo a Gararu-SE, onde apresenta-se dobrada e paralelizada a foliação  $S_2$  (Figura 3a). O evento  $D_2$ , coaxial, ocorreu com continuidade cinemática e é marcado pela foliação  $S_2$ , uma xistosidade penetrativa dada pela orientação preferencial de palhetas de biotita e moscovita, prismas de cianita e barras de quartzo estirados (foliação principal em maior parte do terreno do DM). Esta fase foi responsável pela formação das dobras ( $F_2$ ) assimétricas abertas a suaves ao sul, fechadas a apertadas de limbos invertidos ao norte e, estrutura de interferência coaxial do tipo III ( $F_1 \times F_2$ ), laço (Figura 3b) (Ramsay, 1967). Posteriormente, o evento  $D_3$  (encurtamento N-S), dúctil-rúptil, oblíquo aos anteriores, foi o responsável pela formação do microdobramento da foliação  $S_2$ , uma clivagem de crenulação, pela geração da Estrutura de Interferência Nossa Senhora de Lourdes (EINSL) (Bueno et al., 2009b), do tipo cogumelo, tipo II (Ramsay, 1967) e pelo desenvolvimento das zonas de cisalhamento ZCSMA e ZCBMJ que limitam o DM a sul e a norte, respectivamente.

Evento Deformacional	Estruturas Formadas	Vergência
$D_1$	-Foliação $S_1$ : xistosidade penetrativa; -Dobras $F_1$ : isoclinais; recumbentes; intrafoliais;	SW
$D_2$	-Foliação $S_2$ : xistosidade penetrativa; - $S_1 // S_2$ ; -Dobras $F_2$ : assimétricas, fechadas a apertadas de limbos invertidos; Estrutura de Interferência do tipo III – Laço;	SW
$D_3$	-Foliação $S_3$ : clivagem disjuntiva; -Dobras $F_3$ : crenulação; Estrutura de Interferência do tipo II – Cogumelo; -Zonas de Cisalhamento: ZCSMA e ZCBMJ.	SE

**Tabela 1.** Relação das estruturas formadas a partir dos diferentes eventos deformacionais e campos de tensão.

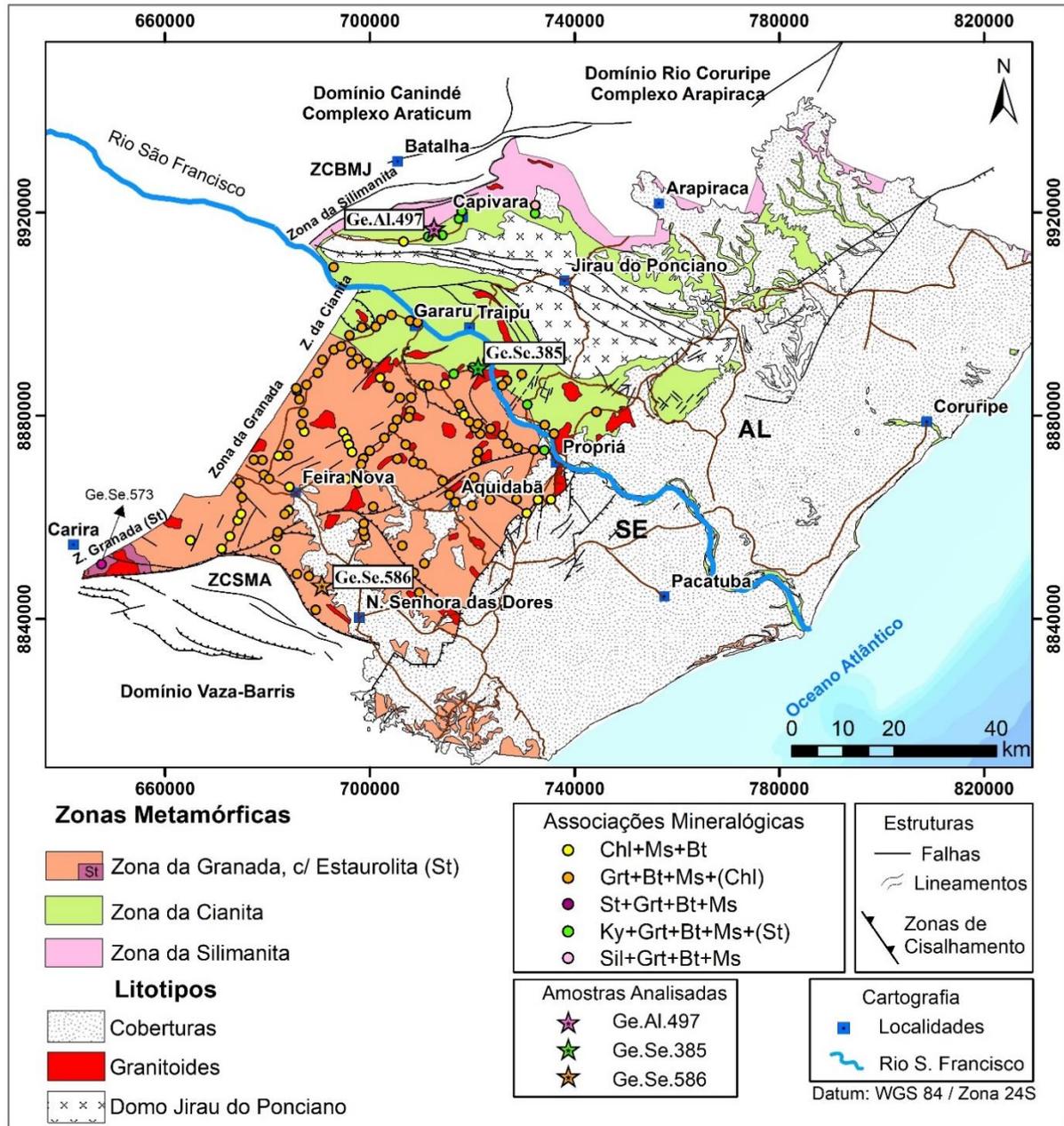


**Figura 3.** Afloramento de granada-biotita-moscovita xisto, próximo à cidade de Gararu - SE, evidenciando a relação das estruturas das fases  $D_1$ - $D_2$ . (a) Foliação  $S_1$  dobrada pela fase  $D_2$ , com foliação de plano axial  $S_2$ . (b) Estrutura de interferência do tipo III, dobra em laço ( $F_2$ ).

## 5. ZONEOGRAFIA METAMÓRFICA

Trabalhos anteriores descrevem a presença de três zonas metamórficas no DM (Silva, 1992; Silva et al., 1995; Vaz Guedes, 2016; Vaz Guedes et al., 2017), marcadas pelas isógradas da granada, cianita e silimanita (Figura 4). Esta zoneografia tem seu mais baixo grau

metamórfico no contato com o D. Vaza Barris (zona da granada), aumentando em direção ao norte e, culminando com o mais alto grau próximo à cidade de Capivara – AL (zona da silimanita). Através da análise de 150 lâminas petrográficas nas rochas metapelíticas do DM, obteve-se as zonas que são apresentadas a seguir:



**Figura 4.** Mapa da Zoneografia Metamórfica da parte Leste do Domínio Macururé, Orógeno Sergipano (Modificado de Santos et al., 2000 e Vaz Guedes, 2016). Abreviações – Chl: clorita; Ms: moscovita; Bt: biotita; Grt: granada; St: estaurolita; Ky: cianita; Sil: silimanita.

### Zona da Granada

Esta zona ocorre desde o limite sul do DM, no contato pela Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo com o D. Vaza Barris até próximo as cidades de Nossa Senhora de Lourdes, Canhoba, Gararu e Porto da Folha-Se (Figura 4), limite norte. Essa zona é marcada pelas

seguintes associações minerais: granada + biotita + moscovita + clorita + quartzo + plagioclásio e; granada + biotita + moscovita + quartzo + plagioclásio. Como acessórios, é comum a presença de rutilo, turmalina, apatita, zircão e opacos (em luz refletida são identificados como magnetita e ilmenita). Nessa zona, localmente nas bordas dos granitos, os xistos apresentam prismas de estauroлита (Figura 5b) com inclusões orientadas. Tal ocorrência é observada no extremo sudoeste da área, próximo à cidade de Carira.

### **Zona da Cianita**

O início da zona da cianita ocorre no limite norte da zona da granada, não sendo precedida pela zona da estauroлита, e finda-se ao norte do Domo Jirau do Ponciano, próximo ao município de Capivara – AL (Figura 4). Nessa zona, a cianita e estauroлита ocorrem associadas, desaparecendo este último mineral em direção ao norte. As seguintes associações compõem essa zona: estauroлита + cianita + granada + biotita + moscovita + clinozoisita + tremolita-actinolita + quartzo + plagioclásio; estauroлита + cianita + granada + biotita + moscovita + quartzo + plagioclásio; cianita + granada + biotita + quartzo + plagioclásio. Os minerais acessórios comuns são: rutilo, zircão, apatita e turmalina, além dos opacos (magnetita e ilmenita).

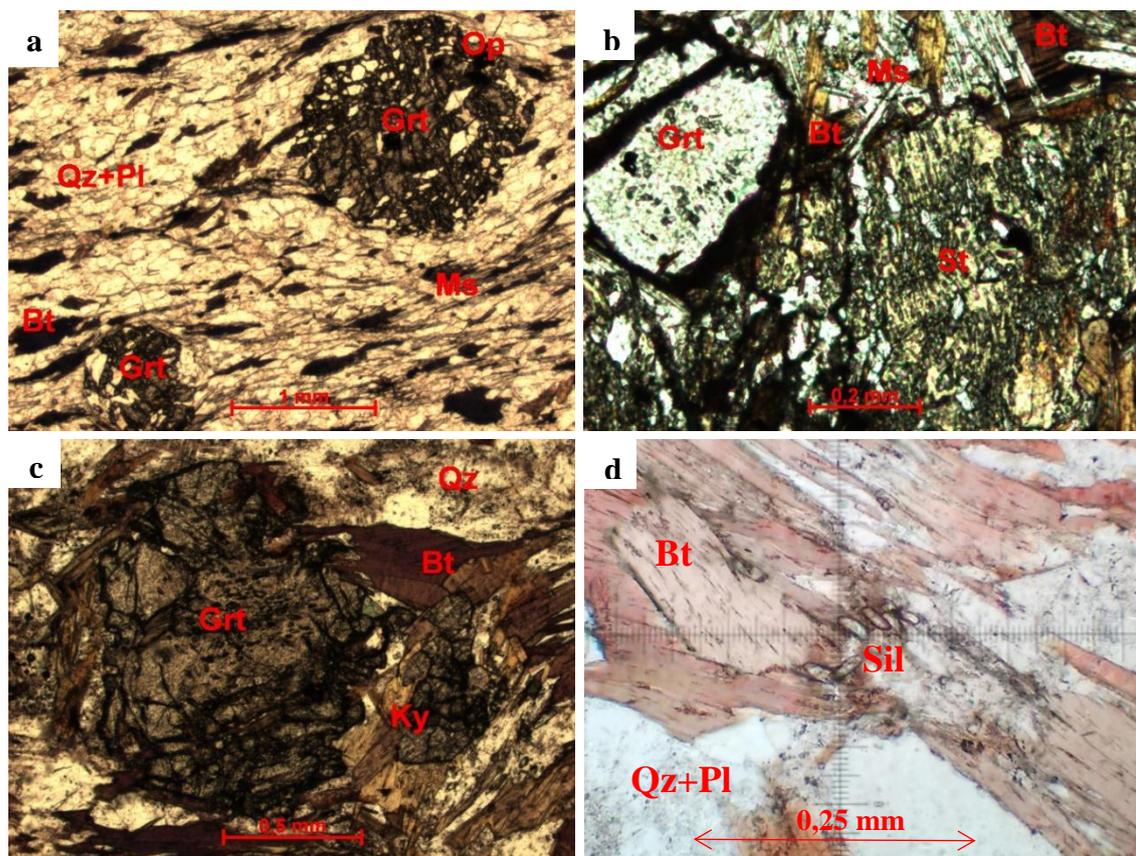
### **Zona da Silimanita**

Restrita ao estado de Alagoas, na área de estudo, essa zona inicia-se nas proximidades da cidade de Capivara-AL, ao norte do Domo Jirau do Ponciano e seu limite norte situa-se no contato dos litotipos do DM com o D. Coruripe e o D. Canindé (Figura 4). A estabilização da silimanita, nessa região, é destacada por muitos pesquisadores (Silva, 1992; Silva et al., 1995; Mendes e Brito, 2016), contudo, nesse estudo, somente foram observadas finas agulhas de um cristal subidioblásticos, incolor (Figura 5d). Percebe-se que as rochas nessa zona apresentam uma estrutura gnáissica, por vezes, bem desenvolvida, o que marca uma grande diferença das rochas da zona anteriores. A associação mineralógica observada nas rochas dessa zona foi granada + biotita + moscovita + quartzo + plagioclásio + silimanita. Como acessórios, são comuns, cristais de turmalina, rutilo e ilmenita.

## **6. MÉTODOS E TÉCNICAS**

Foram selecionadas três amostras representativas de rochas referente a cada zona metamórfica. As descrições petrográficas foram realizadas a partir das seções delgadas/polidas das respectivas amostras, com espessura de 30 µm. Essas amostras foram britadas e pulverizadas por britador de mandíbulas e um moinho de panelas de carbetto de tungstênio. O pó resultante da pulverização foi enviado para análise no laboratório da SGS Geosol (Vespasiano - MG), para fusão com tetraborato de lítio e quantificação dos elementos maiores por Fluorescência de Raio-X.

As composições químicas dos minerais em seções polidas foram analisadas através da microsonda CAMECA SX50 EMP com quatro espectrômetros WDS do Laboratório de Microsonda Eletrônica, Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Brasília (LASON). Foram determinadas as concentrações de Na, Mg, F, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe e V para esses minerais. Para as análises dos minerais foram utilizadas correntes de 15-20nA e aceleração de voltagem de 15-20 kV. Foram utilizadas planilhas específicas para os cálculos da fórmula estrutural dos minerais a partir dos resultados das análises por microsonda eletrônica.



**Figura 5.** (A) granada-biotita-moscovita xisto da zona da granada, com porfiroblastos de granada sin-tectônica, observado em luz plana; (B) estauroлита-granada-biotita-moscovita xisto, marcando a ocorrência de estauroлита no xisto que bordeja um granito, próximo a Carira-SE; (C) associação mineralógica de Grt+Ky+Bt, zona da cianita; (D) gnaiss aluminoso com palhetas de biotita avermelhadas e presença de silimanita - zona da silimanita. Abreviações segundo Whitney e Evans (2010) – Qz: quartzo; Pl: plagioclásio; Bt: biotita; Ms: moscovita; St: estauroлита; Ky: cianita; Sil: silimanita; Op: mineral opaco.

Para o cálculo das condições de P-T e para a definição da evolução da trajetória metamórfica das amostras do DM, foi utilizado o *software* *Perple\_X* (Connolly, 2005). Este cálculo foi baseado na variação da fração molar de Ca e Mg dos cristais de granada. Para a construção dos grids petrogenéticos, foram utilizadas, a partir do banco de dados, as seguintes soluções modelo: Bio(TCC) para biotita; Gt(HP) para granada; St (HP), para estauroлита; melt(HP) para líquido (*melt*); Mica(CHA) para moscovita; feldspar\_B para feldspatos; Ilm(WPH) para ilmenita; GltTsPg para anfibólio; T para talco; Ctd para cloritóide; Chl para clorita; HCrd para cordierita; Opx(HP) para ortopiroxênio; Cpx(HP) para clinopiroxênio e Pheng (HP) para fengita (Holland e Powell, 1991; Holland e Powell, 1998).

As pseudosseções foram construídas a partir dos resultados das análises químicas de rocha total, os quais definiram os campos de estabilidade para cada paragênese mineral. As isopletas foram calculadas com base na variação das frações molares de Ca e Mg do centro para a borda dos cristais de granada e foram utilizadas para uma melhor definição das condições de P-T de cada amostra.

## 7. RESULTADOS

### Descrição das amostras estudadas

Foram selecionadas as amostras Ge.Se.586, Ge.Se.385 e Ge.Al.497 ao longo da zoneografia metamórfica do DM, uma em cada zona, para as investigações das condições P-T. A escolha dessas amostras consistiu na representatividade das mesmas em suas respectivas zonas e, nas ricas informações de química mineral obtidas nos cristais de granada.

#### *Zona da Granada*

A amostra Ge.Se.586 marca o início da zona da granada. Localiza-se a noroeste da cidade de Nossa Senhora das Dores-SE, próximo à Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo que coloca as rochas do DM sobre as rochas do D. Vaza Barris (Figuras 4). Esta amostra contém 10% do volume composto por porfiroblastos de granada (Figura 6a). A matriz desta rocha (90% do volume) é formada por um fino (0,1 a 0,3 mm) mosaico poligonal quartzofeldspático estirado (42%) com palhetas, de até 2,5 mm de moscovita (38%) e biotita marrom-avermelhada (7%) orientadas, marcando a foliação  $S_2$ , esta, crenulada pela fase de deformação  $D_3$ . Como minerais acessórios, ocorrem palhetas de ilmenita (1%), paralelizadas a foliação  $S_2$  e, gotículas de rutilo (2%). Os porfiroblastos de granada são idioblásticos, 0,5 a 3,0 mm e, são caracterizados como sin- $D_2$ , pois, apresentam-se com inclusões orientadas e rotacionadas, de quartzo e ilmenita e, estão envolvidos pela crenulação ( $D_3$ ) (Figura 6a).

#### *Zona da Cianita*

A amostra Ge.Se.385 está localizada no estado de Sergipe, próximo à divisa com Alagoas (Rio São Francisco), no Povoado de Escurial, município de Nossa Senhora de Lourdes (Figuras 4), marcando o início da zona da cianita. Esta amostra é constituída por 15% do volume de porfiroblastos, subidioblásticos a idioblásticos, de granada (0,8 a 2,6 mm) (Figura 6c). Estes porfiroblastos apresentam, por vezes, inclusões de quartzo, levemente rotacionadas e, exibem contatos retos a curvos com a biotita e a matriz. A matriz que compõe essa rocha é formada por mosaico poligonal de 0,1 a 2,5mm de quartzo (25%) e plagioclásio (17%), com palhetas de biotita (20%) marrom-avermelhadas e moscovita (10%), orientadas, marcando a foliação  $S_2$ , desta rocha. A cianita (8%) ocorre como prismas subidioblásticos a idioblásticos com intensa inclusão de quartzo orientada. A estauroлита (5%) é xenoblástica (0,2mm a 1,4mm), apresenta-se desestabilizada para cianita, com inclusões de quartzo, moscovita, biotita e opacos, discordante com a foliação  $S_2$ . O prisma de estauroлита é truncado pela foliação  $S_2$ , evidenciando uma geração pré- $D_2$ . Foram identificadas duas gerações de cianita, uma geração pré- $D_2$ , marcada pela rotação e envolvimento da foliação  $S_2$ , e outra sin- $D_2$ , orientado segundo a foliação  $S_2$ , com inclusões orientadas e em contatos retos com a biotita. Como acessórios, ocorrem rutilo e ilmenita sob a forma de gotículas e turmalina, os quais, juntos compõem 2% do volume total da rocha. Os porfiroblastos idioblásticos de granada sem inclusões, parecem ter a geração associada ao fim do evento  $D_2$  ou tardi- $D_2$ , pois, apesar de não exibir inclusões rotacionadas, associadas à foliação principal da rocha ( $S_2$ ), os contatos retos com biotita sin- $D_2$ , exclui a possibilidade de ser pós- $D_2$ . Outros porfiroblastos de granada com inclusões orientadas e rotacionadas são sin- $D_2$ .

#### *Zona da Silimanita*

A amostra Ge.Al.497 marca o início da zona da silimanita. Localiza-se a oeste do Povoado de Capivara, Traipu – AL (Figuras 4). Esta rocha é composta por 12% de porfiroblastos (0,5 a 2,0 mm), subidioblásticos a idioblásticos, de granada sin- $D_2$ , marcadas por inclusões de quartzo e biotita, orientadas e rotacionadas (Figura 6e). A matriz dessa rocha é

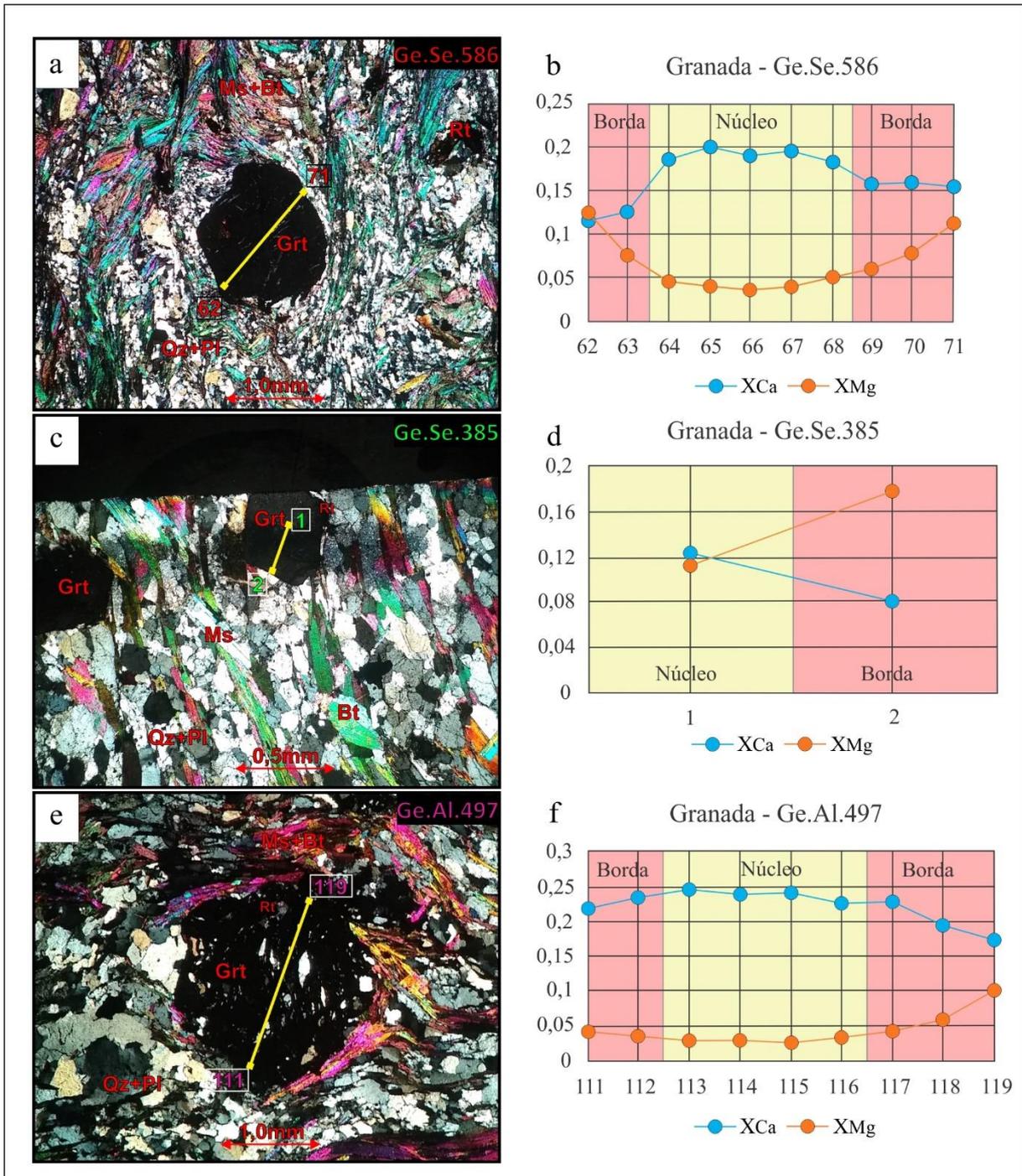
marcada por bandas de um mosaico poligonal de quartzo-feldspático (0,1 a 1,0 mm) (47%), intercaladas por bandas ricas em palhetas orientadas, segundo uma orientação preferencial (foliação  $S_2$ ), de moscovita (25%) e biotita avermelhada (15%). Acessórios como rutilo, ilmenita, zircão e silimanita fibrolitizada (Mendes e Brito, 2016), compõem aproximadamente 1% do volume total da rocha. É comum a presença de *ribbons* de quartzo paralelizados à foliação  $S_2$ .

### Composição Química dos Minerais

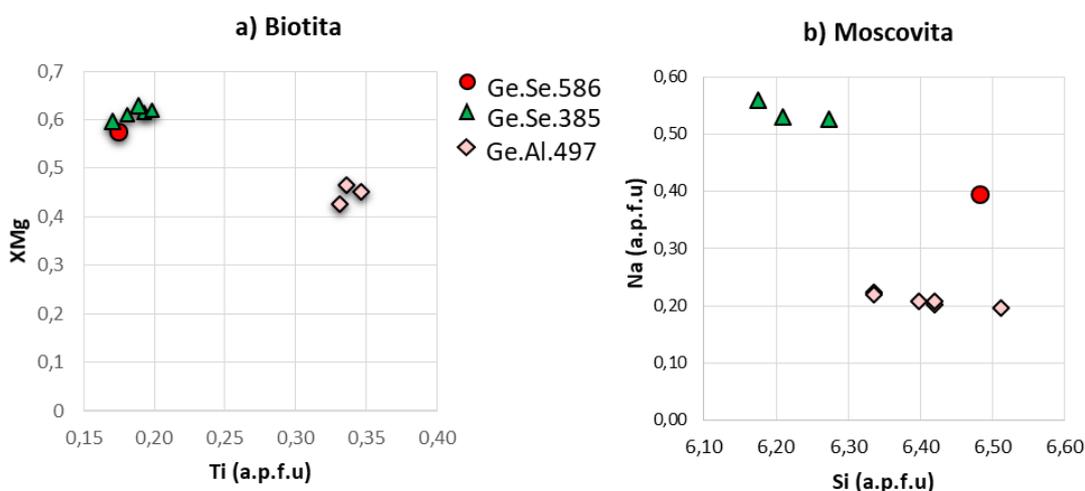
Com base nos dados obtidos através da análise pela microsonda eletrônica e os cálculos de fórmula estrutural dos minerais, foi possível observar que os grãos de granada são, ricos no componente almandina (>57 mol%) (Tabela 2). Também foi possível detectar que, em todas as amostras estudadas, os núcleos dos porfiroblastos de granada apresentam uma concentração maior em Ca em relação a Mg (Figura 6b, d e f). Os valores para  $X_{Ca}$  nos núcleos chegam a 0,247 na amostra Ge.Al.497 e está associado a 0,029 de  $X_{Mg}$  (Figura 6f). Nas bordas das granadas analisadas, por outro lado, observa-se uma inversão, onde é identificado um aumento em  $X_{Mg}$  (máx: 0,177 na amostra Ge.Se.385) e um empobrecimento de  $X_{Ca}$  (mín: 0,083 na amostra Ge.Se.385).

Entretanto, apesar da composição destes grãos apresentarem o mesmo comportamento químico-mineralógico, há diferenças marcantes para os grãos de cada amostra. Nas amostras Ge.Se.586 (zona da granada) e Ge.Se.385 (zona da cianita), nas bordas das granadas há um enriquecimento suficientemente alto do conteúdo de  $X_{Mg}$  que ultrapassa o teor de  $X_{Ca}$  (Tabela 2 e Figuras 6b e d). Contudo o mesmo não acontece na amostra Ge.Al.497 (zona da silimanita), onde os teores de  $X_{Mg}$  não superam os conteúdos de  $X_{Ca}$  (Tabela 2 e Figura 6f).

Para as palhetas de biotita, os resultados obtidos mostram um conteúdo de Ti (a.p.f.u) maior que 0,330 para a amostra Ge.Al.497 e uma variação de 0,171 - 0,199 para as amostras Ge.Se.385 e Ge.Se.586 (Figura 7a; Tabela 3). Também foi identificada uma diferença nas frações  $X_{Mg}$  dessas amostras, nas quais, para as palhetas de biotita das amostras da zona da silimanita (Ge.Al.497) obteve-se valores menores ou iguais a 0,465, enquanto que, para as amostras das demais zonas os valores foram superiores a 0,573. Para as três amostras, os resultados obtidos das palhetas de moscovita apresentaram conteúdo de Si (a.p.f.u) maiores que 6,176 (Figura 7b; Tabela 3). Entretanto, observa-se uma grande diferença no conteúdo de Na (a.p.f.u), para estas amostras. Para a amostra Ge.Se.586, o conteúdo quantificado foi igual a 0,395 (a.p.f.u); para a amostra Ge.Se.385, menor que 0,524 e; para a amostra Ge.Al.497, menor ou igual a 0,224. Ressalta-se que todas essas análises foram realizadas nas palhetas de filossilicatos sin-D<sub>2</sub>.



**Figura 6.** Seções polidas analisadas [(A) Ge.Se.586, (C) Ge.Se.385 e (E) Ge.Al.497] e variação composicional de  $X_{Ca}$  e  $X_{Mg}$  nos porfiroblastos de granada [(B) Ge.Se.586, (D) Ge.Se.385 e (F) Ge.Al.497], obtidos através da microsonda eletrônica. Abreviações segundo Whitney e Evans (2010).



**Figura 7.** (a) Relação  $X_{Mg}$  x Ti (a.p.f.u) para as palhetas de biotita das amostras das diferentes zonas. (b) Relação Na (a.p.f.u) x Si (a.p.f.u) para as palhetas de moscovita das amostras analisadas.

### Pseudoseções P-T

Os cálculos para as pseudoseções foram realizados a partir dos resultados das análises química de rocha total (Tabela 4), para um sistema MnO-Na<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> (MnNCKFMASHT). Para cada amostra foram gerados os grids petrogenéticos tomando como base a composição química das rochas em wt% (Tabela 3 e Figuras 8, 9 e 10). Para as três amostras analisadas foi considerada uma quantidade de água estimada de 2,00%, baseado na porcentagem modal, aproximada, dos minerais hidratados. Os limites de T e P para os *grids* das três amostras foram fundamentados nas condições estimadas para as respectivas zonas metamórficas de cada amostra, além das composições molares de Mg e Ca das granadas analisadas.

Para a amostra da zona da granada (Ge.Se.586), os resultados obtidos mostraram uma concentração de pequenos campos de associações minerais em baixas temperaturas e pressões variáveis aliados a campos maiores espaçados com temperaturas acima 350°C (Figura 8). A ocorrência da granada é constatada a partir de temperaturas baixas (300°C), até temperaturas elevadas, com pressões acima de 0,3GPa. A clorita aparece estável em temperaturas inferiores a 500-550°, liberando H<sub>2</sub>O para o sistema, quando desestabilizada em temperaturas superiores. A presença do rutilo é marcada em pressões acima de 0,8GPa, onde abaixo dessa pressão o mineral de titânio correspondente é a ilmenita. A estauroлита é identificada em pequenos campos alongados em temperaturas acima de 525°C. Para a pseudoseção calculada, a presença de migmatização é dada a partir de temperaturas superiores a 600°C em pressões acima de 0,9GPa. O campo de estabilidade de pico metamórfico para esta amostra é marcado pela paragênese Biotita + Plagioclásio + Moscovita + Granada + Quartzo + Rutilo + H<sub>2</sub>O (BtPIMsGrTzRtH<sub>2</sub>O), limitado por uma faixa de temperatura de 550-650°C e um intervalo de pressão de 0,7-1,3GPa (Figura 8, campo lilás).

Os resultados obtidos para a amostra Ge.Se.385, zona da cianita, mostraram uma quantidade maior de campos maiores em temperaturas e pressões variáveis e poucos campos pequenos alongados concentrados entre temperaturas de 625-750°C (Figura 9). A granada é identificada a partir de 400°C até o limite de 750°C e em pressões acima de 0,1GPa. A ocorrência de cianita é marcada a partir de 0,7GPa em temperaturas superiores a 625°C. A

andaluzita é limitada até temperaturas de 550°C e 0,3GPa de pressão. A silimanita ocorre nos campos a partir de temperaturas acima de 600°C e pressões maiores que 0,4GPa. A presença de rutilo é evidenciada, aproximadamente, a partir de 0,7GPa. O Opx aparece estável em temperaturas acima de 600°C em pressões de até 0,4GPa. A presença de *melt* é evidenciada a partir da curva com temperaturas de 650°C para pressões elevadas e, 750°C para pressão inferiores a 0,3GPa. A paragênese identificada que marca a estabilidade de pico metamórfico dessa amostra é sinalizada pelo campo Biotita + Plagioclásio + Granada + Cianita + Quartzo + Rutilo + H<sub>2</sub>O (BtPlGrtKyQzRtH<sub>2</sub>O) (campo 17; Figura 9) que é limitado por um intervalo de temperatura e pressão de ≈645-675°C e ≈0,7-0,9GPa.

O *grid* petrogenético gerado para a amostra da zona da silimanita (Ge.Al.497) apresentou uma grande quantidade de pequenos campos concentrados em temperaturas inferiores a 700°C e pressões variáveis e campos mais desenvolvidos, espaçados (Figura 10). A presença da granada é iniciada a partir de 500°C e ≈0,1GPa. O rutilo ocorre nos campos com pressões acima de 1,0GPa. A junção tríplice dos aluminossilicatos é identificada em ≈550°C e ≈0,3GPa, no entanto, no grid a cianita passa ocorrer apenas a partir de temperaturas superiores a 650°C e pressões >0,7GPa. No caso do Opx, este mineral passa a ocorrer em temperaturas acima de 650°C e pressões até ≈0,6GPa. Para esta amostra, o *melt* está presente em temperaturas variáveis em diferentes pressões. A temperatura mais baixa para formação do *melt* é de ≈600°C entre 1,2-1,6GPa, chegando a ser superiores, acima de 700°C em pressões >1,6GPa e <0,4GPa. Para esta amostra, o campo de estabilidade de pico metamórfico é identificado por Biotita + Plagioclásio + Moscovita + Granada + Quartzo + Rutilo + H<sub>2</sub>O (BtPlMsGrtQzRtH<sub>2</sub>O), limitado pelo intervalo de temperatura e pressão de ≈600-675°C e ≈0,95-1,2GPa (Figura 10, campo lilás).

Amostra	Ge.Se.586										Ge.Se.385		Ge.Al.497									
	Borda		Núcleo						Borda		Núcleo	Borda	Borda		Núcleo						Borda	
Nº Análise	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	1	2	111	112	113	114	115	116	117	118	119	
SiO <sub>2</sub>	38,50	36,94	38,00	37,77	37,86	37,43	37,57	38,00	38,29	37,32	37,31	41,15	35,60	36,33	36,15	35,98	36,09	39,31	35,90	35,50	36,56	
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,21	0,11	0,27	0,26	0,13	0,27	0,03	0,18	0,00	0,00	0,00	0,11	0,02	0,34	0,16	0,28	0,00	0,06	0,00	0,00	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,14	19,28	19,56	19,63	19,60	19,16	18,95	20,00	19,73	19,52	20,45	20,15	18,17	18,56	18,18	18,34	18,29	18,55	18,69	18,25	18,49	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,11	0,21	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,07	0,10	0,01	0,00	0,03	0,00	0,05	0,08	0,00	
FeOtot	33,74	33,92	31,61	29,51	28,48	29,84	30,95	33,66	33,63	32,93	32,04	31,13	30,59	28,51	26,17	25,99	26,37	27,35	29,25	33,35	32,56	
MnO	0,18	1,74	3,06	4,92	5,66	5,51	3,39	2,30	1,10	0,27	2,75	1,01	2,90	4,74	5,97	6,87	6,71	5,52	4,27	1,46	0,54	
MgO	3,15	1,89	1,17	1,08	0,94	1,00	1,23	1,57	1,98	2,78	2,87	4,41	1,01	0,84	0,68	0,69	0,63	0,77	1,04	1,41	2,42	
NiO	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,04	0,00	0,00	0,06	0,05	
CaO	4,02	4,29	6,44	7,01	6,51	6,75	6,26	5,56	5,61	5,28	4,30	2,88	7,34	7,80	8,17	8,02	8,07	7,66	7,75	6,69	5,91	
Total	99,73	98,26	100,09	100,39	99,40	99,82	98,63	101,13	100,53	98,13	99,73	100,72	95,78	96,90	95,72	96,06	96,51	99,16	97,00	96,79	96,54	
Si	3,08	3,05	3,07	3,04	3,07	3,05	3,08	3,04	3,07	3,05	3,00	3,19	3,03	3,05	3,06	3,04	3,04	3,18	3,01	3,00	3,06	
Ti	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	
Al	1,90	1,87	1,86	1,87	1,87	1,84	1,83	1,89	1,86	1,88	1,94	1,85	1,82	1,83	1,81	1,83	1,82	1,77	1,85	1,82	1,82	
Cr	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
Fe <sup>3+</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fe <sup>2+</sup>	2,26	2,34	2,13	1,99	1,93	2,03	2,12	2,26	2,25	2,25	2,11	2,06	2,18	2,00	1,85	1,84	1,86	1,85	2,05	2,36	2,28	
Mn	0,01	0,12	0,21	0,34	0,39	0,38	0,24	0,16	0,07	0,02	0,19	0,07	0,21	0,34	0,43	0,49	0,48	0,38	0,30	0,10	0,04	
Mg	0,38	0,23	0,14	0,13	0,11	0,12	0,15	0,19	0,24	0,34	0,34	0,51	0,13	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,13	0,18	0,30	
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ca	0,34	0,38	0,56	0,61	0,57	0,59	0,55	0,48	0,48	0,46	0,37	0,24	0,67	0,70	0,74	0,73	0,73	0,66	0,70	0,61	0,53	
X <sub>Fe</sub>	0,75	0,76	0,70	0,64	0,64	0,64	0,69	0,73	0,73	0,73	0,70	0,72	0,67	0,62	0,58	0,57	0,57	0,61	0,63	0,71	0,71	
X <sub>Mg</sub>	0,00	0,04	0,07	0,11	0,13	0,13	0,08	0,05	0,02	0,01	0,06	0,02	0,07	0,11	0,14	0,16	0,16	0,13	0,10	0,03	0,01	
X <sub>Mn</sub>	0,13	0,08	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,11	0,11	0,18	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,10	
X <sub>Ca</sub>	0,12	0,13	0,19	0,20	0,19	0,19	0,18	0,16	0,16	0,15	0,12	0,08	0,22	0,23	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,20	0,18	

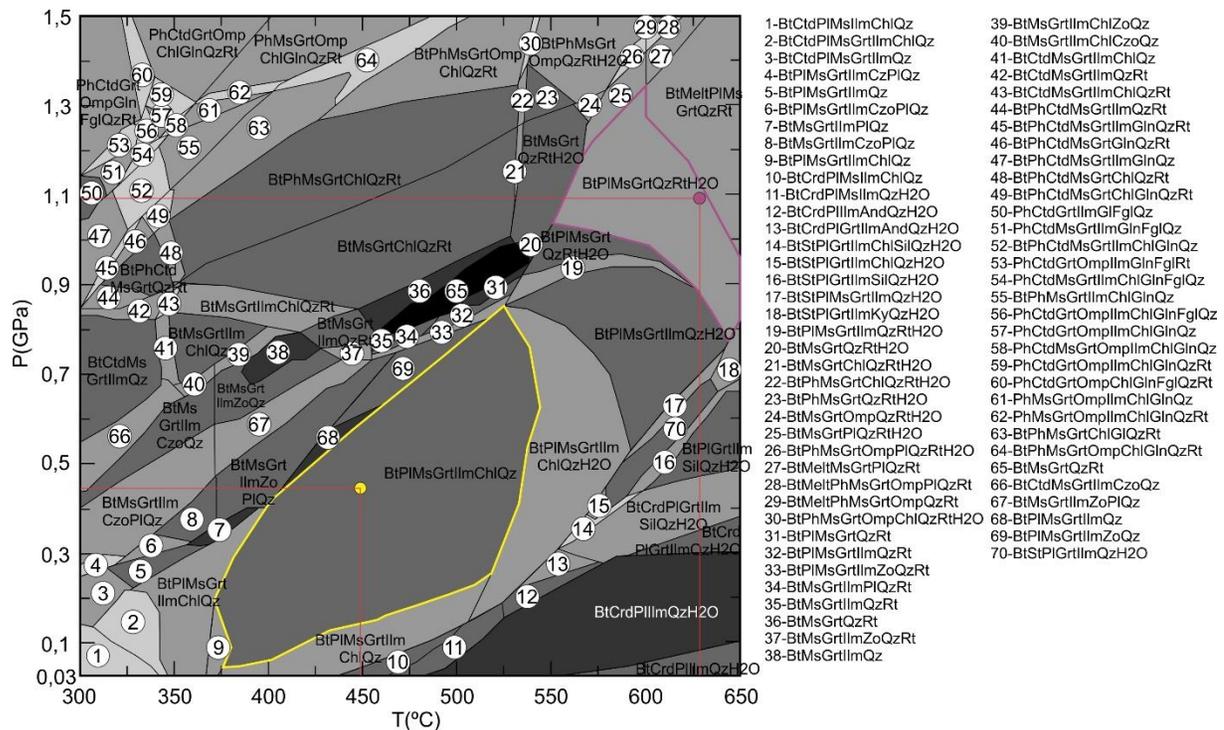
**Tabela 2.** Resultados das análises químicas minerais das amostras Ge.Se.586, Ge.Se.385 e Ge.Al.497, para os porfiroblastos de granada. Fórmula estrutural da granada calculada para 12 Oxigênios.

Amostra	Ge.Se.586		Ge.Se.385								Ge.Al.497								
	Moscovita	Biotita	Moscovita			Biotita					Moscovita						Biotita		
Nº Análise	79	72	5	17	21	3	8	9	10	20	108	109	120	121	143	144	105	106	142
SiO <sub>2</sub>	47,23	38,28	46,366	46,872	47,052	37,126	36,13	37,602	39,641	37,918	44,08	42,11	44,57	45,04	45,65	45,46	34,08	34,22	34,75
TiO <sub>2</sub>	0,54	1,58	0,184	0,509	0,506	1,549	1,743	1,664	1,927	1,752	0,71	1,05	1,11	0,88	0,60	0,96	2,91	2,80	2,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,49	17,16	35,486	33,982	35,477	18,479	18,495	19,039	20,12	19,477	30,21	29,16	31,15	30,35	30,02	30,96	17,16	17,30	17,47
FeOtot	1,51	16,34	0,902	1,008	0,907	15,748	16,071	14,931	14,971	14,093	1,29	1,41	1,21	1,27	1,24	1,09	19,55	20,71	18,76
MnO	0,00	0,02	0	0,037	0,039	0	0,017	0,004	0,059	0,018	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05
MgO	1,38	12,35	0,824	0,936	0,755	12,96	14,39	13,108	13,635	13,268	0,89	0,83	0,83	1,05	1,14	0,87	9,01	8,60	9,16
CaO	0,02	0,01	0,023	0,007	0	0	0	0,017	0,036	0,041	0,04	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00
Na <sub>2</sub> O	1,48	0,17	2,159	2,02	2,069	0,364	0,26	0,275	0,27	0,276	0,74	0,77	0,80	0,73	0,71	0,76	0,15	0,10	0,08
K <sub>2</sub> O	7,06	7,01	8,329	8,693	8,111	8,912	7,943	9,002	8,639	8,95	8,87	8,77	8,99	9,08	8,30	8,92	8,27	8,56	8,47
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,035	0,099	0,182	0,186	0,254	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,25	0,23
H <sub>2</sub> O*	4,37	3,95	4,50	4,48	4,54	4,063	4,026	4,048	4,270	4,044	4,13	3,99	4,22	4,21	4,20	4,25	3,69	3,68	3,72
Total	95,08	97,09	98,77	98,54	99,46	99,236	99,174	99,872	103,754	100,091	90,95	88,13	92,87	92,61	91,89	93,28	95,00	96,21	95,54
Si	6,48	5,65	6,18	6,27	6,21	5,445	5,319	5,445	5,446	5,446	6,40	6,34	6,33	6,42	6,51	6,42	5,41	5,39	5,44
Al <sup>IV</sup>	1,52	2,35	1,82	1,73	1,79	2,555	2,681	2,555	2,554	2,554	1,60	1,66	1,67	1,58	1,49	1,58	2,59	2,61	2,56
Fe <sup>3+</sup>																			
Ti	0,06	0,18	0,018	0,051	0,050	0,171	0,193	0,181	0,199	0,189	0,08	0,12	0,12	0,09	0,06	0,10	0,35	0,33	0,34
Al <sup>VI</sup>	3,58	0,64	3,748	3,635	3,729	0,640	0,528	0,695	0,704	0,743	3,57	3,51	3,55	3,52	3,56	3,57	0,62	0,61	0,67
Fe <sup>2+</sup>	0,17	2,02	0,100	0,113	0,100	1,932	1,979	1,808	1,720	1,693	0,16	0,18	0,14	0,15	0,15	0,13	2,60	2,73	2,46
Mn	0,00	0,00	0,000	0,004	0,004	0,000	0,002	0,000	0,007	0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Mg	0,28	2,72	0,164	0,187	0,149	2,834	3,158	2,830	2,793	2,841	0,19	0,19	0,18	0,22	0,24	0,18	2,13	2,02	2,14
Ba	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,00	0,00	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,005	0,006	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,39	0,05	0,558	0,524	0,529	0,104	0,074	0,077	0,072	0,077	0,21	0,22	0,22	0,20	0,20	0,21	0,05	0,03	0,02
K	1,24	1,32	1,415	1,484	1,365	1,667	1,491	1,663	1,514	1,640	1,64	1,68	1,63	1,65	1,51	1,61	1,67	1,72	1,69
F	0,00	0,11	0,000	0,000	0,000	0,016	0,046	0,083	0,081	0,115	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,12	0,11
OH	4,00	3,89	4,00	4,00	4,00	3,975	3,953	3,911	3,914	3,874	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,90	3,87	3,88

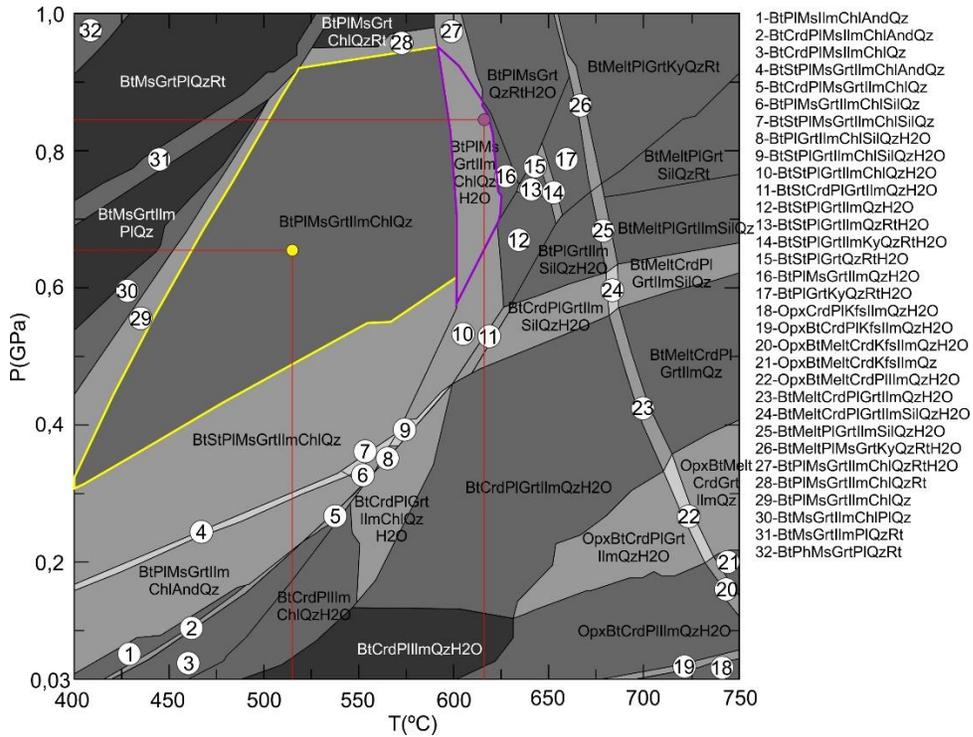
**Tabela 3.** Resultados das análises químicas para moscovita (Ms) e biotita (Bt), nas amostras Ge.Se.586, Ge.Se.385 e Ge.Al.497. Fórmula estrutural calculada para 24 Oxigênios.

Amostras	Zona da Grt	Zona da Ky	Zona da Sil
	Ge.Se.586	Ge.Se.385	Ge.Al.497
SiO <sub>2</sub>	68,5	61,8	76,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,3	16,7	11,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,31	7,97	4,62
CaO	0,9	1,34	1,13
MgO	2,62	3,71	1,29
TiO <sub>2</sub>	0,92	0,85	0,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,194	0,053	0,131
Na <sub>2</sub> O	1,6	2,32	1,79
K <sub>2</sub> O	2,74	2,6	2,18
MnO	0,15	0,13	0,08
<b>Total</b>	<b>99,234</b>	<b>97,473</b>	<b>100,191</b>

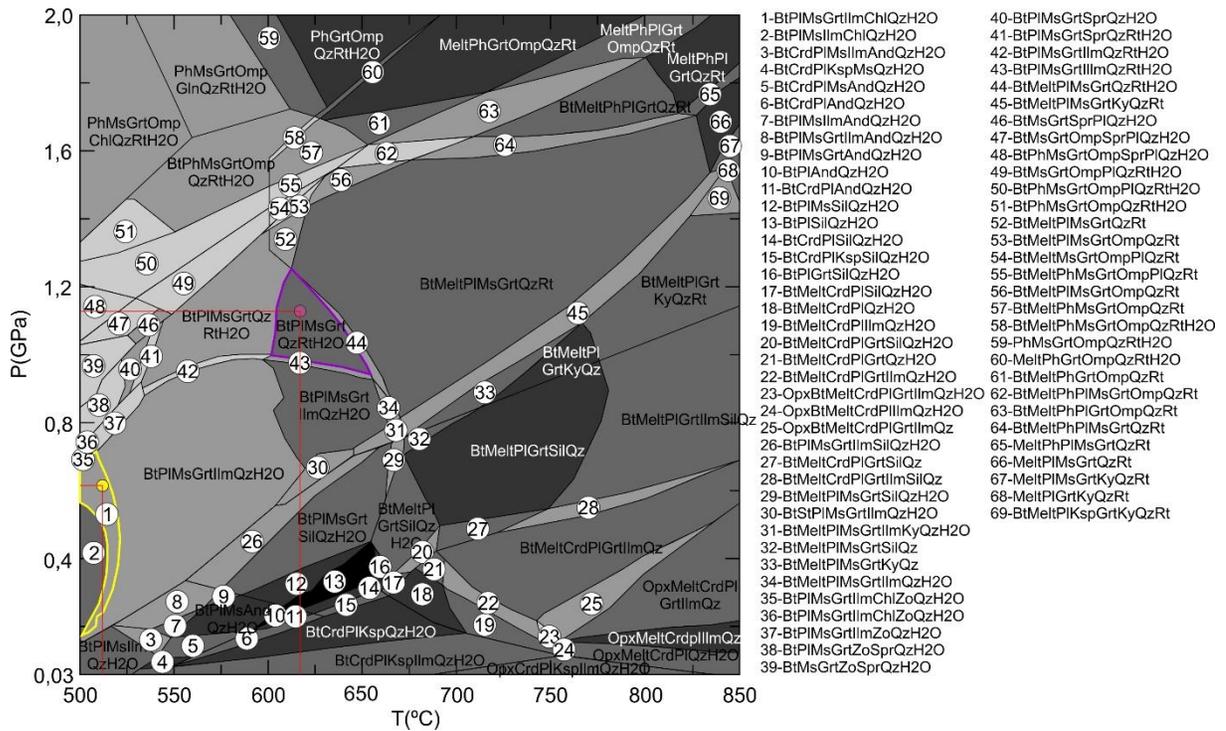
**Tabela 4.** Resultados da análise química de rocha total das amostras estudadas através do método fluorescência de raio-X.



**Figura 8.** Pseudoseção P-T para a amostra Ge.Se.586 (zona da granada). As abreviações dos minerais se referem a: And= andaluzita; Bt= biotita; Chl= clorita; Czo= clinozoisita; Crd= cordierita; Ctd= cloritóide; Gln= Glaucofana; Grt= granada; H2O= água; Ilm= ilmenita; Ky= cianita; Melt= líquido migmatítico; Ms= moscovita; Omp= onfacita; Ph= phengita; Pl= plagioclásio; Qz= quartzo; Rt= rutilo; Sil= silimanita; St= estauroлита; Zo= zoisita; O campo e o círculo amarelo refere-se às condições calculadas para o núcleo da granada; e na cor lilás, as condições para a borda da granada.



**Figura 9.** Pseudoseção P-T para a amostra Ge.Se.385 (zona da cianita). As abreviações se referem aos mesmos minerais citados na figura 9, somando-se Opx= ortopiroxênio. O campo e o círculo amarelo refere-se às condições calculadas para o núcleo da granada; e na cor lilás, as condições para a borda da granada.



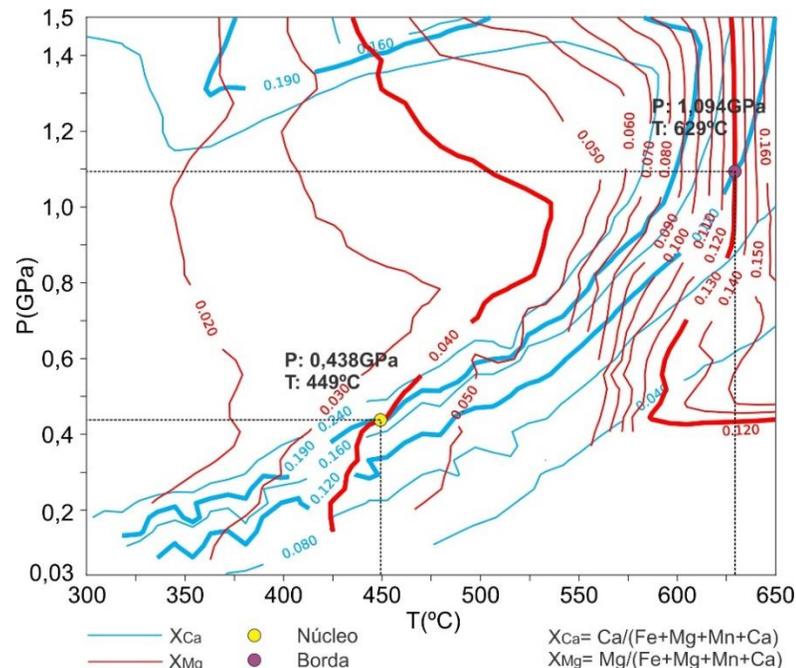
**Figura 10.** Pseudoseção P-T para a amostra Ge.Se.497 (zona da silimanita). As abreviações se referem aos mesmos minerais citados nas figuras 8 e 9, somando-se Ksp= K-feldspato. O campo e o círculo amarelo refere-se às condições calculadas para o núcleo da granada; e na cor lilás, as condições para a borda da granada.

### Determinação das condições P-T

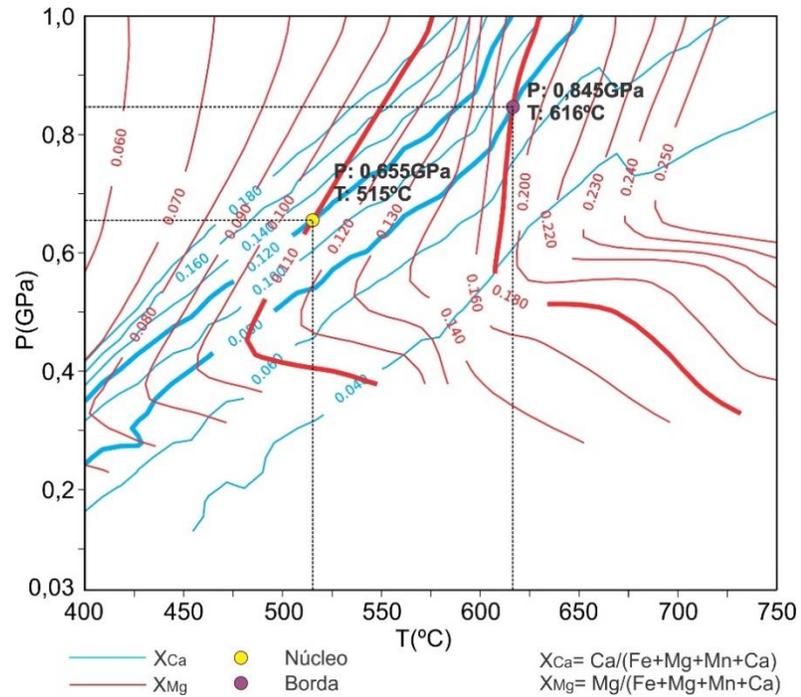
Para delimitar com mais exatidão as condições de temperatura e pressão das amostras analisadas, foram utilizadas as variações  $X_{Ca}$  e  $X_{Mg}$  do centro para a borda dos cristais de granada. Para o cristal de granada analisado da amostra Ge.Se.586, identificou-se que as frações molares de Mg são bons marcadores da variação de temperatura, tornando-se mais sensíveis em temperaturas superiores a 500°C (Figura 11). Quanto à fração molar de Ca, os resultados mostram que em baixas temperaturas e em pressões inferiores a 0,8GPa, se trata de um bom geobarômetro, mas em temperaturas acima de 550°C, há um aumento significativo da inclinação das curvas, inibindo este caráter. O núcleo dessa granada apresenta 0,04 de  $X_{Mg}$  e 0,19 de  $X_{Ca}$ , e a borda de 0,13 de  $X_{Mg}$  e 0,12 de  $X_{Ca}$ . As interseções destes valores apontaram temperaturas e pressões de 449°C e 0,438GPa para o núcleo e, 629°C e 1,094GPa para a borda.

Os resultados da variação molar de Mg para a granada da amostra Ge.Se.385 exibiram uma boa relação com a variação de temperatura para pressões acima de 0,4GPa (Figura 12). Semelhantemente a variação de  $X_{Ca}$  marcou também um comportamento bastante associado com a pressão. Para esta amostra, o núcleo da granada é marcado por valores de 0,11 de  $X_{Mg}$  e 0,12 de  $X_{Ca}$  e borda com 0,18 de  $X_{Mg}$  e 0,08 de  $X_{Ca}$ . A interseção destes valores para o núcleo e borda indicaram, respectivamente, temperaturas e pressões de 515°C – 0,655GPa e 616°C – 0,845GPa.

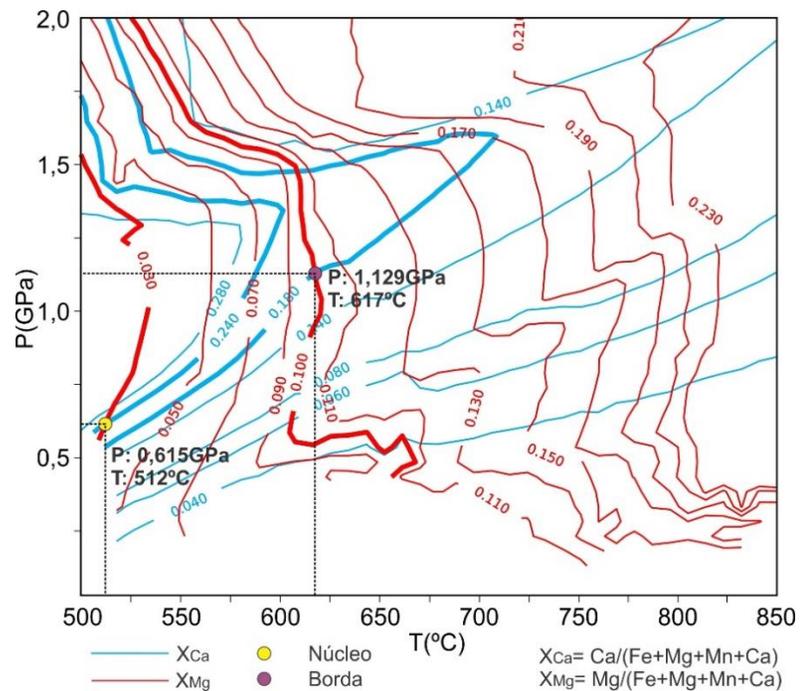
Para a amostra Ge.Al.497, os resultados obtidos também evidenciaram o caráter geotermométrico para a variação de  $X_{Mg}$  e geobarométrico para  $X_{Ca}$  (Figura 13). A interseção dos valores do núcleo de  $X_{Mg}$  (0,08) e  $X_{Ca}$  (0,24) apontaram para condições de T-P de 512°C e 0,615GPa. Para a borda, a junção das curvas 0,10 de  $X_{Mg}$  e 0,18 de  $X_{Ca}$  assinalaram temperatura de 617°C e pressão de 1,129GPa.



**Figura 11.** Isopletrias de  $X_{Mg}$  e  $X_{Ca}$  plotadas na pseudoseção para a granada da amostra Ge.Se.586 (zona da granada). Pseudoseção modelada com base na composição da rocha, tabela 3. O círculo amarelo corresponde a interseção dos valores de  $X_{Ca}$  e  $X_{Mg}$  identificados para o núcleo da granada e o círculo lilás, da borda.



**Figura 12.** Isopletas de  $X_{Mg}$  e  $X_{Ca}$  plotadas na pseudoseção para a granada da amostra Ge.Se.385 (zona da cianita). Pseudoseção modelada com base na composição da rocha, tabela 3. O círculo amarelo corresponde à interseção dos valores de  $X_{Ca}$  e  $X_{Mg}$  identificados para o núcleo da granada e o círculo lilás, da borda.



**Figura 13.** Isopletas de  $X_{Mg}$  e  $X_{Ca}$  plotadas na pseudoseção para a granada da amostra Ge.Al.497 (zona da silimanita). Pseudoseção modelada com base na composição da rocha, tabela 3. O círculo amarelo corresponde à interseção dos valores de  $X_{Ca}$  e  $X_{Mg}$  identificados para o núcleo da granada e o círculo lilás, da borda.

## 8. DISCUSSÕES

De acordo com os resultados apresentados com as pseudoseções, somado aos resultados obtidos na petrografia, a determinação de P-T a partir das isopleias das granadas evidenciou que as rochas metapelíticas do DM foram submetidas a um metamorfismo regional progressivo, o qual, o primeiro evento M1 foi o responsável por gerar as condições calculadas a partir do centro dos cristais de granada, e que a progressão reequilibrou as condições de T por todo o terreno, evidenciado pelas condições calculadas para as bordas da granada, no evento M2. As condições identificadas para este último evento mostraram que as rochas foram submetidas a pressões em uma faixa de transição do metamorfismo barrowiano (pressões intermediárias) para o metamorfismo do tipo Sanbagawa (alta pressão). A presença de rutilo, mineral índice de HP (*High Pressure*) em rochas metapelíticas do metamorfismo tipo barrowiano (Weller et al., 2013), nas amostras estudadas, atesta, com base nos grids elaborados que estas rochas atingiram condições de alta pressão (Figura 14).

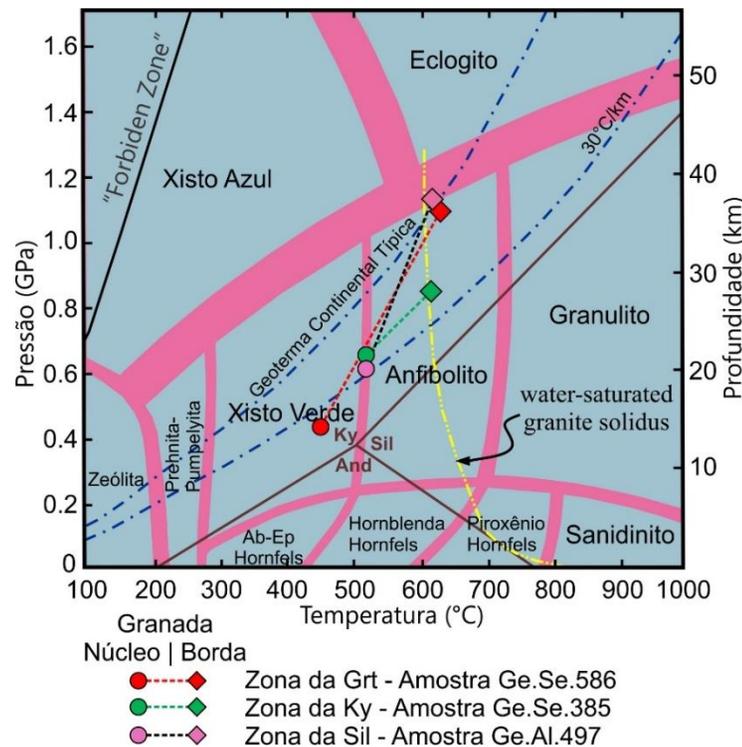
Apesar dos cristais de granada analisados serem caracterizados como sin-D<sub>2</sub>, os dados da química mineral aliados com as determinações de P-T, mostram que, possivelmente, o evento M2 recrystalizou os cristais de granada do evento M1, preservando as condições de formação do núcleo.

Para a amostra da zona da granada (Ge.Se.586) a presença de plaquetas e gotículas de ilmenita inclusas no centro dos cristais de granada evidenciam que o núcleo deste mineral era estável com o óxido de ferro e titânio e que se tornou instável no evento M2, durante D<sub>2</sub>, participando da reação de recrystalização dos porfiroblastos de granada e na formação de rutilo. A pseudoseção para esta amostra evidencia que para as condições do núcleo da granada, o campo da paragênese estável apresenta ilmenita e clorita (campo amarelo; Figura 8), mas nas condições da borda da granada o campo representado mostra que estes minerais são ausentes (campo lilás).

A amostra da zona da cianita (Ge.Se.385), também é marcada por dois campos de estabilidade a partir das condições determinadas pelo núcleo e borda da granada, no entanto, com somente dois pontos analisados da granada, não foi possível interceptar a paragênese de pico metamórfico identificada na lâmina (campo 17; Figura 9). Nesta amostra é observada a presença de prismas de cianita pré-D<sub>2</sub> e a reação de desestabilização da estauroлита (campo 14; Figura 9) para a cianita e biotita sin-D<sub>2</sub> (campo 17; Figura 9).

Para a amostra da zona da silimanita (Ge.Al.497), assim como as demais, dois campos de estabilização foram determinados a partir das frações molares do núcleo e borda da granada (campos amarelo e lilás; Figura 10). O campo de estabilidade a partir do núcleo é marcado pela presença de clorita e ilmenita que se tornam instáveis, com a clorita participando da recrystalização da granada, liberando água e a ilmenita passando para rutilo liberando Fe<sup>3+</sup> para o sistema, no campo de estabilidade marcado pela borda da granada. Observa-se, portanto, que no campo de pico metamórfico identificado na pseudoseção desta amostra não há presença de silimanita. No entanto, a ausência deste mineral neste campo de estabilidade, não exclui a existência dele na rocha. Possivelmente, a trajetória metamórfica tenha interceptado o campo de estabilização da silimanita (campos 26, 12 e BtPIMsGrtQzSilH<sub>2</sub>O; Figura 10) e, posteriormente, tenha atingindo o pico que é determinado pela borda da granada no campo lilás (BtPIMsGrtQzRtH<sub>2</sub>O).

Ao considerar os dados obtidos para as condições de P-T para as três amostras, observa-se que existe uma grande diferença do centro da granada da amostra Ge.Se.586 para as outras amostras. Para esta amostra, o núcleo da granada indicou condições de formação de fácies xisto verde (449°C - 0,438GPa) (Figura 11). Para as demais amostras, as condições indicadas para o núcleo das respectivas granadas, indicaram condições de fácies anfibolito (>500°C e >0,6GPa) (Figuras 12 e 13). Estes dados confirmam que há um aumento das condições de T e P de sul para norte no DM e que este aumento é marcado nas diferentes zonas metamórficas. Ao considerar os resultados obtidos para as bordas, percebe-se que há um re-reequilíbrio para a temperatura. Para as três amostras, as composições das bordas da granada indicaram temperaturas entre 615°- 630°C (condições de fácies anfibolito). Neste caso, podemos observar que as condições calculadas a partir das bordas da granada indicam uma estabilidade de temperatura para as rochas metapelíticas do DM, a partir das três amostras, das diferentes zonas metamórficas. Quanto a pressão, os resultados obtidos indicaram valores acima de 1GPa para as amostras Ge.Se.586 e Ge.Al.497, e de 0,845GPa para a amostra Ge.Se.385. Para esta última amostra, os mais baixos conteúdos de Si (a.p.f.u) das palhetas de moscovita analisadas, reafirmam condições de P, inferiores as demais amostras.

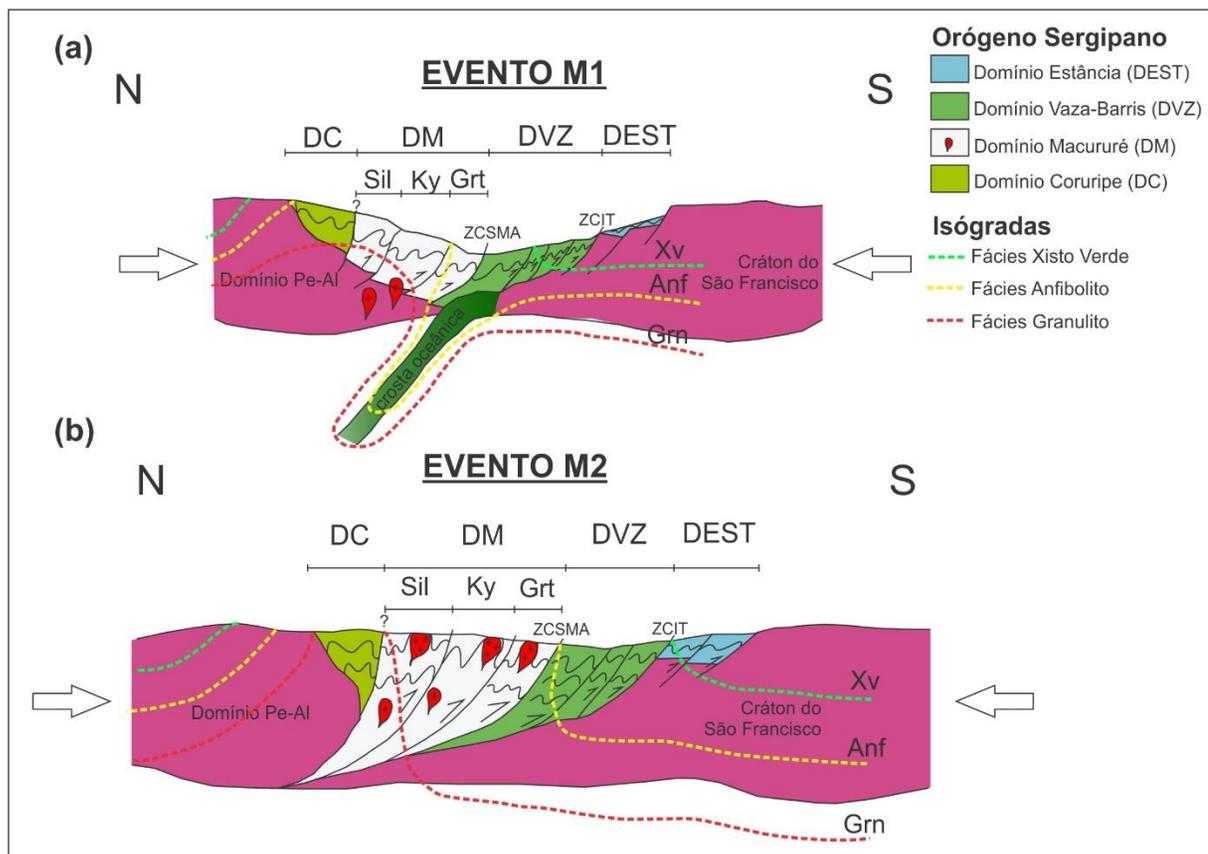


**Figura 14.** Diagrama de fácies metamórficas, evidenciando a trajetória metamórfica para as três amostras estudadas, alcançando condições até a zona de transição de um metamorfismo regional para um metamorfismo de High Pressure (Modificado de Winter, 2000). Ab: albita; Ep: epidoto; Ky: cianita; And: andaluzita; Sil: silimanita.

Apesar dos dados obtidos mostrarem que o evento M2 estabilizou em condições de temperatura próximas ao longo das três zonas, não se deve desconsiderar a zoneografia metamórfica proposta pelos trabalhos anteriores (Silva, 1992; Silva et al., 1995; Vaz Guedes, 2016; Vaz Guedes et al., 2017), pois o último evento metamórfico ocorrido consiste da fase final do metamorfismo progressivo (Figura 14). No caso da amostra Ge.Se.586 (zona da granada), a

explicação para falta de blastese de minerais índices, para indicar condições de fácies anfibolito, possivelmente estaria associada à baixa taxa de nucleação, crescimento mineral e difusividade, este último relacionado a participação de pouca H<sub>2</sub>O no sistema ou até mesmo pela composição do protólito.

Ao se comparar estes resultados obtidos com os estudos geocronológicos/evolução deformacional dos granitos, elaborados por Bueno et al. (2009), pode-se observar as seguintes implicações: o primeiro evento metamórfico M1 ocorreu durante a primeira fase deformacional D<sub>1</sub> (Figura 14), o qual é marcado pela geração dos núcleos das granadas analisadas; o segundo evento metamórfico M2 ocorreu concomitantemente ao evento deformacional D<sub>2</sub> (Figura 15), o qual, além de ser o responsável pela geração dos plútons de idades 628 – 571Ma (idades U-Pb SHRIMP), desenvolveu as condições mais elevadas de P-T nas bordas das granadas analisadas. Portanto, observa-se que o último evento deformacional D<sub>2</sub> aliado com o calor dos plútons graníticos foram os responsáveis pelo pico metamórfico ao longo de todo o terreno do DM. Um estudo geocronológico desenvolvido por Oliveira et al. (2005a) a partir de isócrona de Sm-Nd de um granada-micaxisto mostrou idade de 570Ma, muito próxima do pico metamórfico marcado pelos granitos (571Ma).



**Figura 15.** Modelo esquemático dos eventos metamórfico M1(a) e M2(b) para as rochas do Domínio Macururé. As siglas da figura se referem a: Xv= isógrada da fácies xisto verde; Anf= isógrada da fácies anfibolito; Grn= isógrada da fácies granulito; ZCSMA= Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo; ZCIT= Zona de Cisalhamento Itaporanga; Sil= Zona da Silimanita; Ky= Zona da Cianita; Grt= Zona da Granada.

A ocorrência de estauroлита em um ponto localizado no extremo sul da zona da granada, próximo à cidade de Carira-SE (Ge.Se.573), corrobora com a ideia que todo o terreno do DM foi reequilibrado, atingindo condições de fácies anfíbolito durante o evento M2. Anteriormente, a sua presença era apenas justificada pelo metamorfismo de contato originado por uma intrusão granítica vizinha. No entanto, tudo indica que a ausência deste mineral ao redor de outras intrusões graníticas pode ser explicada, possivelmente, pela composição química das rochas (baixo teor de  $Al_2O_3$  e  $H_2O$ ) e/ou pela baixa difusividade dos elementos químicos durante o evento metamórfico.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos para as três amostras dos metapelitos da unidade  $NPm_1$  do DM, Orógeno Sergipano, selecionadas de cada zona metamórfica, pôde demonstrar que estas rochas experimentaram condições metamórficas da fácies anfíbolito durante a orogenia Brasileira. Apesar do último evento metamórfico (M2) ter equilibrado estas condições ao longo de todo o terreno, a progressão do primeiro evento (M1) até o M2, foi a responsável pelo desenvolvimento das zonas metamórficas barrowiana. Para a amostra Ge.Se.586, zona da granada, os resultados obtidos mostraram condições de fácies xisto verde para o núcleo da granada ( $449^\circ C - 0,438 GPa$ ) e fácies anfíbolito na borda ( $629^\circ C - 1,094 GPa$ ). Quanto a amostra Ge.Se.385, as condições identificadas, em ambas porções da granada, indicaram condições de fácies anfíbolito ( $515^\circ C - 0,655 GPa$  e  $616^\circ C - 0,845 GPa$ ). Para a amostra Ge.Al.497 os resultados obtidos, também para ambas porções da granada, sugerem condições de fácies anfíbolito, no entanto com pressão mais alta ( $512^\circ C - 0,615 GPa$  e  $617^\circ C - 1,129 GPa$ ). Estes resultados aludem para uma evolução de P-T progressiva, sem quebra metamórfica evidente. Os altos valores de pressão identificados para o último evento mostram que o metamorfismo barrowiano foi do tipo de *High Pressure* (Figura 14), marcado pela presença de rutilo nestas rochas metapelíticas.

Quanto aos eventos deformacionais, conclui-se que o pico metamórfico foi atingido na fase  $D_2$ , pois, através dos dados de campo, das análises petrográficas e químicas minerais, observa-se que a recristalização dos porfiroblastos de granada, bem como a variação de  $X_{Mg}$  e  $X_{Ca}$  nestes minerais, foram marcados por este evento.

Com base nos resultados obtidos e dos estudos realizados por Bueno et al. (2009) e Oliveira et al. (2005a), pode-se concluir que os plútons graníticos tiveram participação importante para estabilizar as condições de P-T ao longo de todo terreno DM, durante o evento M2. Esta afirmação, além de ser evidenciada pelos resultados aqui apresentados, é ratificada pela presença de estauroлита a partir do extremo sul zona da granada.

Quanto à existência de um evento metamórfico regressivo, não foi registrado tal evidência através dos estudos termobarométricos. No entanto, é observa-se, por vezes, a formação de clorita ao redor de porfiroblastos de granada em algumas amostras estudadas do Domínio Macururé.

Apesar de estudos anteriores indicarem que a porção norte do DM apresentasse condições de fácies granulito, os resultados obtidos aqui neste trabalho não ratificaram estas afirmações. No entanto, é possível que o correspondente domínio mais ao norte, Domínio Coruripe, seja uma extensão do DM metamorfoseado em condições de mais altas P-T, como visto a partir de minerais e assembleias índices (Cordierita+Silimanita) através de lâminas petrográficas do projeto Geoterm-SeAl.

Portanto, os resultados aqui apresentados contribuíram para o entendimento da evolução metamórfica do DM, bem como para o arcabouço tectônico do Orógeno Sergipano. Ainda assim, faz-se necessário um estudo mais amplo, abrangendo mais amostras, expandindo-se os limites da área estudada em direção a oeste, adentrando o estado da Bahia.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Dr<sup>a</sup> Jailma Souza, Dr. Moacyr Marinho e Dr<sup>a</sup> Ângela Leal pelo apoio e pelas orientações. Agradeço, também, ao Programa de Pós-Graduação de Geologia da UFBA pela oportunidade de desenvolver este trabalho, a CAPES pela bolsa de estudo e ao Projeto Geoterm Se-Al, coordenado pelo professor Roberto Argollo, por ter cedido os dados e financiado a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Bueno J.F., Oliveira. E.P. (2007). Age and structure of syncollisional granites in the Sergipano Belt and implications for the channel flow model. *11º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, Anais, 136-13. Natal: SGB.
- Bueno, J.F., Oliveira, E.P., McNaughton, N., Laux, J.H. (2009). U–Pb dating of granites in the Neoproterozoic Sergipano Belt, NE-Brazil: implications for the timing and duration of continental collision and extrusion tectonics in the Borborema Province. *Gondwana Research*, 15, 86–97.
- Bueno, J.F., Souza, J.J., Araújo, M.N.C., Oliveira, E.P. (2009b). Evolução tectono-cronológica da estrutura de interferência de Nossa Senhora de Lourdes, Faixa Sergipana, NE Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 9, 608–623.
- Connolly, J.A.D. (2005). Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Science Letters*, 236, 524–541.
- Davinson, I., Santos, R.A. dos. (1989). Tectonic evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. *Precambrian Research*, 45, 319-342.
- D’el-Rey Silva, L. J. H. (1992). Tectonic evolution of the southern part of the Sergipano Fold Belt, northeastern Brazil. Tese (PhD). University of London, England, Royal Holloway.

D'el-Rey Silva, L.J.H. (1995). Tectonic evolution of the Sergipano Belt, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25, 315-332.

D'el-Rey Silva, L.J.H. (1999). Basin infilling in the southerncentral part of the Segipano Belt (NE Brazil) and implications for the evolution of Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic sedimentary cover. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 453-470.

Holland, T.J.D., Powell, R. (1991). A compensated-Redlich-Kwong (CORK) equation for volumes and fugacities of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O in the range 1 bar to 50 kbar and 100°-1600°C. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 109, 265-273.

Holland, T.J.D., Powell, R. (1998). An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16, 309-343.

Humphrey, F.L., Allard, G.O. (1969). Geology of the Itabaiana Dome Area (Sergipe) and its bearing on the geology of the Propriá Geosyncline: a newly recognized tectonic element in the Brazilian Shield. Petrobrás, CENPES, Rio de Janeiro.

Jardim de Sá, E.F., Moraes, J.A.C., D'el-Rey Silva, L.J.H. (1986). Tectônica tangencial na Faixa Sergipana. Abstracts, *XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 3, 1246–1259. Goiânia: SBG.

Jardim de Sá, E.F., Macedo M.H.E., Fuck, R., Kawashita, K. (1992). Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 22, 472-480.

Massonne, H.-J. (2013). Constructing the pressure–temperature path of ultrahigh-pressure rocks. *Elements*, 9, 267–272.

Mendes, V. A., Brito, M. F. L. (2016). Geologia e recursos minerais da folha Arapiraca SC.24- X-D: escala 1:250.000: estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe / Vanildo Almeida Mendes e Maria de Fatima Lyra de Brito. – Recife: CPRM, 2016.

Mendonça, J.C.G. de Souza, Amorim, J.L. (1988). Mapa geológico da folha SC-24-X-D-V (Arapiraca -Alagoas). Anais, *XXXV Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 6, 2649-2660. Belém: SBG.

Oliveira, E.P., Carvalho, M.J., Nascimento, R.S., Araújo, M.N.C., Dantas, E., Basilici, G., Bueno, J.F., McNaughton, N. (2005). Evidence from detrital zircon geochronology and whole-rock Sm-Nd isotopes for off-craton provenance of clastic metasedimentary units of the Sergipano belt, NE Brazil. In: X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Boletim de Resumos Expandidos 308-311. Curitiba: SBG

Oliveira, E. P., Toteu, S. F., Araújo M. N. C., Carvalho M. J., Nascimento R. S., Bueno J. F., Mcnaughton N., Basilici, G. (2006). Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, Africa). *Journal of African Earth Science*, 4, 470-478.

Oliveira, E. P., Windley, B. F., Araújo, M. N. C. (2010). The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research*, 181, 64-84.

Oliveira E.P., Bueno J.F., McNaughton N.J., Silva Filho A.F., Nascimento R.S., Donatti-Filho J.P. (2015). Age, composition, and source of continental arc- and syn-collision granites of the Neoproterozoic Sergipano Belt, Southern Borborema Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 257-280.

Ramsay, J. G. (1967). *Folding and Fracturing of Rocks*. McGraw-Hill.

Santos, R. A., Martins, A. A. M., Neves, J. P., Leal, R. A. (1998). *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Sergipe*. CPRM/CODISE, Brasília.

Santos, E. J. dos, Brito Neves, B. B., Van Schmus, W. R., Oliveira, R. S.; Medeiros, V. C. (2000). An Overall View on the Displaced Terrane Arrangement of the Borborema province, NE .BRAZIL. Extended Abstract, *31<sup>o</sup> International Geological Congress*. CPRM, 1Cd ROOM. Rio de Janeiro: SBG.

Silva, J.M.R. (1992). *Evolução Tectono-Metamórfica de uma parte da Faixa Sul-Alagoana, Sistema de Dobramentos Sergipano – Nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.

Silva Filho, M. A., Brito Neves, B. B. (1979). O Sistema de dobramentos Sergipano no Nordeste da Bahia. *Geologia Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos*, 1, 203–217.

Silva Filho, M.A. (1977). *Geologia da Geossinclinal Sergipana e do seu embasamento*. Projeto Baixo São Francisco/ Vaza Barris, Relatório Final. Convênio DNPM/CPRM, v. 1.

Silva, J.M.R., Campos Neto, M.C., Brito Neves B.B. (1995). Deformação e metamorfismo principais de uma parte da Faixa Sul-Alagoana (Complexo Macururé), sistema de dobramentos Sergipano, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25, 343-350.

Vaz Guedes, E. M. (2016). *Esboço da Zoneografia Metamórfica do Subdomínio Macururé (Faixa Sergipana) nos Estados de Sergipe e Alagoas*. Trabalho final de Graduação. Universidade Federal da Bahia, UFBA.

Vaz Guedes, E. M., Marinho, M. M., Oliveira, J. S. de S. de, Menezes, A. B. L. (2017). Esboço da Zoneografia Metamórfica do Subdomínio Macururé (Orógeno Sergipano), Porção Leste do Meridiano de Nossa Senhora da Glória nos Estados de Sergipe e Alagoas. *27<sup>o</sup> Simpósio de Geologia do Nordeste*, Anais, p. 12. João Pessoa: SGB.

Weller, O.M., St-Onge, M.R., Waters, D.J., Rayner, N., Searle, M.P., Chung, S.-L., Palin, R.M., Lee, Y.-H., Xu, X. (2013). Quantifying Barrovian metamorphism in the Danba Structural Culmination of eastern Tibet. *Journal of Metamorphic Geology*, 31, 909–935.

Whitney, D.L.; Evans, B.W. 2010. Abbreviations for names of rockforming minerals. *American Mineralogist*, v. 95, 185-87.

## CAPÍTULO 3

### CONCLUSÕES

---

Os estudos para as três amostras dos metapelitos da unidade NPM<sub>1</sub> do DM, Orógeno Sergipano, selecionadas de cada zona metamórfica, pôde demonstrar que estas rochas experimentaram condições metamórficas da fácies anfibolito durante a orogenia Brasileira. Apesar do último evento metamórfico (M2) ter equilibrado estas condições ao longo de todo o terreno, a progressão do primeiro evento (M1) até o M2, foi a responsável pelo desenvolvimento das zonas metamórficas barrowiana. Para a amostra Ge.Se.586, zona da granada, os resultados obtidos mostraram condições de fácies xisto verde para o núcleo da granada (449°C - 0,438GPa) e fácies anfibolito na borda (629°C - 1,094GPa). Quanto a amostra Ge.Se.385, as condições identificadas, em ambas porções da granada, indicaram condições de fácies anfibolito (515°C - 0,655GPa e 616°C - 0,845GPa). Para a amostra Ge.Al.497 os resultados obtidos, também para ambas porções da granada, sugerem condições de fácies anfibolito, no entanto com pressão mais alta (512°C - 0,615GPa e 617°C - 1,129GPa). Estes resultados aludem para uma evolução de P-T progressiva, sem quebra metamórfica evidente. Os altos valores de pressão identificados para o último evento mostram que o metamorfismo barrowiano foi do tipo de *High Pressure*, marcado pela presença de rutilo nestas rochas metapelíticas

Quanto aos eventos deformacionais, conclui-se que o pico metamórfico foi atingido na fase D<sub>2</sub>, pois, através dos dados de campo, das análises petrográficas e químicas minerais, observa-se que a recristalização dos porfiroblastos de granada, bem como a variação de X<sub>Mg</sub> e X<sub>Ca</sub> nestes minerais, foram marcados por este evento.

Com base nestes resultados e nos estudos realizados por Bueno et al. (2009) e Oliveira et al. (2005a), pode-se concluir que os plútons graníticos tiveram participação importante para estabilizar as condições de P-T ao longo de todo terreno DM, durante o evento M2. Esta afirmação, além de ser evidenciada pelos resultados aqui apresentados, é ratificada pela presença de estauroлита a partir do extremo sul zona da granada.

Quanto à existência de um evento metamórfico regressivo, não foi registrado tal evidência através dos estudos termobarométricos. No entanto, é observa-se, por vezes, a formação de clorita ao redor de porfiroblastos de granada em algumas amostras estudadas do Domínio Macururé.

Apesar de estudos anteriores indicarem que a porção norte do DM apresentasse condições de fácies granulito, os resultados obtidos aqui neste trabalho não ratificaram estas afirmações. No entanto, é possível que o correspondente domínio mais ao norte, Domínio Coruripe, seja uma extensão do DM metamorfoisado em condições de mais altas P-T, como visto a partir de minerais e assembléias índices (Cordierita+Silimanita) através de lâminas petrográficas do projeto Geoterm-SeAl.

Portanto, os resultados aqui apresentados a partir da utilização do software Perple\_X para a determinação das condições de P-T das rochas, contribuíram para o entendimento da evolução

metamórfica do DM, bem como para o arcabouço tectônico do Orógeno Sergipano. Ainda assim, faz-se necessário um estudo mais amplo, abrangendo mais amostras, expandindo-se os limites da área estudada em direção ao estado da Bahia.

## **APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES**

---

A inclusão de mais autores neste trabalho consistiu da importância da contribuição de todos para o desenvolvimento desta dissertação. O professor Moacyr Moura Marinho é o co-orientador do autor. A professora Angela Beatriz Menezes Leal devido as contribuições significativas durante a participação como membro da banca examinadora. O professor Roberto Max de Argollo é o coordenador do Projeto Geoterm Se-Al, sendo fundamental pelo financiamento das análises químicas de rocha total, química mineral, confecção das lâminas petrográficas e pelo auxílio de campo.

## APÊNDICE B – DETALHAMENTO DO MÉTODO DE TRABALHO DESENVOLVIDO

---

### 1. MÉTODO DE TRABALHO

Para alcançar os objetivos propostos e responder as questões que nortearam a pesquisa foi-se necessário elaborar uma metodologia que envolveu desde um levantamento bibliográfico até análise de química mineral, química de rocha total e os estudos termobarométricos.

#### 1.1 Pesquisa Bibliográfica

Consistiu em um levantamento bibliográfico de trabalhos já realizados na área de estudo e relacionados ao tema que foram abordados, que apresentaram dados e informações sobre a geologia, petrografia, metamorfismo, geoquímica e geocronologia da área de estudo.

#### 1.2 Fase Campo

Com o auxílio dos professores orientadores, foram coletadas quatorze amostras para as análises petrográficas, química de rocha total e química mineral, em afloramentos previamente selecionados e, também, em novos que foram visitados com objetivo de complementar a amostragem realizada por Vaz Guedes (2016). Utilizando o Sistema Global de Posicionamento (GPS), os pontos de amostragem foram sistematicamente geo-referenciados e cartografados, complementando os dados pré-existentis do projeto GEOTERM Se-Al, através do *software ESRI ArcGis 10.1®* (Tabela 1). No campo, a navegação foi realizada em tempo real através de mapas elaborados pelo projeto Geoterm Se-Al e Geoterm NE, CPRM e por folhas topográficas do IBGE a partir do *software* Trackmaker com o GPS Garmin 76S acoplado.

#### 1.3 Estudos petrográficos

As análises petrográficas das quatorze lâminas delgado-polidas (confeccionadas no Laboratório da CPRM e na UnB) foram realizadas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada – LFNA/UFBA e no Laboratório de Petrografia do IGEO-UFBA, com o auxílio dos microscópios petrográficos Carl Zeiss Axio Scope.A1 e Motic® BA310Pol, buscando-se, portanto, caracterizar as unidades litológicas com relação aos aspectos mineralógicos, microestruturais, associações minerais, além de identificar as paragêneses metamórficas.

Com base na identificação das paragêneses minerais, foram feitos estudos na tentativa de se determinar as reações metamórficas responsáveis, e de se modificar o mapa-esboço da zoneografia metamórfica das litologias do Domínio Macururé através do *software ESRI ArcGis 10.1®*, elaborado no trabalho final de graduação do principal autor (Vaz Guedes, 2016; Vaz Guedes et al., 2017).

Amostra	Coordenadas UTM WGS84 Zona 24S		Análise Petrográfica	Análise Química de Rocha Total	Análise Química Mineral	Estudo Termobarométrico
	X (m)	Y (m)				
GE.SE.382B	716388	8888218	X	X	X	-
GE.SE.385	721155	8889409	X	X	X	X
GE.SE.387	723005	8890940	X	X	X	-
GE.SE.426	692996	8893007	X	X	X	-
GE.SE.478A	707891	8898704	X	X	X	-
GE.SE.573	647587	8850758	X	X	X	-
GE.SE.586	690656	8846604	X	X	X	X
GE.AL.442	732379	8921360	X	X	X	-
GE.AL.496	714178	8915526	X	X	X	-
GE.AL.497	712521	8916972	X	X	X	X
GE.AL.592	711407	8915226	X	X	X	-
GE.AL.649	730788	8882172	X	X	X	-
GE.AL.800	729811	8893691	X	X	X	-
GE.AL.803	730977	8922453	X	X	X	-

**Tabela 1.** Lista de amostras coletadas e analisadas durante a pesquisa. Em azul: amostras coletadas no estado de Sergipe; em verde: amostras coletadas no estado de Alagoas.

#### 1.4 Análises químicas de rocha total

Foram realizadas quatorze análises químicas dos principais óxidos,  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-TiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-MnO-BaO-Cr}_2\text{O}_3$ , no laboratório da SGS Geosol (Vespasiano-MG), através do método XRF79C (Fluorescência de Raio-X – fusão com tetraborato de lítio). A Preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Preparação de amostras do IGEO/UFBA e consistiu: (i) fragmentação em um britador de mandíbula (3cm); (ii) quarteamento até obtenção de uma fração de 100g; (iii) pulverização até uma granulometria inferior a 200 *mesh* no *shater box* e (iv) condicionamento das amostras em recipientes adequados e envio para análise no laboratório da SGS Geosol em Vespasiano - MG. Os resultados obtidos a partir destas análises foram fundamentais para o cálculos dos campos das paragênese minerais através do *software* Perple\_X.

#### 1.5 Análises de química mineral

De posse das lâminas delgado-polidas, foram escolhidos de três a quatro campos em lâmina pré-selecionadas, que continham as principais paragênese metamórficas, para a análise de química mineral através da microsonda eletrônica CAMECA SX50 EMP com quatro espectrômetros WDS do Laboratório de Microsonda Eletrônica, Departamento de Mineralogia e Petrologia da Universidade de Brasília. Foram determinadas as concentrações de Na, Mg, F, Al,

Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe e V para esses minerais. Com os resultados dessas análises, principalmente para a granada, foram definidas as condições termobarométricas que as rochas foram submetidas durante o metamorfismo.

### 1.6 Estudos Termobarométricos

Com os resultados da petrografia e das análises químicas de rocha total e mineral, foram calculadas as condições de pressão e temperatura, para uma amostra analisada de cada zona metamórfica, com o auxílio do aplicativo *Perple\_X* (Conolly, 2005), dando ênfase aos *grids* petrogenéticos e às *pseudosections*, a partir de um sistema MnNCKFMASHT (MnO-Na<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub>). Para estes cálculos, foram utilizadas as composições químicas de rocha total em wt% e as soluções modelos do conjunto de dados termodinâmicos de Holland e Powell (1998). Após serem gerados os *grids* petrogenéticos, foram criadas as curvas de isoteores das frações molares de X<sub>Ca</sub> e X<sub>Mg</sub> do centro e borda dos cristais de granada analisados, no intervalo de variação na pressão e temperatura da pseudosseções. Associando ambos os dados, foi possível calcular as condições de P-T que o Domínio Macururé foi submetido.

### 1.7 Interpretação dos Dados, Elaboração do Artigo e Apresentação para a Banca Examinadora

Após a execução das etapas anteriores, os dados levantados foram analisados, avaliados e organizados de forma lógica, dando assim suporte à elaboração do presente artigo científico e sua subsequente apresentação para a banca examinadora.

### Referências

- Connolly, J.A.D. (2005). Computation of phase equilibria by linear programming: a tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Science Letters*, 236, 524–541.
- Holland, T.J.D., Powell, R. (1991). A compensated-Redlich-Kwong (CORK) equation for volumes and fugacities of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O in the range 1 bar to 50 kbar and 100°-1600°C. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 109, 265-273.
- Holland, T.J.D., Powell, R. (1998). An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology*, 16, 309-343.
- Vaz Guedes, E. M. (2016). Esboço da Zoneografia Metamórfica do Subdomínio Macururé (Faixa Sergipana) nos Estados de Sergipe e Alagoas. Trabalho final de Graduação. Universidade Federal da Bahia, UFBA, 138 p.
- Vaz Guedes, E. M., Marinho, M. M., Oliveira, J. S. de S. de, Menezes, A. B. L. (2017). Esboço da Zoneografia Metamórfica do Subdomínio Macururé (Orógeno Sergipano), Porção Leste do Meridiano de Nossa Senhora da Glória nos Estados de Sergipe e Alagoas. *27° Simpósio de Geologia do Nordeste*, Anais, p. 12, João Pessoa: SGB.

**ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA  
GEOLOGIA USP, SÉRIE CIENTÍFICA**

---









## ANEXO B – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO

---

11/10/2019

Gmail - [GEOUSP] Agradecimento pela submissão



Erick Matheus Vaz Guedes &lt;erickguedez@gmail.com&gt;

---

### [GEOUSP] Agradecimento pela submissão

1 mensagem

**Daniel Machado** <portalderevistas@usp.br>

10 de outubro de 2019 23:57

Para: ERICK MATHEUS VAZ GUEDES &lt;erickguedez@gmail.com&gt;

ERICK MATHEUS VAZ GUEDES,

Agradecemos a submissão do trabalho "PSEUDOSEÇÕES P-T COM BASE NA VARIAÇÃO QUÍMICA DE GRANADAS ZONADAS NAS ROCHAS METAPELÍTICAS DA PARTE LESTE DO DOMÍNIO MACURURÉ, ORÓGENO SERGIPANO" para a revista Geologia USP. Série Científica.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <http://www.revistas.usp.br/guspsc/authorDashboard/submission/163110>

Login: erickguedes

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Daniel Machado