

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE ESTRUTURAL E PETROGRÁFICA DO GRANITO NANUQUE,
FAIXA ARAÇUAÍ (LESTE DO BRASIL).**

Rosane da Silva Araujo


Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 / 43)

SÃO PAULO
2016

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE ESTRUTURAL E PETROGRÁFICA DO GRANITO NANUQUE,
FAIXA ARAÇUAÍ (LESTE DO BRASIL).**



Aluna: Rosane da Silva Araujo



Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 / 43)

SÃO PAULO
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me conduzido até aqui.

Aos meus orientadores Marcos Egydio e Bruna Xavier, pelos ensinamentos e apoio, não só nesta monografia, mas na minha formação profissional.

Aos meus pais que sempre me apoiaram nas minhas escolhas, me ensinaram princípios e valores.

Aos meus tios (Terezinha e José), que me acolheram em sua casa e me trataram como filha.

Ao meu noivo (Carlos Eduardo) que me acompanhou e me motivou até a entrega deste trabalho.

As minhas irmãs, Roseli e Rosimeire, que falam orgulhosamente da irmã que faz Geologia na USP.

Aos meus sobrinhos Roberto Junior e Yasmim Araujo, que tornaram a minha vida estudantil mais feliz e divertida.

Aos meus amigos, Vitor Sette, Débora Rodrigues, Lys Plantullo, Carol Mafra, Laís Fontana e Bruno Gramulha. Obrigada, por sempre estarem comigo e me ajudarem.

1. RESUMO

O Orógeno Araçuaí teve a sua origem durante a formação do supercontinente Gondwana. O domínio central do orógeno é marcado por intenso magmatismo intrusivo de tonalitos, granodioritos e granitos, neste domínio, encontra-se o granito Nanuque, que é definido como granada-biotita granito e com textura porfirítica, estrutura foliada com xenólitos de biotita gnaiss. Este granito faz parte da Suite G2, cuja idade situa-se entre 580-560 Ma.

A caracterização de sua deformação no estado magmático, será um dado relevante que mostrará o contexto deformacional da Faixa Araçuaí no momento da colocação deste plúton, permitindo compará-lo com estudos similares já realizados em outros granitóides da Unidade Central (Tonalitos São Vitor e Galiléia) e Unidade Anatética (Anatexito Carlos Chagas)

O estudo é voltado para a caracterização estrutural do granito Nanuque baseando-se na técnica de Anisotropia de Suscetibilidade Magnética (ASM). Sabe-se que granitos nunca são isotrópicos, pois no momento de sua colocação (*emplacement*), os corpos graníticos estão sempre submetidos à ação de esforços regionais e/ou locais.

A correlação e equivalência entre as tramas magnética (ASM) e tectônica são fundamentais para uma análise estrutural. Essas estruturas, ocasionalmente não são observáveis a olho nu em decorrência da intensa recristalização e metamorfismo. A ASM tem se mostrado uma ferramenta poderosa na resolução de problemas dessa natureza.

Com o intuito de trazer informações adicionais sobre a história deformacional do intenso magmatismo na porção central do orógeno Araçuaí, utilizar-se-á da Anisotropia de Suscetibilidade Magnética (ASM), que como apresentado neste presente trabalho, mostra uma trama no granito Nanuque, caracterizada por medidas de foliação magnética com orientação preferencial NE/SW, mergulhando entre 20° a 80° para NW e a lineação magnética com caimento para NW, predominantemente, com ângulos variando entre 9 até 62 graus. A suscetibilidade magnética, sugere uma intensa contribuição paramagnética que foi investigada através de análises petrográfica e mineralógica, enquanto que a mineralogia magnética foi investigada através das curvas termomagnéticas. Adicionalmente, elaborou-se um estudo petrográfico/textural identificando-se as microestruturas e os seus mecanismos deformacionais.

2. ABSTRACT

The Araçuaí Orogen was formed during the amalgamation of the supercontinente Gondwana. The central domain of the orogen is marked by intense intrusive magmatism of tonalite, granodiorite and granite. The Nanuque granite, which is defined as a garnet-biotite granite with porphyritic texture, foliated structure with biotite gneiss xenoliths, is one of the pluton intrusive in this domain. It is part of the G2 Suite, which age is in between 580-560 Ma.

The characterization of its deformation in magmatic stage is a relevant data that show the deformational context of the Araçuaí orogen during the moment of its emplacement, allowing the comparison with previous similar studies in other granitoid from Central Unit (São Vitor and Galiléia tonalites) and from the Antécit Unit (Carlos Chagas Anatexite.)

The study intended had as goal to the structural characterization of Nanuque granite based on Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS). One knows that granites are never isotropics because in the moment of its emplacement, the granitic bodies are always submitted to the action of regional and/or local stress.

The correlation and equivalence between the magnetic and tectonic fabrics are fundamental for a successful structural analysis. The structures, foliation and lineations occasionally can not be seen with naked eye due to the intense recrystallization and metamorphism. The AMS has been used as a powerful tool to solve this kind of difficult.

In order to bring additional information about the deformational history of the intense magmatism in the central sector of the Araçuaí orogen, the AMS was useful to characterize the fabric the Nanuque granite, defining the measurements of magnetic foliation as preferential orientation NE/SW, dipping between 20° and 80° NW. The magnetic susceptibility, suggests an intense paramagnetic contribution that was investigated by petrographic and mineralogic analysis. The magnetic mineralogy was determined using thermomagnetic curves. Additionally, a petrographic/textural study was done identifying the microstructures and their deformational mechanism.

Sumário

1. RESUMO	4
2. ABSTRACT	5
3. INTRODUÇÃO	11
4. METAS E OBJETIVOS	12
5. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA	12
6. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	13
6.1. Geologia Regional	13
6.2. Geologia Local (Granito Nanuque)	16
7. MATERIAIS E MÉTODOS	18
7.1. Anisotropia de Suscetibilidade Magnética – ASM	18
7.2. Petrografia	23
8. RESULTADOS	24
8.1. Tramas Magnéticas	24
8.1.1. <i>Suscetibilidade magnética</i>	32
8.1.2. <i>Forma do elipsóide de deformação</i>	34
8.2. Petrografia e Microestruturas	35
8.2.1. <i>Feldspato</i>	36
8.2.2. <i>Quartzo</i>	37
8.2.3. <i>Biotita</i>	37
8.2.4. <i>Granada</i>	38
8.3. Mineralogia Magnética	39
9. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	48
10. CONCLUSÃO	48
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

Sumário de Imagens

FIGURA 1 : MAPA DE LOCALIZAÇÃO, UTILIZANDO O GOOGLE MAPAS. O MAPA A DIREITA MOSTRA A LOCALIZAÇÃO REGIONAL DE SÃO JOÃO DE MANTENINHA NO ESTADO DE MINAS GERAIS. E A ESQUERDA A RODOVIA DE ACESSO ENTRE SÃO PAULO E A LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.	13
FIGURA 2: FIGURA MOSTRANDO A EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO ORÓGENO ARAÇUAÍ (ALKMIN ET AL., 2006). EM (A) ILUSTRA-SE A BACIA MACAÚBAS, ANTECESSORA DO ORÓGENO; (B) INÍCIO DO FECHAMENTO DA BACIA, POR VOLTA DE 600 MA, COMO CONSEQUÊNCIA DO CHOQUE DE PLACAS; (C) DESENVOLVIMENTO FINAL DO ORÓGENO HÁ 570 MA; (D) APÓS SOFRER ESCAPE LATERAL DA PORÇÃO SUL E COLAPSO EXTENSIONAL DO ORÓGENO POR VOLTA DE 500 MA.....	15
FIGURA 3: FORMAÇÃO DO ORÓGENO ARAÇUAÍ FORMADA A PARTIR DO GONDWANA OCIDENTAL, PELA AGLUTINAÇÃO DO CRÁTON SÃO FRANCISCO E OESTE CONGO (PEDROSA-SOARES ET AL. 2007).	16
FIGURA 4: (A) GRANITO NANUQUE, COM ORIENTAÇÃO MARCADA PELA BIOTITA E COM DIREÇÃO NE-SW; (B) TEXTURA PORFIRÍTICA, (TAMANHO RELATIVO DOS FELDSPATOS EM RELAÇÃO À MATRIZ); (C) INDICADOR CINEMÁTICO (FELDSPATO), EVIDENCIANDO MOVIMENTO REVERSO, TOPO PARA LESTE.	17
FIGURA 5: A IMAGEM A DIREITA APRESENTA GEOMORFOLOGICAMENTE OS MORROS APLAINADOS OBSERVADOS NA REGIÃO DE SÃO JOÃO DE MANTENINHA (MG), JÁ A IMAGEM A ESQUERDA TEM OS MORROS MAIS AGUDOS, PÃO DE AÇUCAR.	18
FIGURA 6: DIFERENÇAS ENTRE AS SUSCETIBILIDADES DIAMAGNÉTICAS, PARAMAGNÉTICAS E FERROMAGNÉTICAS. (TABELA EXTRAÍDA DA AULA DE MAGNETISMO EM ROCHA DO INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS).....	19
FIGURA 7: DESENHO ESQUEMÁTICO MOSTRANDO COMO É FEITA A COLETA DE AMOSTRA EM ROCHA.	20

FIGURA 8: IMAGEM DO EQUIPAMENTO KLY-4S-KAPPABRIDGE (AGICO).	20
FIGURA 9: PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA A OBTENÇÃO DAS CURVAS TERMOMAGNÉTICAS. FORAM PREPARADAS AS AMOSTRAS VS-01, VS-02, VS-05, VS-06, VS-09, VS-10, VS-12, VS-15 E VS-16.....	22
FIGURA 10: COMPORTAMENTO REVERSÍVEL (CURVA DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO SÃO CORRESPONDENTES), COMPORTAMENTO IRREVERSÍVEIS (CURVA DE RESFRIAMENTO E AQUECIMENTO NÃO SÃO CORRESPONDENTES), INDICANDO MUDANÇA MINERALÓGICA E/OU TRANSFORMAÇÕES QUÍMICAS.....	22
FIGURA 11: NA FIGURA ESTÁ APRESENTADO OS ESTEREOGRAMAS DE TODAS AS AMOSTRAS ANALISADAS.	30
FIGURA 12: APRESENTAÇÃO DOS DIOGRAMAS, CARACTERIZANDO SEUS DIFERENTES DOMÍNIOS ESTRUTURAIS.....	31
FIGURA 13: MAPA GEOLÓGICO DE FOLIAÇÃO MAGNÉTICA. MAPA GEOLÓGICO (OLIVEIRA, M.J.R; ET AL., 2000. PROJETO LESTE - RELATÓRIO MAPA INTEGRADO 1:500.000 CPRM). 1: TONALITO FLORESTA – BIOTITA TONALITO COM GRANADA, CISALHADO; 2: FORMAÇÃO TUMIRITINGA – BIOTITA-GRANADA-SILLIMANITA GNAISSE COM ESTRUTURA PROTO À MILONÍTICA; 3: ALUVIÃO – DEPÓSITOS ALUVIONARES INCONSOLIDADOS; 4: GRANITO CALADÃO – MICROCLINA GRANITO PORFIRÍTICO COM MATRIZ DE GRANULAÇÃO GROSSA; 5: GRANITO ATALÉIA – BIOTITA GRANITO COM CORDIERITA; 6: GRANITO NANUQUE – GRANITO PORFIRÍTICO E ORIENTADO, BIOTITA TONALITO COM GRANADA; 7: COMPLEXO GNAISSICO KINZIGÍTICO – BIOTITA-GRANADA-SILLIMANITA GNAISSE E VARIAÇÕES; 8: LEUCOGRANITO CARLOS-CHAGAS – GRANITO DE COR BRANCA, LOCALMENTE DE COMPOSIÇÃO GRANODIORÍTICA. EM VERMELHO AS ESTRADAS E EM CINZA TRACEJADO A DIVISA MG-ES. A CLASSE DA AMOSTRAGEM ESTÁ DESCRITA POR CORES; VERDE: ASM; PRETO: PETROGRAFIA; AMARELO: GEOCRONOLOGIA.NESTE É NOTADO Á LOCALIZAÇÃO DO GRANITO NANUQUE, OBJETO DE ESTUDO DO TRABALHO DE FORMATURA. NO MAPA NOTA-SE AINDA A SUA ORIENTAÇÃO N-S BEM COMO A FOLIAÇÃO REGIONAL SUBPARALELA AO MESMO.	31

FIGURA 14: MAPA GEOLÓGICO DE LINEAÇÃO MAGNÉTICA.	32
FIGURA 15: FORMAS DOS ELIPSOIDES DE ASM EM FUNÇÃO DA MAGNITUDE DE K1, K2 E K3.	34
FIGURA 16: COMPOSIÇÃO MODAL DO GRANITO NANUQUE. EXTRAÍDO DE SILVA, J.N., RELATÓRIO NANUQUE, MAPA GEOLÓGICO, FOLHA SE.24-V-D-IV, ESCALA 1:100.000	36
FIGURA 17: (A) FELDSPATO COM GEMINAÇÃO CARLSBAD, COM INCLUSÃO MINERAL; (B) FELDSPATO COM GEMINAÇÃO EM GRADE, COM INCLUSÃO MINERAL DE BIOTITA E MUSCOVITA; (C) QUARTZO COM EXTINÇÃO ONDULANTE E CONTATO RETOS, POLIGONALIZADOS; (D) QUARTZO COM ORIENTAÇÃO PARALELA A A BIOTITA, MARCAM A FOLIAÇÃO MAGMÁTICA DA ROCHA. (SORZE, 2013)	37
FIGURA 18: (E) FORMAÇÃO DE BIOTITA, DECORRENTE DA MUSCOVITA; (F) BIOTITA SEM DEFORMAÇÃO INTRACRISTALINA DEFININDO A FOLIAÇÃO MAGMÁTICA DA ROCHA. (G) GRANADA EM CONTATO DISCORDANTE DA FOLIAÇÃO MARCADA PELA BIOTITA; (H) GRANADA, LEVEMENTE ALTERADA, SENDO CIRCUNDADA PELA FOLIAÇÃO DEFINIDA PELA BIOTITA (SORZE, 2013)	38
GRÁFICO 1: HISTOGRAMA MOSTRANDO A FREQUÊNCIA DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA ..	33
GRÁFICO 2: NO GRÁFICO (P X KM), EVIDENCIA-SE A PREDOMINÂNCIA DE SUSCETIBILIDADE PARAMAGNÉTICA NAS AMOSTRAS ANALISADAS.....	33
GRÁFICO 3: HISTOGRAMA DE VALORES DE T EM RELAÇÃO A FREQUÊNCIA. VALORES MENORES QUE -0,25 (PROLATOS), ENTRE -0,25 A 0,25 (NEUTROS), MAIORES QUE 0,25 (OBLATOS)	35
GRÁFICO 4: DIAGRAMA T X P, INDICANDO O PREDOMÍNIO DE VALORES DE T>0, ELIPSOIDES DO TIPO OBLATO. OBTIDA ATRAVÉS DO PROGRAMA ANISOFT.	35

GRÁFICO 5: REPRESENTA-SE NO EIXO Y A SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E EM X A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA. EM VERMELHO: AQUECIMENTO E EM AZUL: RESFRIAMENTO. NOTA-SE QUE A SUSCETIBILIDADE DIMINUI COM O AUMENTO DA TEMPERATURA NAS AMOSTRAS VS-02, VS-04, VS-06, VS-09, VS-010, VS-15, O QUE É CARACTERÍSTICO DE MINERAIS COM COMPORTAMENTO PARAMAGNÉTICO. JÁ AS AMOSTRAS VS-01, VS-05 E VS-012 APRESENTAM UMA INFLEXÃO (AUMENTO DA SUSCETIBILIDADE) EM TORNO DE 500°C, PODENDO-SE TRATAR DA PRESENÇA DE MAGNETITA. 47

Tabela 1: Correlaciona os minerais ferromagnéticos com as suas temperaturas de Curie. 23

TABELA 2: CRONOGRAMA COM O DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DURANTE OS SEMESTRES. 24

TABELA 3: PARÂMETROS OBTIDOS ATRAVÉS DA LEITURA DE DADOS (ASM) PELO PROGRAMA ANISOFT 4.2. ONDE; N: NÚMERO DE ESPÉCIMES MEDIDOS; KM: SUSCETIBILIDADE MÉDIA DE CADA SÍTIO (KM/10⁻³ SI); P': GRAU DE ANISOTROPIA CORRIGIDO; T: FORMA DO ELIPSÓIDE; DEC: : DECLINAÇÃO EM GRAUS DE K1, K2 E K3; INC: INCLINAÇÃO EM GRAUS DE K1, K2 E K3. 25

3. INTRODUÇÃO

A colisão entre os crátons do São Francisco e Oeste Congo, decorrente da aglutinação do Gondwana Ocidental, no Neoproterozóico resultou na formação da Faixa Araçuaí a qual tem sido estudada por diversos autores, dada sua importância na evolução geológica do leste do Brasil (Almeida, 1977; Egydio Silva *et al.* 2005; Pedrosa Soares, *et al.* 2001; Pedrosa Soares *et al.*, 2003; Trompette *et al.* 1994; Vauchez *et al.*, 2007, entre outros). Caracteriza-se pelo intenso magmatismo plutônico intrusivo nos metassedimentos do Grupo Rio Doce, também de idade neoproterozóica (Mondou *et al.* 2012; Gradim 2013), caracterizado por granitos, tonalitos e granodioritos com presença de enclaves máficos. Em uma seção E-W, a Faixa Araçuaí pode ser dividida em três domínios distintos: a oeste, a *Unidade dos Gnaisses Miloníticos*, a *Unidade Plutônica Central* e a *Unidade Anatética*, a leste (Oliveira *et al.* 2000; Vauchez *et al.* 2007). A *Unidade dos Gnaisses Miloníticos* é constituída por rochas metassedimentares milonitizadas sob alta temperatura e baixa pressão (750°C e 600MPa), (Petitgirard *et al.* 2009) intercalados com veios leucocráticos.

A *Unidade Plutônica Central* é composta por diversos corpos tonalíticos e granodioríticos, encaixados em rochas metassedimentares. Ela compreende um complexo plutônico, denominado Suite Galiléia, cujos maiores corpos são os tonalitos São Vitor e Galiléia (Mondou *et al.*, 2012). Por fim, a *Unidade Anatética* é composta por anatexitos, leucogranitos e diatexitos, denominados de Anatexito Carlos Chagas (Cavalcante *et al.* 2013).

O granito Nanuque, localizado na porção central da Faixa Araçuaí, está encaixado em rochas graníticas e nos gnaisses kinzigíticos. Os processos deformacionais que marcam a intrusão do referido granito, estão relacionados, igualmente à Orogenia Pan-Africana-Brasileira.

Granitóides intrusivos são excelentes marcadores deformacionais, cuja trama nos fornece informações relevantes sobre a história tectônica durante sua colocação. Estes registros podem ser obtidos utilizando-se da Anisotropia de Suscetibilidade Magnética (ASM), ferramenta que mostra a estruturação através da trama magnética.

Aborda-se neste trabalho uma análise estrutural através da ASM (Anisotropia de Suscetibilidade Magnética) cuja técnica consiste em uma indução magnética de amostras rochosas, visando obter a orientação preferencial dos minerais que foi adquirida durante a colocação e/ou deformação do corpo granítico. Além disso, um estudo complementar, através das curvas termomagnéticas, permitiu identificar os

minerais magnéticos. Por fim, uma análise textural em lâminas delgadas permitiu identificar os principais mecanismos deformacionais presentes no plúton.

4. METAS E OBJETIVOS

O granito Nanuque tem idade entre 580-560 Ma, pertencente à Suite G2 de Pedrosa-Soares et al., (2001). Sendo sua idade conhecida, a caracterização de sua deformação no estado magmático, será um dado que mostrará o contexto deformacional da Faixa Araçuaí no momento da colocação deste plúton, permitindo compará-lo com estudos similares já realizados em outros granitóides da Unidade Central e Unidade Anatética (Mondou et al, 2012 e Cavalcante et al, 2013). Sendo assim, o trabalho teve como meta caracterizar o granito Nanuque estruturalmente, utilizando-se da Anisotropia de Suscetibilidade Magnética (ASM) e, adicionalmente, elaborou-se um estudo petrográfico/textural identificando-se, as microestruturas e os seus mecanismos deformacionais. A mineralogia magnética foi investigada através das curvas termomagnéticas.

5. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA

A região de estudo esta localizada no município de São João de Manteninha (MG), cujo acesso se da através da rodovia federal BR 381, desde São Paulo até Belo Horizonte e Governador Valadares (**Figura 1**).

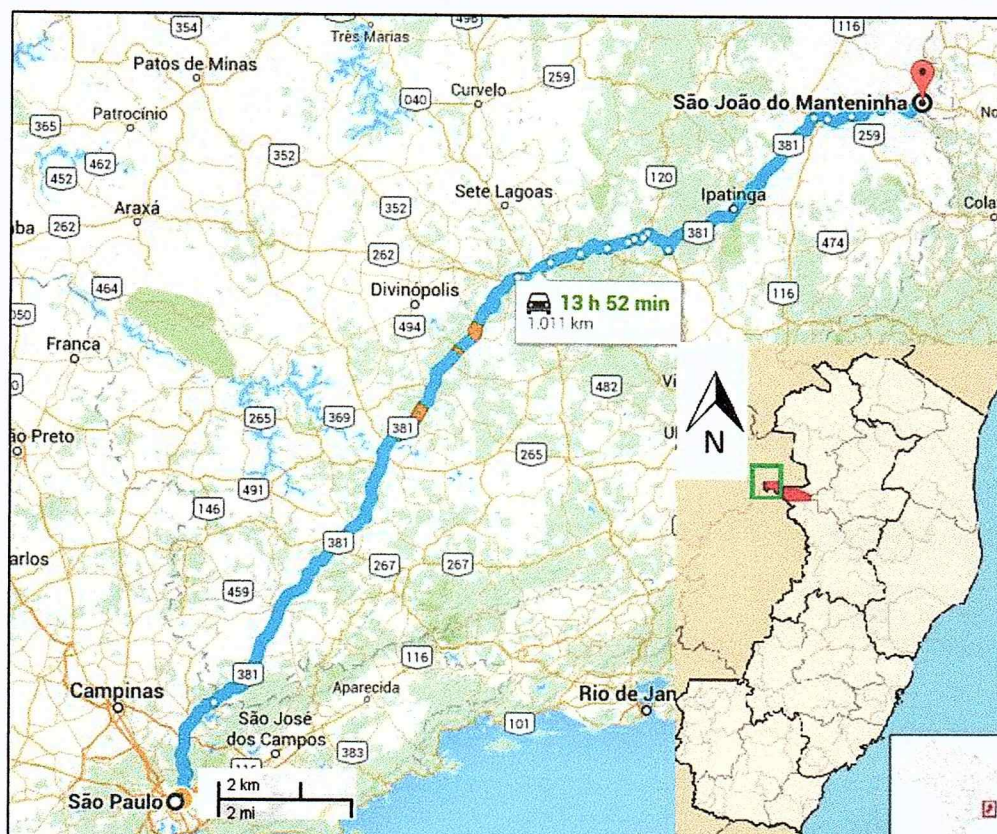


Figura 1 : Mapa de localização, utilizando o google mapas. O mapa a direita mostra a localização regional de São João de Manteninha no estado de Minas Gerais. E a esquerda a rodovia de acesso entre São Paulo e a localização da área estudada.

6. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

6.1. Geologia Regional

No final do neoproterozóico a aglutinação dos “fragmentos” do Supercontinente Rodínia resultou na formação do Gondwana Ocidental. Neste contexto ocorreu a amalgamação dos blocos continentais de idades arqueanas e paleoproterozóicas que geraram as faixas orogênicas.

A colisão entre os crátons do São Francisco e Oeste Congo (**Figura 3**) deu origem ao Órogeno Araçuaí-Congo Ocidental (Trompette, 1994; Pedrosa Soares, *et al* 2007 entre outros). Com a abertura do Atlântico, no Mesozóico, mais de dois terços desse grande orógeno deu origem a Faixa Ribeira/Araçuaí, caracterizada como um cinturão de dobramentos que está disposto paralelamente à margem leste-sudeste do Cráton São Francisco, na porção norte da Província Mantiqueira.

A evolução tectônica do Orógeno Araçuaí, proposta por Alkimim et al. (2006, 2007), inicia-se com a abertura da Bacia Macaúbas (**Figura 2**), com o rifteamento do paleocontinente São Francisco-Congo (880 Ma). As rochas desta fase Inicial estão dispostas, em sua maioria, na porção congoleza do orógeno.

Por volta de 630 Ma a Bacia Macaúbas começa a se fechar. O fechamento da Bacia teria sido provocado, pela colisão entre as placas Paraná e da península do São Francisco-Congo, ocasionando uma rotação desta em sentido anti-horário em direção a península do Congo. Com esta compressão houve o consumo de litosfera oceânica, de oeste para leste, produzindo magmatismo pré-colisional (rochas da super suíte G1, Pedrosa-Soares *et al.*, 2011)

Com a continuação da colisão (580 - 560 Ma), foram geradas frentes de empurrão para as zonas cratônicas, promovendo o soerguimento de cadeias montanhosas, resultando no magmatismo sin-colisional, este foi responsável pela geração de grandes volumes de granito tipo S (supersuíte G2). A supersuíte G3, foi formada a partir da fusão de rochas da supersuíte G2 (tardi a pós colisional).

Posteriormente, zonas transcorrentes dextrais se formaram (560 - 530 Ma), este mecanismo gerou escape de material em direção ao sul. Com o espessamento litosférico, houve o colapso gravitacional (520 - 490 Ma), resultando na formação de zonas de cisalhamento normais. Nesta fase, teve-se ainda fusão crustal e mantélica por descompressão adiabática, resultando em magmatismo pós colisional (Supersuítas G4 e G5).

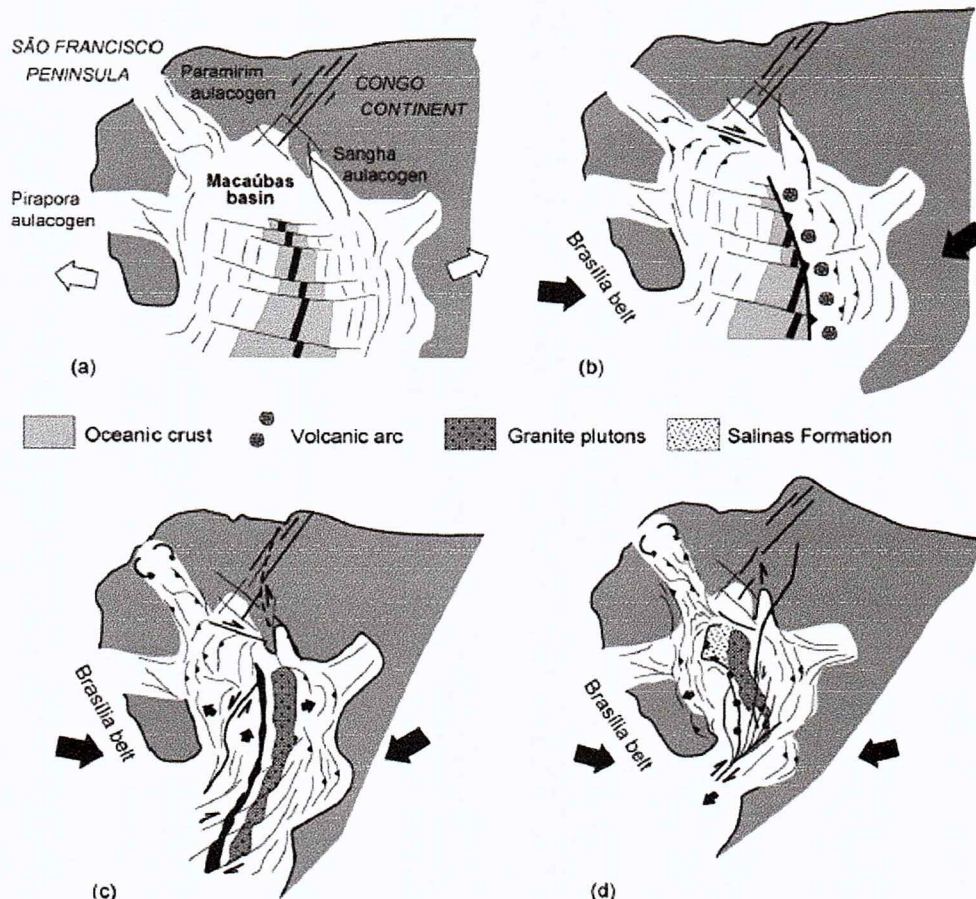


Figura 2: Figura mostrando a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí (Alkmin et al., 2006). Em (a) ilustra-se a bacia Macaúbas, antecessora do orógeno; (b) Início do fechamento da bacia, por volta de 600 Ma, como consequência do choque de placas; (c) Desenvolvimento final do orógeno há 570 Ma; (d) Após sofrer escape lateral da porção sul e colapso extensional do orógeno por volta de 500 Ma.

O reconhecimento dos diferentes tipos de granitóides associados ao orógeno foram classificados por Pedrosa-Soares *et al* (2008) em cinco distintas suítes:

- G1: Granitos metaluminosos, tonalitos a granodioritos contendo enclaves máficos (dioríticos) e pequenos plútons de charnockitos e gabronoritos; essa fase tem datação estimada entre 630-580 Ma (pré-colisional).

- G2: Granitóides peraluminosos constituídos por bt+grt+crd+sil+opx, sienogranitos e granodioritos; contém enclaves de rochas metassedimentares. A fase G2, portanto faz referência ao estágio colisional a tardicolisional com idades estimadas em 590-545 Ma.

- G3: Leucogranitos peraluminosos, em estágio tardi a pós colisional, datados em 545-530 Ma.

- G4: Corresponde às intrusões de granitóides cálcio-alcalinos (alto potássio), fase pós colisional com idades estimadas entre 530-500 Ma.
- G5: Correspondem os plútons metaluminosos a levemente peraluminoso, com idades estimadas entre 520-480 Ma.

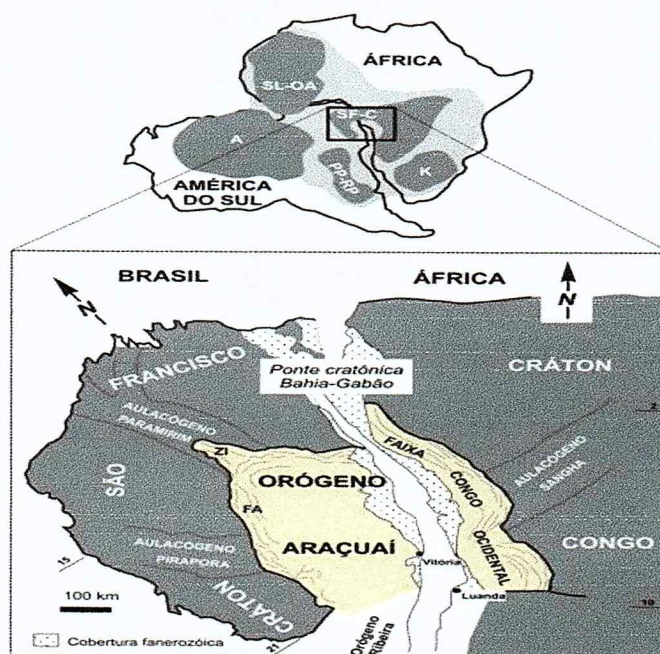


Figura 3: Formação do orógeno Araçuaí formada a partir do Gondwana Ocidental, pela aglutinação do cráton São Francisco e Oeste Congo (Pedrosa-Soares et al. 2007).

Os limites entre as Faixas Ribeira e Araçuaí não estão bem estabelecidos e não há consenso em relação a este tema. Entretanto é nítida a distinção entre os regimes deformacionais entre ambas (Egydio Silva *et al.* 2005). A porção norte (Faixa Araçuaí) é caracterizada por uma direção estrutural (N-S) e cavalgamentos para oeste das unidades alóctones, sobre a cobertura metassedimentar do Cráton São Francisco (Oliveira *et al.* 2000). A porção sul, limitado a noroeste pelo Cráton São Francisco e a oeste pela Bacia do Paraná, tem orientação NE-SW e é caracterizada por movimentos transcorrentes (Trompette, 1994; Egydio Silva *et al.* 2002).

6.2. Geologia Local (Granito Nanuque)

O granito Nanuque está inserido no domínio central da Faixa Araçuaí, isto é, na *Unidade Plutônica Central* a qual é caracterizada por intenso magmatismo de tonalitos

e subordinadamente de granodioritos e granitos. Este granito porfirítico (**Figura 4b**) se destaca por conter uma foliação magmática orientada preferencialmente pelos cristais de biotit (**Figura 4a**) e feldspato (**Figura 4c**) que são praticamente concordantes à foliação das rochas encaixantes.

Identifica-se, geomorfologicamente (**Figura 5**), o relevo de morros do tipo pão de açúcar e outros ondulados com topos aplainados ou chapadões com coberturas arenosas.

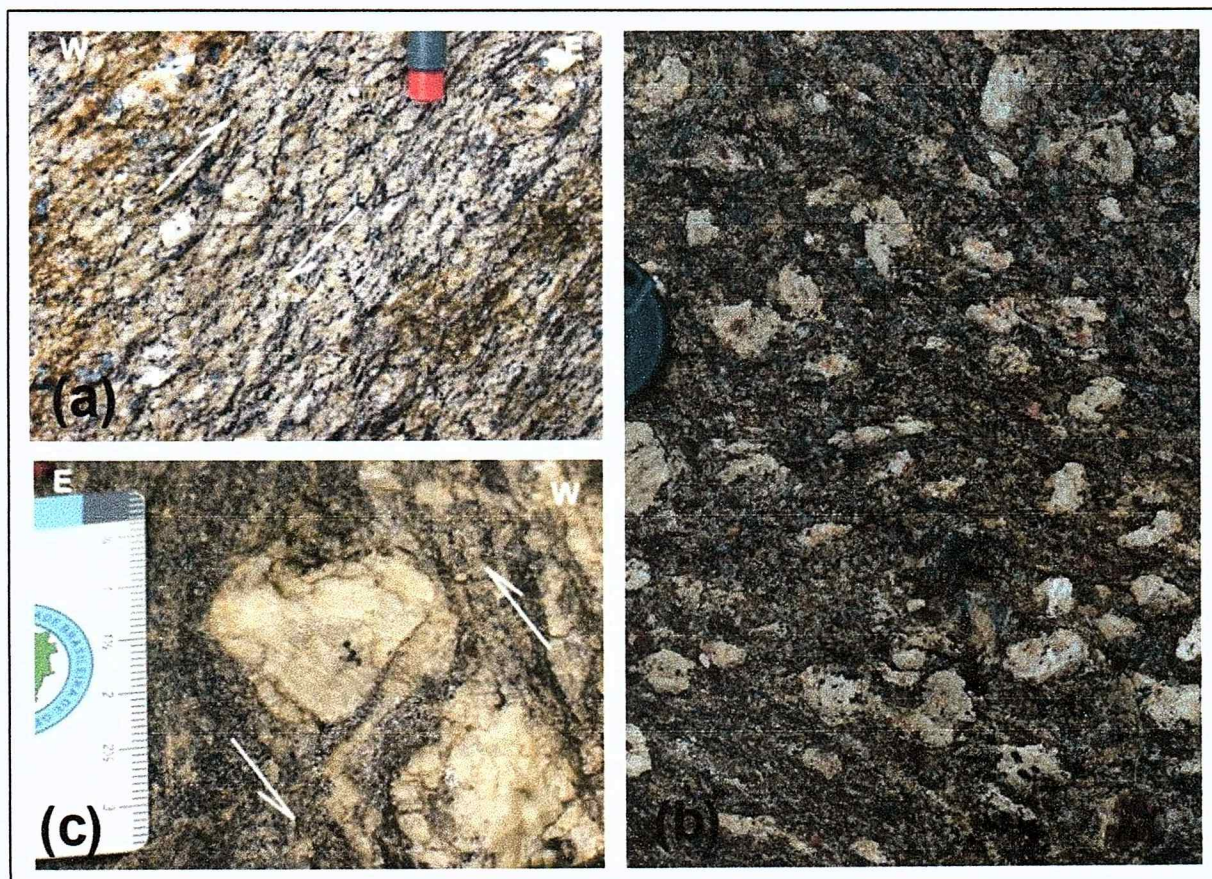


Figura 4: (a) Granito Nanuque, com orientação marcada pela biotita e com direção NE-SW; (b) Textura porfirítica, (tamanho relativo dos feldspatos em relação à matriz); (c) Indicador cinemático (feldspato), evidenciando movimento reverso, topo para leste.

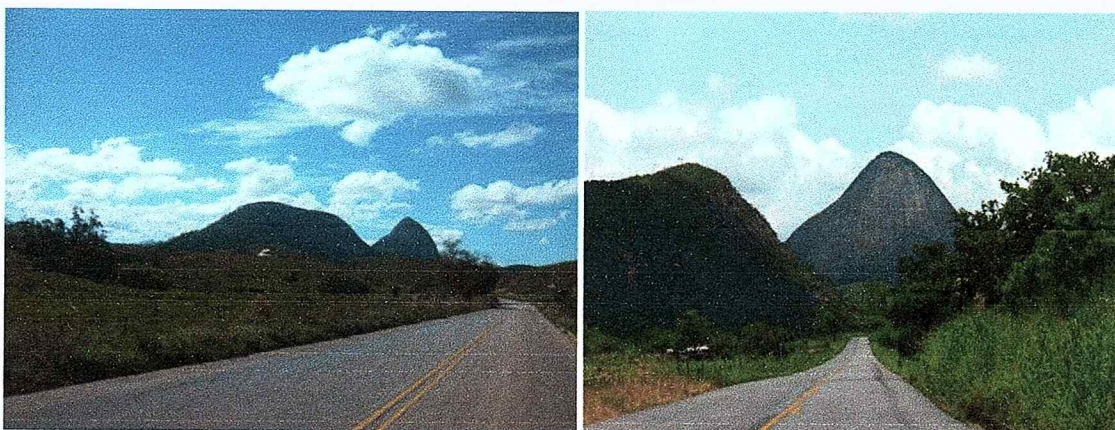


Figura 5: A imagem a esquerda apresenta geomorfologicamente os morros aplainados observados na região de São João de Manteninha (MG), já a imagem a direita tem os morros mais agudos, pão de açúcar.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1. Anisotropia de Suscetibilidade Magnética – ASM

A anisotropia de Suscetibilidade Magnética é utilizada no estudo de rochas deformadas no estado magmático e/ou no estado sólido (Bouchez, 1997; Egydio-Silva *et al.* 2005 entre outros).

A ASM é representada por um tensor que relaciona a intensidade de um campo aplicado (H) e a magnetização adquirida pelo corpo (M), através da equação:

$$M_i = K_{ij}H_j$$

onde K_{ij} é um tensor simétrico de segunda ordem. O tensor de suscetibilidade (K_{ij}) é representado por K_1 , eixo de suscetibilidade máxima, o qual identifica a lineação magnética, K_2 , eixo de suscetibilidade intermediária e o K_3 , eixo de suscetibilidade mínima que é paralelo ao polo da foliação magnética. A magnitude do tensor K_{ij} permite quantificar o grau de anisotropia P e o parâmetro de forma T do elipsoide de deformação.

A suscetibilidade total da rocha é medida através da soma das suscetibilidades dos minerais que compõe (**Figura 6**), sejam eles diamagnéticos, paramagnéticos ou ferromagnéticos através da equação:

$$k_{tot} = k_{dia} + k_{para} + k_{ferro}$$

Onde a suscetibilidade diamagnética (k_{dia}) é geralmente negativa ou muito baixa, e não varia com a temperatura. Os minerais diamagnéticos característicos são quartzo e feldspato. Já a suscetibilidade paramagnética (k_{para}) é positiva e possuem valores da ordem de 10^{-2} e 10^{-4} SI e decresce com o aumento da temperatura, são minerais paramagnéticos típicos: biotita, ilmenita, actinolita, muscovita, piroxênio e granada. Por fim a suscetibilidade ferromagnética (k_{ferro}) tem valores superiores à paramagnética e pode alcançar 5,7 SI em minerais de magnetita (Hunt *et al.* 1995).

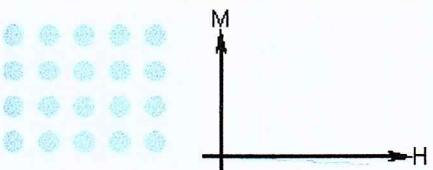
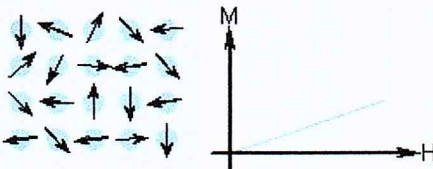
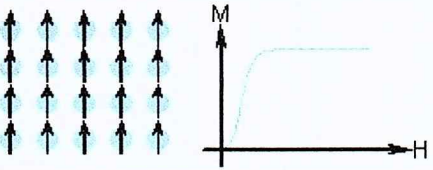
Type of Magnetism	Susceptibility	Atomic / Magnetic Behaviour		Example / Susceptibility	
Diamagnetism	Small & negative.	Atoms have no magnetic moment		Au Cu	-2.74×10^{-6} -0.77×10^{-6}
Paramagnetism	Small & positive.	Atoms have randomly oriented magnetic moments		β -Sn Pt Mn	0.19×10^{-6} 21.04×10^{-6} 66.10×10^{-6}
Ferromagnetism	Large & positive, function of applied field, microstructure dependent.	Atoms have parallel aligned magnetic moments		Fe	$\sim 100,000$

Figura 6: Diferenças entre as suscetibilidades diamagnéticas, paramagnéticas e ferromagnéticas. (Tabela extraída da aula de magnetismo em rocha do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas).

A amostragem é feita através de uma perfuratriz (**Figura 7**) com broca cuja dimensão permite a coleta de testemunho os quais serão cortados para se obter os espécimes com tamanho de 2,2 cm de altura por 2,5 cm de diâmetro, dimensões adequadas (padrão) para a coleta dos dados e para que as medidas sejam obtidas no aparelho.

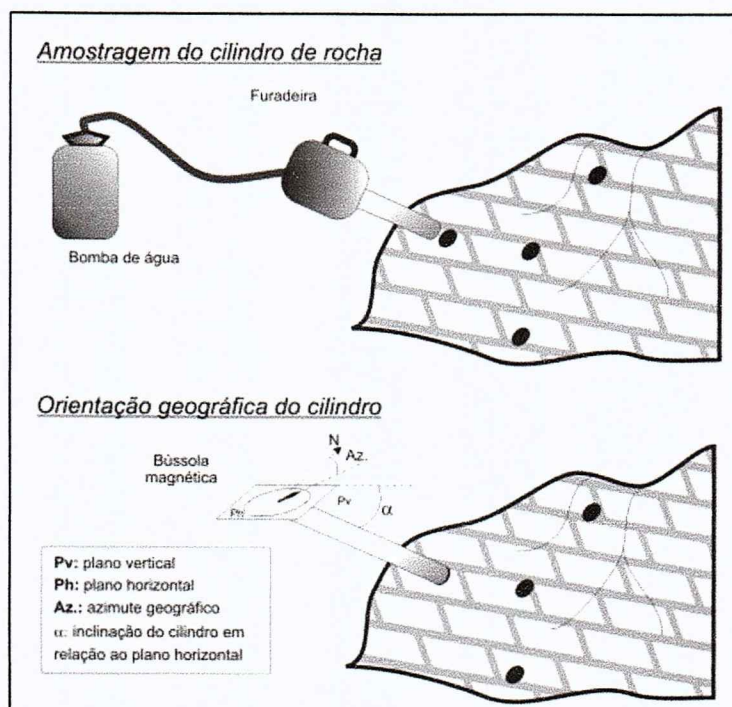


Figura 7: Desenho esquemático mostrando como é feita a coleta de amostra em rocha.

As medidas foram feitas no laboratório de Paleomagnetismo do IAG-US utilizando-se do aparelho do tipo KLY-4S-Kappabridge da Agico (**Figura 8**), fabricado na República Tcheca. Após a realização das medidas os dados obtidos, foram trabalhados e calculados através software Anisoft 4.2.



Figura 8: Imagem do equipamento KLY-4S-Kappabridge (Agico).

Preparou-se 389 espécimes coletadas de 22 afloramentos, cujas medidas de ASM foram feitas no equipamento KLY-4S-Kappabridge (Agico) (**Figura 8**). O aparelho faz a medida de cada espécime, devendo a amostra estar adequada, quanto ao tamanho (2,2 cm de altura por 2,5 cm de diâmetro). Cada amostra é medida segundo três planos diferentes que permite determinar o elipsóide de ASM e sua orientação. Os

dados são enviados para o computador e ficam salvos, como um arquivo RAN e ASC, sendo subsequentemente agrupados pelo *software* Anisoft 4.2.

Os dados obtidos estão apresentados em forma de tabela (**Tabela 2**). É chamado de **sítio** cada afloramento. São fornecidas as coordenadas **UTM**, “n” corresponde ao número de espécimes de cada afloramento.

k1, **k2** e **k3**, são as direções principais do elipsóide de suscetibilidade dado por sua declinação (**Dec**) e inclinação (**Inc**).

km é a suscetibilidade magnética média:

$$\frac{km = k1 + k2 + k3}{3} \quad (\text{km}/10^{-3} \text{ SI})$$

T indica a forma do elipsoide de suscetibilidade:

$$T = \frac{2(\ln k2 - \ln k3)}{(\ln k1 - \ln k3)} - 1$$

P representa o grau de anisotropia:

$$P = \frac{k1}{k3}$$

A obtenção das curvas termomagnéticas se fez através da variação de suscetibilidade magnética (**k**) em função da temperatura (**T**). Na preparação das amostras, as espécimes são moídas, com os materiais pistilo e cadinho de porcelana (**Figura 9**), posteriormente as amostras são identificadas. As leituras dos dados foram feitas no Kappabridge KLY-4 com um forno acoplado CS-3/CS-L. O experimento baseou-se no resfriamento das amostras (-200°C) e posteriormente, aqueceu-se até atingir 700°C e depois é resfriado novamente até a temperatura ambiente.



Figura 9: Preparação das amostras para a obtenção das curvas termomagnéticas. Foram preparadas as amostras VS-01, VS-02, VS-05, VS-06, VS-09, VS-10, VS-12, VS-15 e VS-16.

A determinação das curvas termomagnéticas, a partir do aquecimento e resfriamento das amostras, é utilizada para a determinação da mineralogia magnética, onde diferentes temperaturas, por exemplo, Curie, Néel, Verwey podem indicar mudanças da estrutura cristalina e/ou as reações químicas que afetam os minerais durante o aquecimento/resfriamento.

Nos minerais ferromagnéticos saturados, quando as curvas de aquecimento e resfriamento são as mesmas, denomina-se que se trata de processo reversível (**Figura 10**), onde não ocorrem transformações mineralógicas. Quando as curvas de aquecimento e resfriamento são distintas o processo é considerado irreversível em razão, ocorrem mudanças mineralógicas (**Figura 10**).

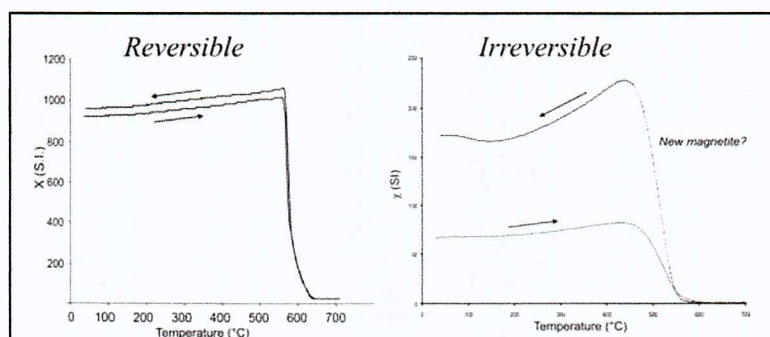


Figura 10: Comportamento reversível (curva de resfriamento e aquecimento são correspondentes), comportamento irreversíveis (curva de resfriamento e aquecimento não são correspondentes), indicando mudança mineralógica e/ou transformações químicas.

A determinação das temperaturas de Curie pela análise da variação da suscetibilidade em função da temperatura é o método mais usado para identificar os portadores magnéticos de uma amostra. Deste modo a partir da comparação da forma da curva de aquecimento e da curva de resfriamento podemos inferir as eventuais transformações químicas (desidratação, exsolução quando medido em atmosfera não controlada, com oxigênio), as transformações estruturais (inversão) e determinação da mineralogia magnética, além de possíveis mudanças texturais.

As curvas termomagnéticas (kxT) de baixas temperaturas (-200°C – 0°C), que exibem a variação da suscetibilidade magnética em função da temperatura, podem mostrar inflexões na chamada transição de Verwey da magnetita (-160°C) e na transição de Morin (-11°C) devido à hematita. Nas curvas de alta temperatura, a transição mais importante é a temperatura de Curie na magnetita (575 - 580°C) que caracteriza a presença de magnetita e a temperatura de Néel (680°C), que identifica a hematita fazendo parte da composição mineralógica da rocha. Na tabela abaixo (Tabela 1), estão representados os principais minerais ferromagnéticos e temperaturas que os identificam.

Mineral	Composição	Magnetização	Temperatura de Curie (°C)
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \Rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$	$475 \times 10^3 \text{ Am}^{-1}$	575
Titano-magnetita	$x\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{TiO}_2 + 4\text{O} - 4(1-x)\text{Fe}_3\text{O}_4 + (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4)\text{O}_2 + 4$	-	< 200
Maghemita	$4\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{O}_2 + 3 \Rightarrow 3[\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 + 1/3\text{Fe}_3\text{O}_4 + 1/3\text{O}_2 + 3]$	-	750
Hematita	$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{O}_2 + 3$	-	675
Pirrotita	Fe_7S_8	$58 \times 10^3 \text{ Am}^{-1}$	280 – 320

Tabela 1: Correlaciona os minerais ferromagnéticos com as suas temperaturas de Curie.

7.2. Petrografia

Os estudos petrográficos, através de lâminas delgadas, permitiu caracterizar, detalhadamente, a composição mineralógica do granito Nanuque e também, seus aspectos texturais e microestruturais, visando a compreensão dos mecanismos deformacionais. As observações petrográficas foram feitas no microscópio Olympus BX-40 do Laboratório de Petrografia do Instituto de Geociências (IGC-USP).

8. DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES (CRONOGRAMA)

O primeiro semestre de trabalho concentrou-se na separação de amostras para a realização da ASM, gráficos de suscetibilidade magnética e padrão de forma do elipsoide de deformação.

Já no segundo semestre foram realizadas: análises termomagnéticas, histere e petrografia.

Por fim, todos os dados obtidos foram compilados e interpretados (mapas geológicos, referências bibliográficas), com o intuito de ter uma análise estrutural do granito Nanuque.

ATIVIDADES	jan	fev	mar	abr	mai	jun	Jul	ago	set	out	Nov	Dez
Revisão Bibliográfica												
Projeto Inicial												
Separação das amostras												
Preparação de Amostras para ASM (verificação de tamanho para adequação no aparelho)												
Relatório Parcial												
Petrografia												
Análise e compilação dos dados (interpretação da ASM, curvas termomagnéticas)												
Preparação das amostras para realizar análises termomagnéticas												
Redação da Monografia												
Entrega da Monografia												

Tabela 2: Cronograma com o desenvolvimento das atividades durante os semestres.

9. RESULTADOS

9.1. Tramas Magnéticas

A partir de 22 sítios de ASM foram extraídos 389 espécimes. Os resultados decorrentes das medidas de ASM estão apresentados na tabela abaixo (**Tabela 3**).

Sítio	UTM		N	Km (mSI)	P'	T	K1		K2		K3	
	X	Y					Dec	Inc	Dec	Inc	Dec	Inc
AR-554	272125	7924818	12	0,201	1,094	0,158	308,3	43,3	189,5	27,1	78,8	34,6
AR-555	271633	7926341	12	0,150	1,138	0,289	329,6	54,6	209,5	19,6	108,5	28,2
AR-607	273749	7927330	15	0,319	1,113	0,518	43,4	28,1	283	43,5	154,1	33,5
AR-626	275057	7926004	8	0,187	1,074	0,198	302,3	48,5	36,8	4	130,3	41,2
VS-01	269596	7930637	18	0,403	1,037	0,257	264,2	35,8	20,9	31,9	139,9	38
VS-02	269773	7929744	14	0,192	1,15	0,776	276,3	24,3	62,9	61,6	179,9	13,8
VS-03	273985	7924095	13	0,121	1,1	0,68	240,9	23,9	347,5	32,7	121,9	47,5
VS-04	272019	7928337	19	0,202	1,113	-0,11	331,9	60,2	116,5	25	213,7	15,1
VS-05	272648	7923707	16	0,237	1,148	0,372	318,5	43,9	209,5	18,7	102,9	40,2
VS-06	273006	7923609	14	0,343	1,141	0,712	309	46,4	213,5	5,2	118,6	43,2
VS-07	272809	7922328	19	0,236	1,151	0,478	321,2	31	215,8	23,7	95,2	49,2
VS-08	272721	7921995	26	0,312	1,15	0,101	304,4	23,1	204,1	22,8	74,6	56,5
VS-09	268796	7927634	22	0,163	1,104	0,148	314,8	54,1	67,6	15,6	167,4	31,4
VS-10	272560	7920901	18	0,097	1,116	0,123	319,7	17,8	194,5	60,9	57,3	22,3
VS-11	271597	7921475	28	0,208	1,14	0,376	319	45,3	173,6	39,2	68,2	18
VS-12	271068	7921225	25	0,152	1,16	0,272	327,4	57,3	175,4	29,6	78	12,7
VS-13	273181	7921848	15	0,254	1,145	0,54	216,1	13,4	311,4	21,3	96,2	64,4
VS-14	273397	7921610	17	0,394	1,179	0,329	315,2	40,8	211,6	15,1	105,8	45,3
VS-15	274440	7924097	14	0,187	1,085	0,847	271,2	9,1	4,7	20,7	158,7	67,2
VS-16	275030	7924100	19	0,204	1,097	0,633	321	26,9	228	5,8	126,8	62,4
VS-17	272950	7924225	22	0,223	1,139	0,492	313,6	38,5	221,7	2,3	128,8	51,4
VS-18	270845	7924239	23	0,146	1,131	0,079	322,7	62	190,7	19,6	93,6	19,2

Tabela 3: Parâmetros obtidos através da leitura de dados (ASM) pelo programa Anisoft 4.2. Onde; n: Número de espécimes medidos; Km: Suscetibilidade média de cada sítio (Km/10⁻³ SI); P': Grau de anisotropia corrigido; T: Forma do elipsóide; Dec: Declinação em graus de k1, k2 e k3; Inc: Inclinação em graus de k1, k2 e k3.

Observa-se pela tabela (**Tabela 3**) que a direção predominante da foliação, dada por seu polo, k3 é NE-SW, mergulhando para NW. Identifica-se ainda uma segunda orientação da foliação, menos expressiva com direção NW-SE (**Figura 12**: AR-554, VS-04, VS-10, VS -11 e VS-12) mergulhando tanto para SW como para NE. Nota-se ainda que ambas direções de foliação estão com ângulos de mergulho variando entre 20 a 80 graus.

Já a lineação magnética (representada por k1) possui caimento para NW, predominantemente, com ângulos variando entre 9 até 62 graus.

O granito Nanuque é intrusivo na Formação Tumiritinga (Biotita-granada-silimanita gnaiss) e no Complexo Gnáissico Kinzigítico (Biotita-granada-cordierita gnaiss), (**Figuras 13 e 14**). No mapa geológico de Itabirinha de Mantena (SE.24-Y-A-V) a direção da foliação principal do granito Nanuque está aproximadamente na

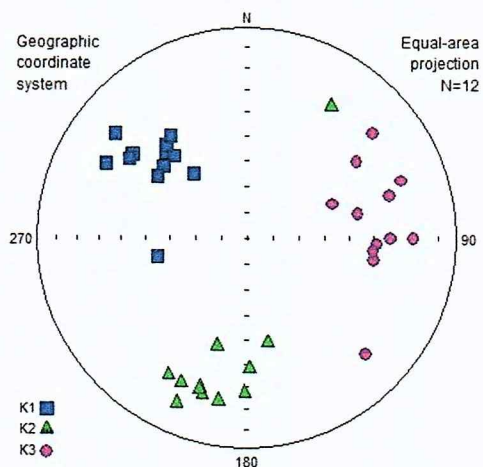
mesma direção da foliação presente na Formação Tumiritinga NW-SE, no entanto, pelos resultados apresentados, foi constatado que a direção da foliação do granito Nanuque é NE-SW, paralela a subparalela à direção no Complexo Gnáissico Kinzigítico.

Para uma caracterização mais abrangente da geologia estrutural do Granito Nanuque, os dados obtidos na ASM foram apresentados em estereogramas (**Figura 11**), os quais mostram que o plano da foliação tem direção predominantemente NE-SW, mergulhando para NW (**Figura 11**: AR-555, AR-607, AR-626, VS-01, VS-05, VS-06, VS-09, VS-13, VS-14, VS-15, VS-16, VS-17).

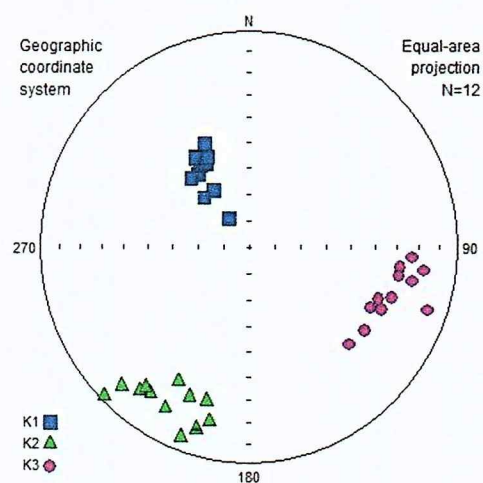
É importante a caracterização da lineação magnética, pela sua relação próxima com a cinemática, ela nos indicará as direções de transporte, colocação do corpo granítico. No diagramas, nota-se que predominantemente esta lineação tem caimento para NW (**Figura 11**: AR-554, AR-555, AR-626, VS-04, VS-05, VS-06, VS-07, VS-08, VS-09, VS-10, VS-11, VS-12, VS-14, VS-16, VS-17, VS-18).

Os diferentes estereogramas (**Figura 12**) permitiram separar a área em três domínios distintos: domínio norte, central e sul. O domínio norte (**Figura 12A**: VS-01, VS-02, VS-04) com direção da foliação predominantemente NE-SW, com mergulhando para NW. O domínio central (**Figura 12B**: VS-05, VS-06, VS-07, VS-08) nota-se uma mudança de direção da foliação para N-S mergulhando para W e por fim no domínio sul (**Figura 12C**: VS-10, VS-11, VS-12) a direção é NW-SE mergulhando para SW.

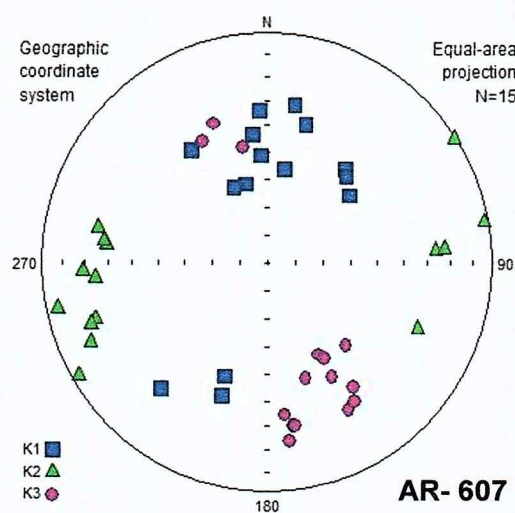
Em paralelo aos estereogramas, também está apresentado o mapa geológico com as foliações e lineações obtidas pelos dados de ASM (**Figuras 13 e 14**).



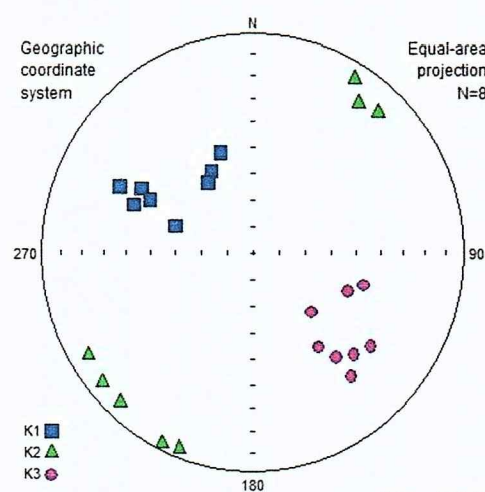
AR- 554



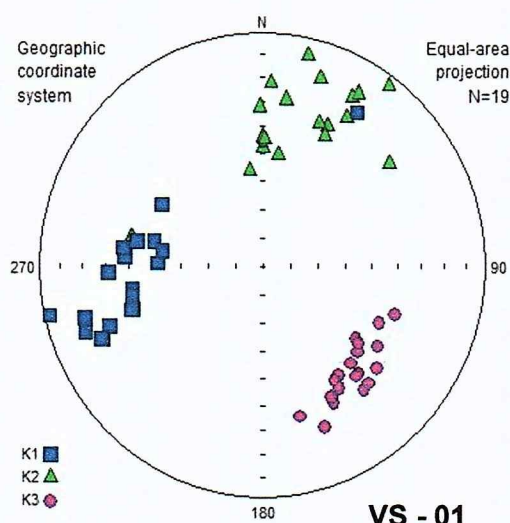
AR- 555



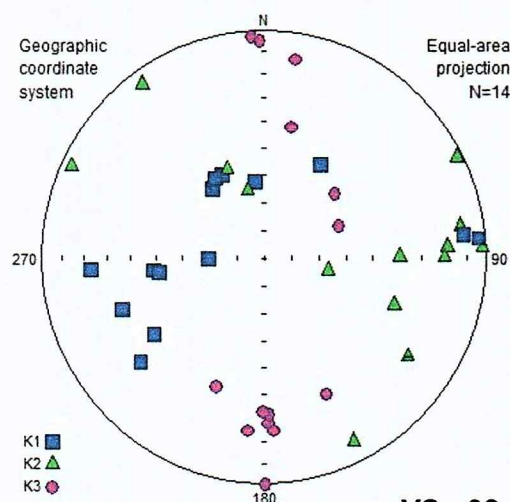
AR- 607



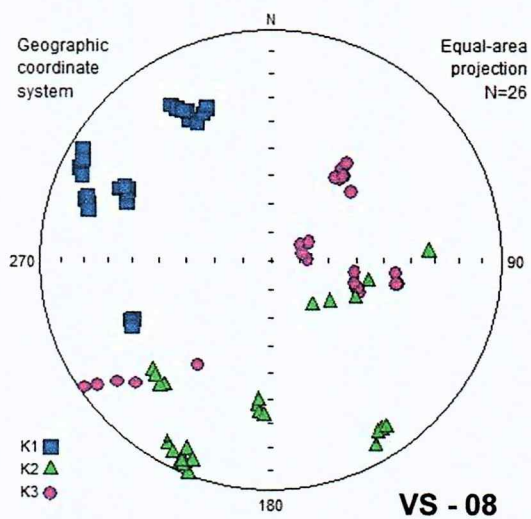
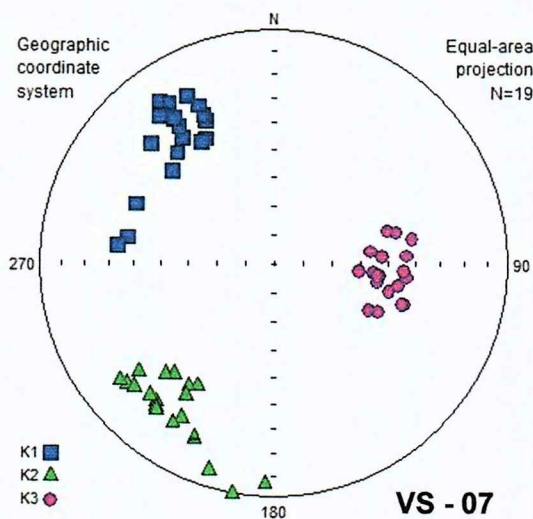
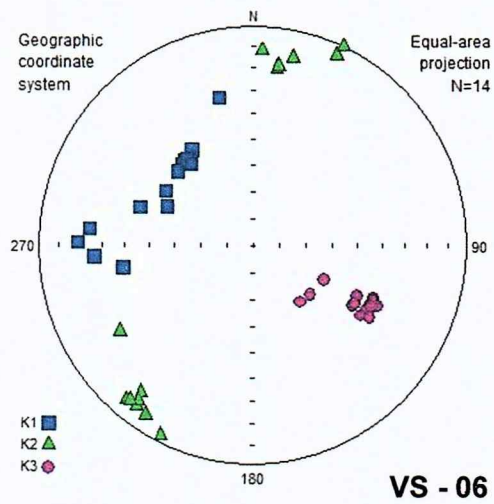
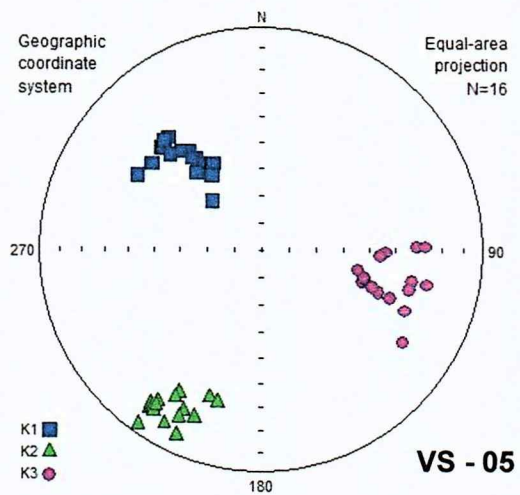
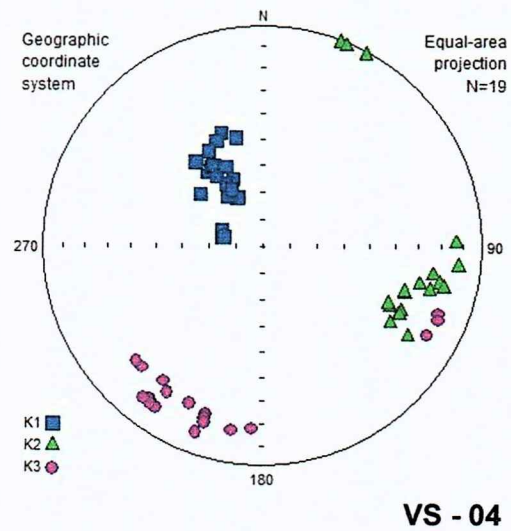
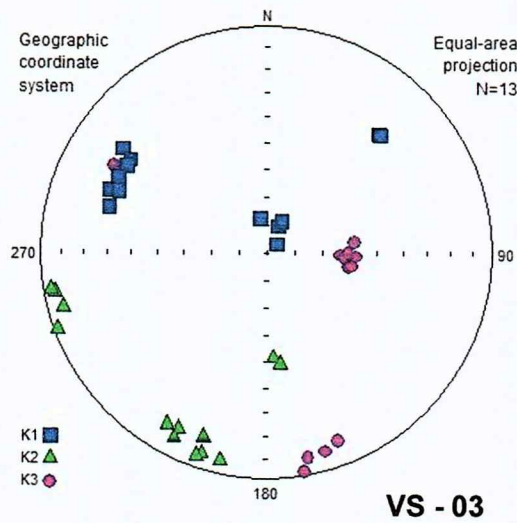
AR- 626

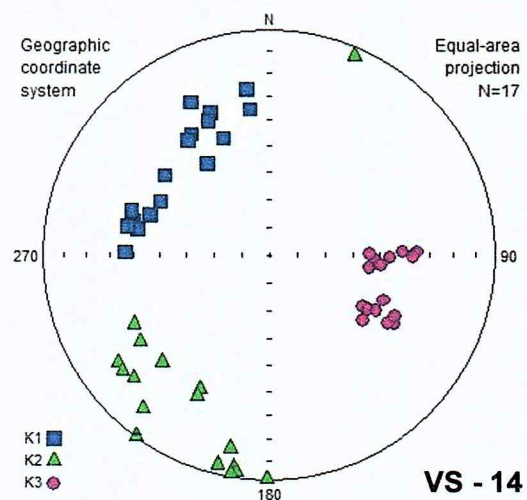
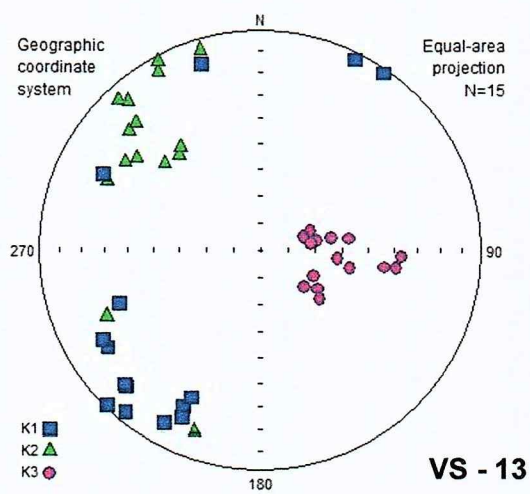
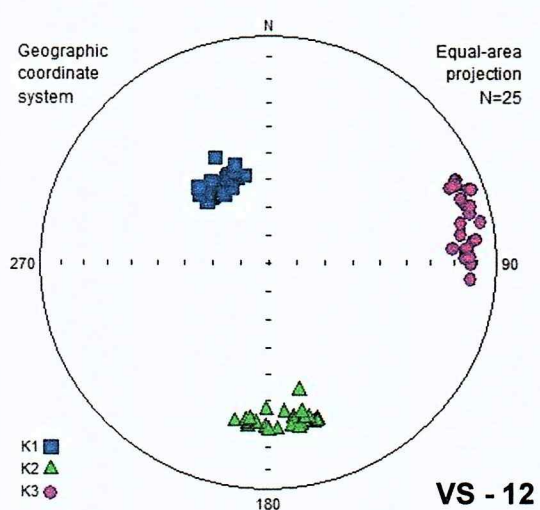
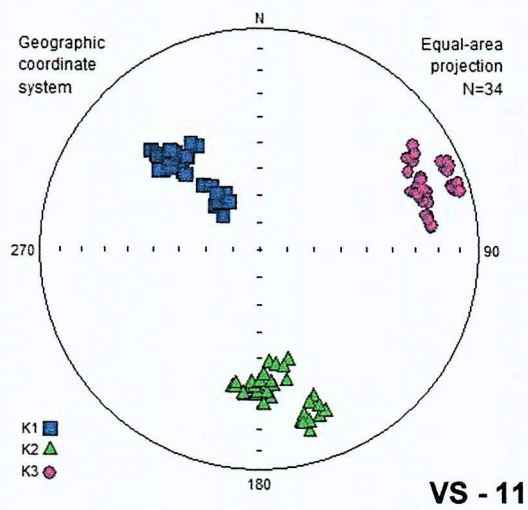
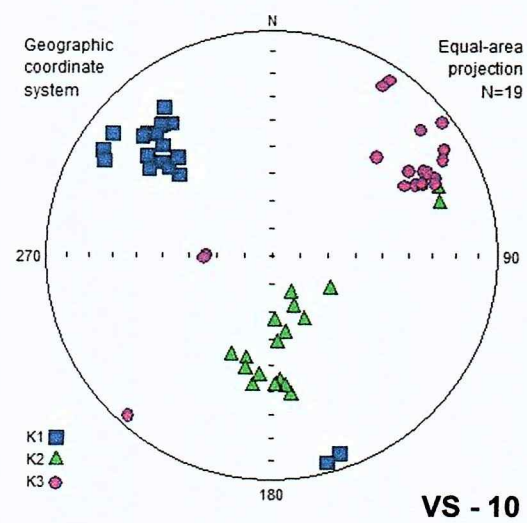
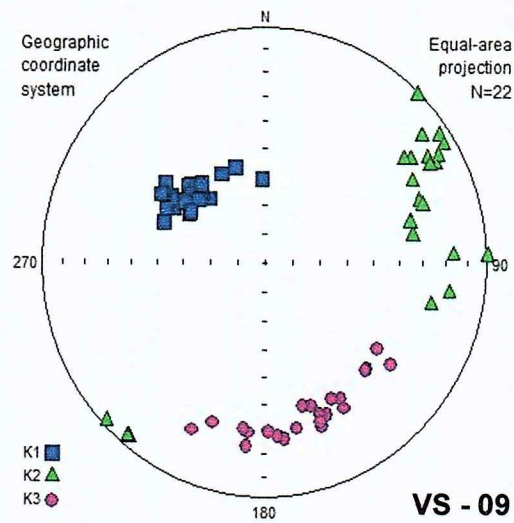


VS - 01



VS - 02





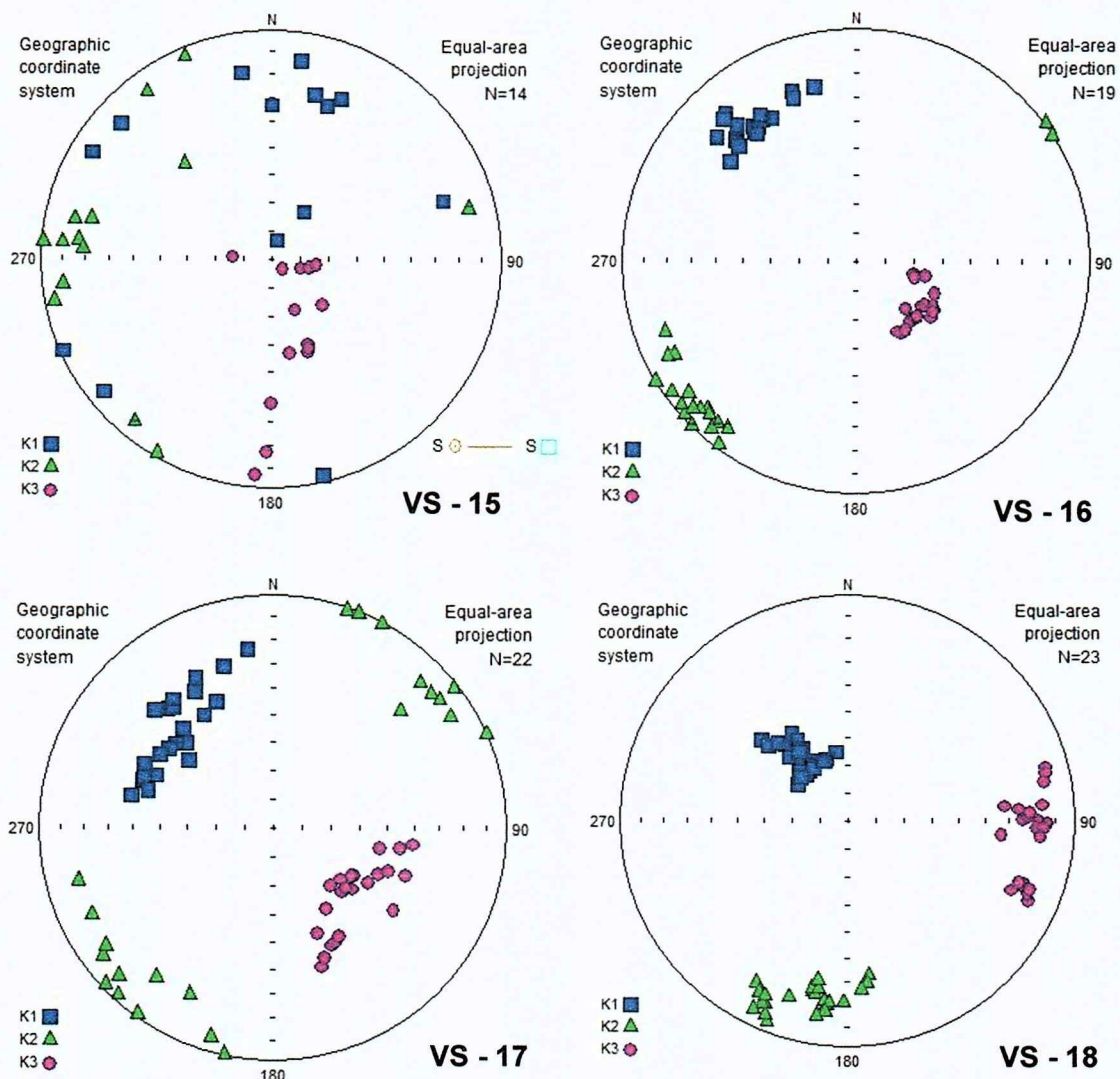
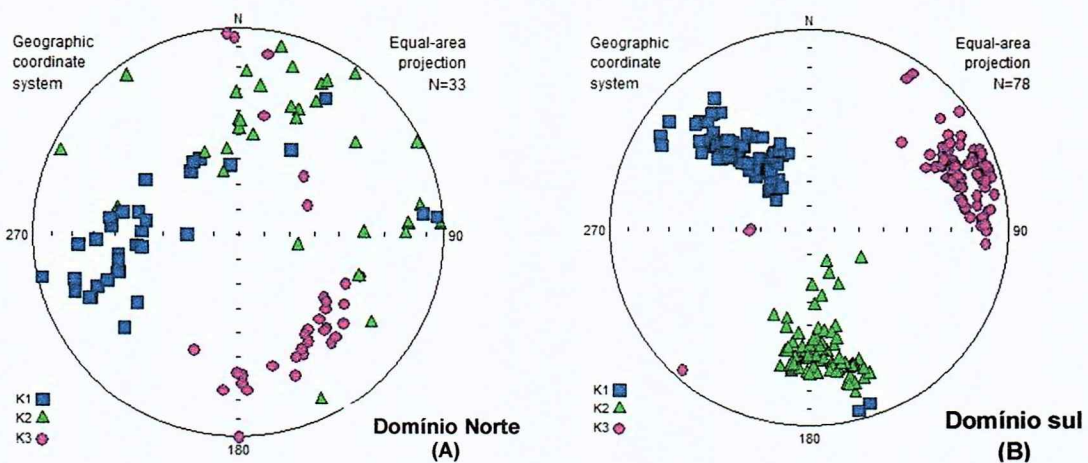


Figura 11: Na figura está apresentado os estereogramas de todas as amostras analisadas.



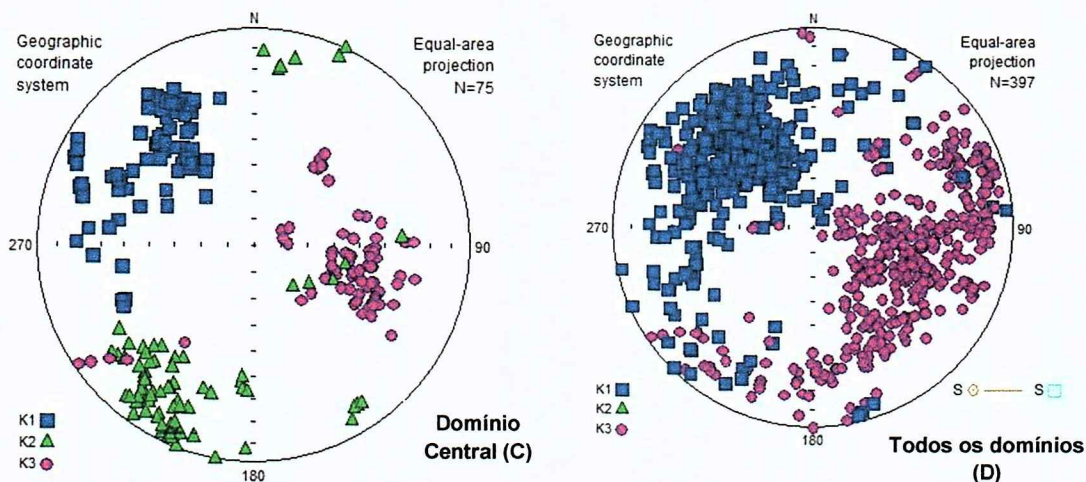


Figura 12: Apresentação dos diagramas, caracterizando seus diferentes domínios estruturais.

Os mapas geológicos de foliação magnética e de lineação (**Figuras 13 e 14**).

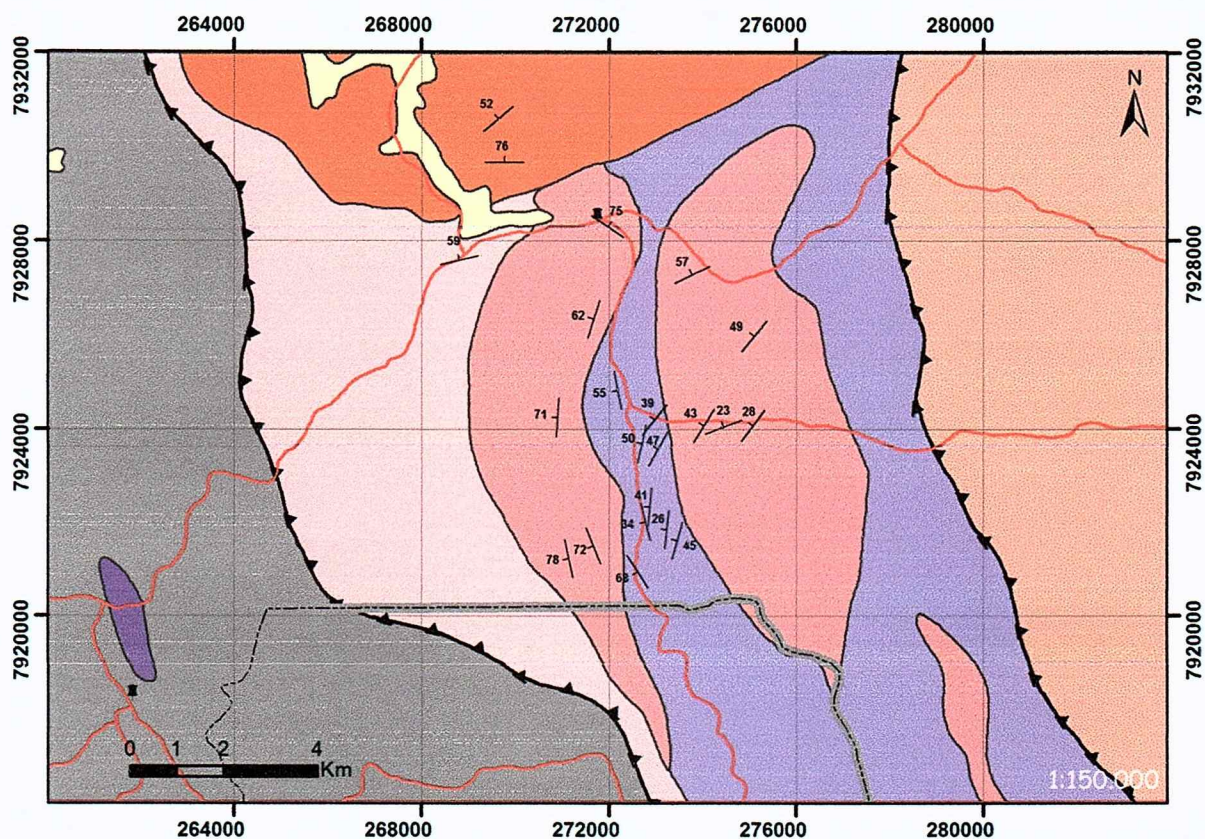


Figura 13: Mapa geológico de foliação magnética. Mapa geológico (Oliveira, M.J.R; et al., 2000. Projeto Leste - Relatório mapa integrado 1:500.000 CPRM). 1: Tonalito Floresta – Biotita tonalito com granada, cisalhado; 2: Formação Tumiritinga – Biotita-granada-sillimanita gnaiss com estrutura proto à milonítica; 3: Aluvião – Depósitos aluvionares inconsolidados; 4: Granito Caladão – Microclina granito porfírico com matriz de granulação grossa; 5: Granito Ataléia – Biotita granito com cordierita; 6: Granito Nanuque – Granito porfírico e orientado, biotita tonalito com

granada; 7: Complexo Gnaissico Kinzigítico – Biotita-granada-sillimanita gnaisses e variações; 8: Leucogranito Carlos-Chagas – Granito de cor branca, localmente de composição granodiorítica. Em vermelho as estradas e em cinza tracejado a divisa MG-ES. A classe da amostragem está descrita por cores; Verde: ASM; Preto: Petrografia; Amarelo: Geocronologia. Neste é notado a localização do granito Nanuque, objeto de estudo do trabalho de formatura. No mapa nota-se ainda a sua orientação N-S bem como a foliação regional subparalela ao mesmo.

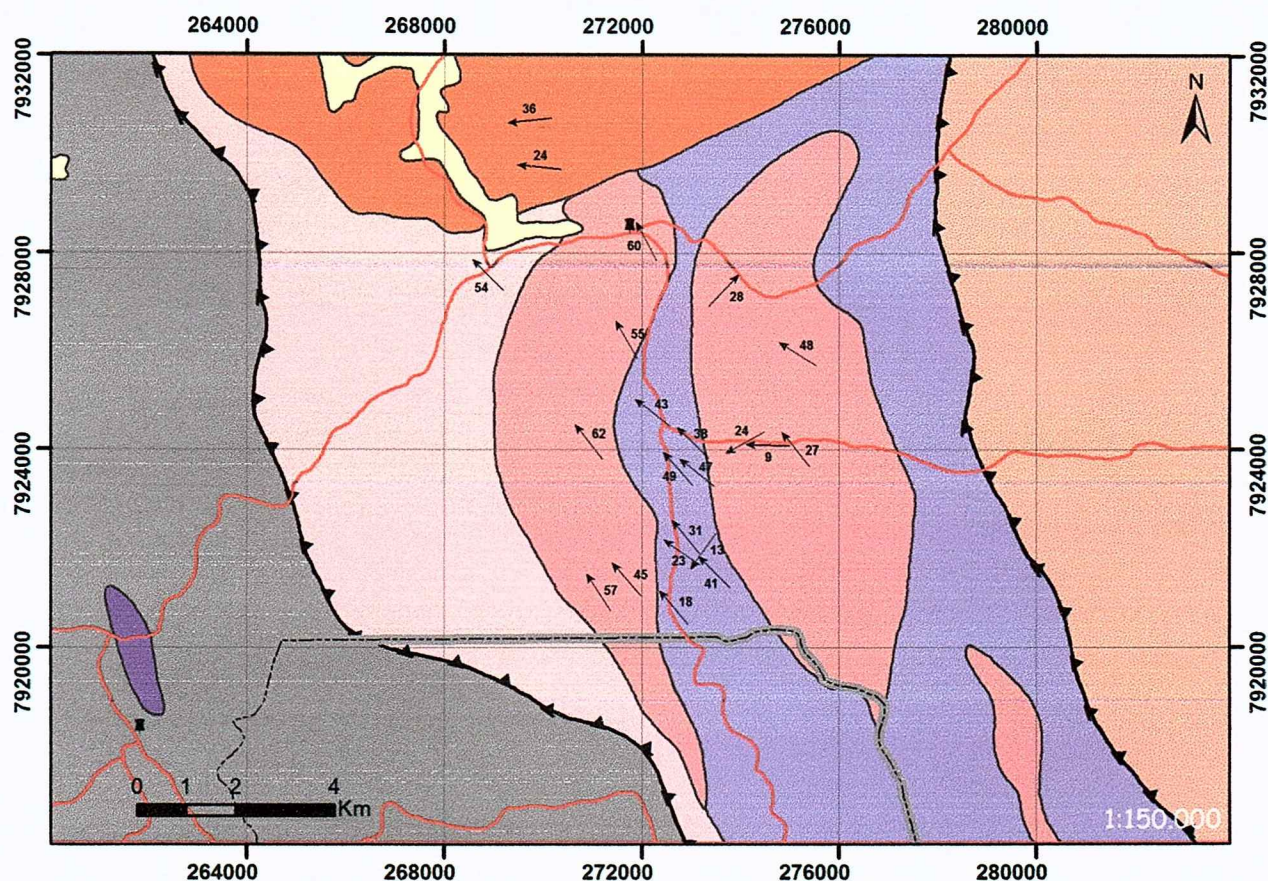


Figura 14: Mapa geológico de linhação magnética.

9.1.1. Suscetibilidade magnética

Em geral a suscetibilidade magnética tem o comportamento predominantemente paramagnético. No **Gráfico 2**, ilustra-se os resultados de suscetibilidade magnética em função do grau de anisotropia. O grau de anisotropia apresenta valores entre 1,037 até 1,179. A suscetibilidade paramagnética caracteriza-se por apresentar valores típicos de minerais paramagnéticos 10^{-4} e 10^{-5} SI. No **Gráfico 1** é exibida a distribuição da frequência de valores de suscetibilidade de 389 espécimes, observa-se que a maioria das medidas de χ (mSI) estão variando entre 0,0125 e 0,20.

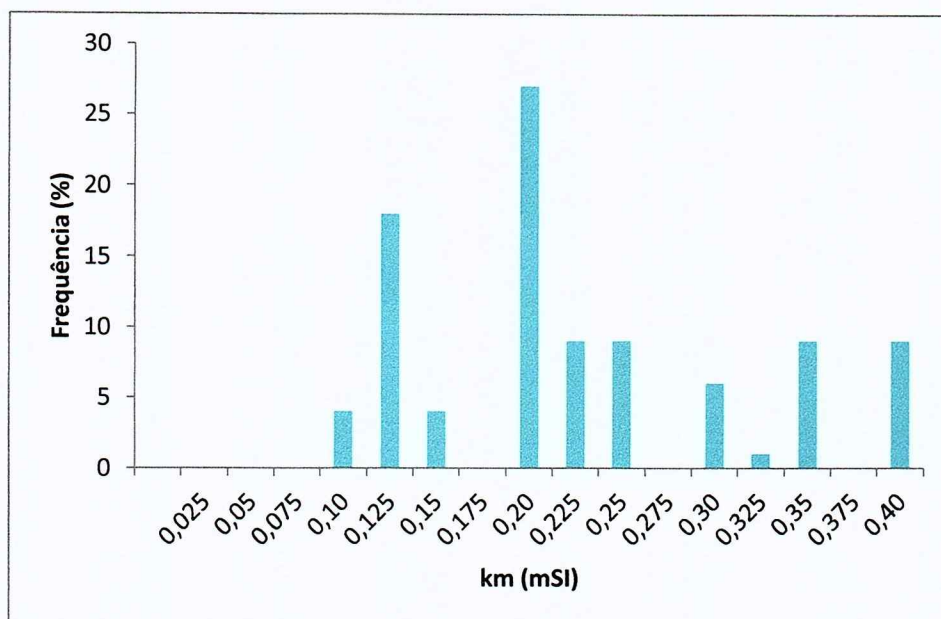


Gráfico 1: Histograma mostrando a frequência de suscetibilidade magnética

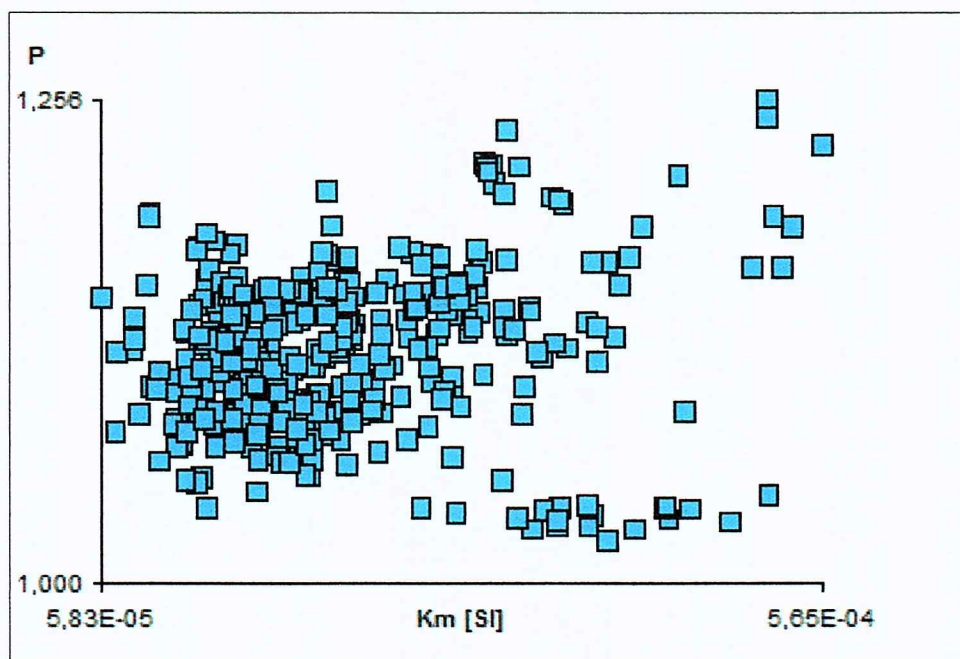


Gráfico 2: No gráfico (P X km), evidencia-se a predominância de suscetibilidade paramagnética nas amostras analisadas.

9.1.2. Forma do elipsóide de deformação

O parâmetro de forma do elipsóide (T) é caracterizado pela relação de k_1 (eixo maior), k_2 (eixo intermediário) e k_3 (eixo mínimo). Na figura abaixo (**Figura 15**), são apresentados os três tipos de elipsóides: esférico, oblato e prolato. A forma do elipsóide nos indicará a geometria do corpo deformado, se houve achatamento (oblato) ou alongamento (prolato). No **Gráfico 3**, apresenta-se o histograma da forma do elipsóide de deformação em relação a frequência (obtida através dos 22 sítios). O elipsóide de anisotropia de suscetibilidade é predominantemente oblato (elipsóides neutros variam entre -0,25 a 0,25).

O **Gráfico 4** mostra que os elipsóides de ASM são predominantemente oblatos. O grau de anisotropia ($P=k_1/k_3$) tem uma variação de 1,05 a aproximadamente 1,256.

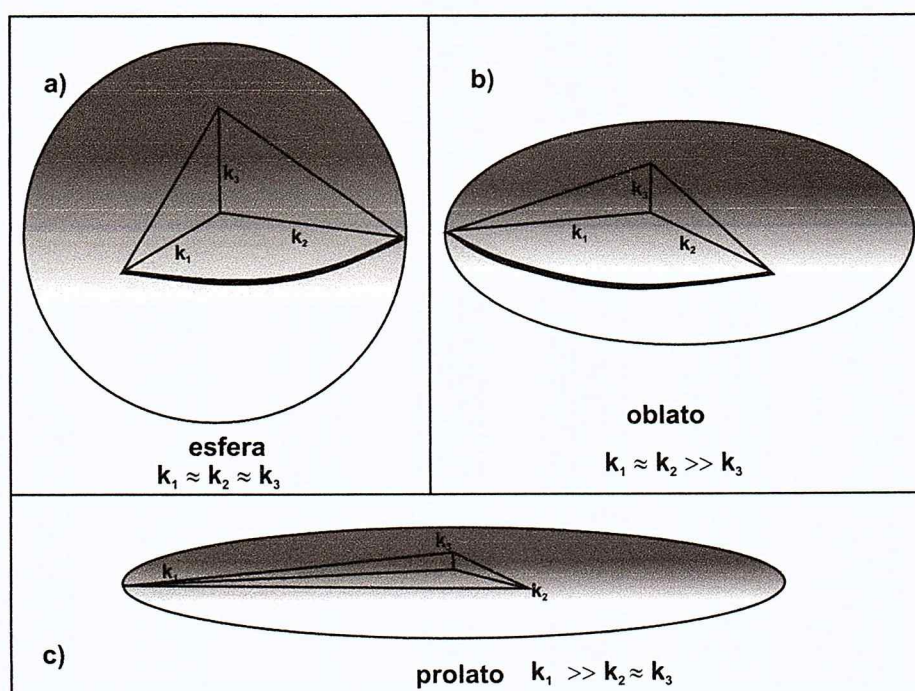


Figura 15: Formas dos elipsóides de ASM em função da magnitude de k_1 , k_2 e k_3 .

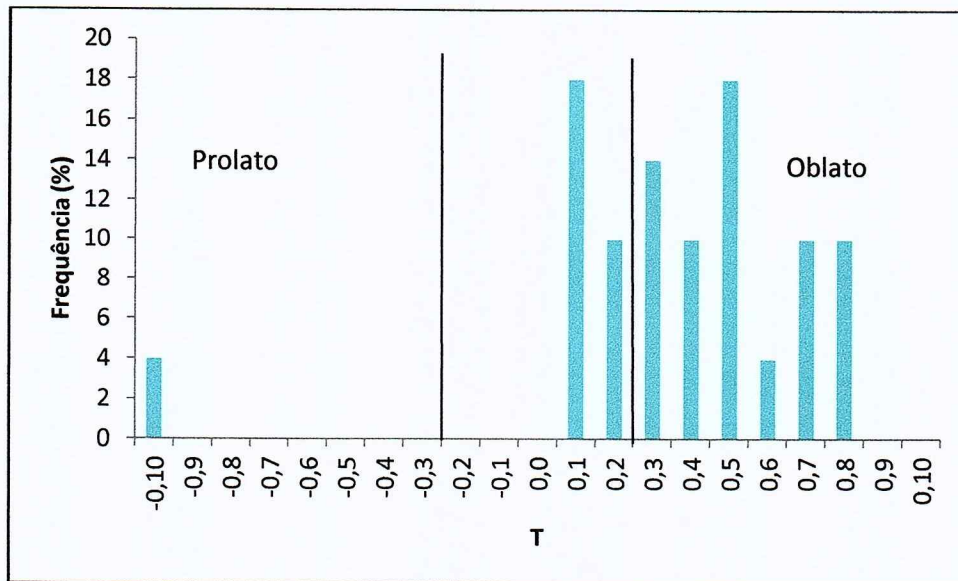


Gráfico 3: Histograma de valores de T em relação a frequência. Valores menores que -0,25 (prolatos), entre -0,25 a 0,25 (neutros), maiores que 0,25 (oblatos)

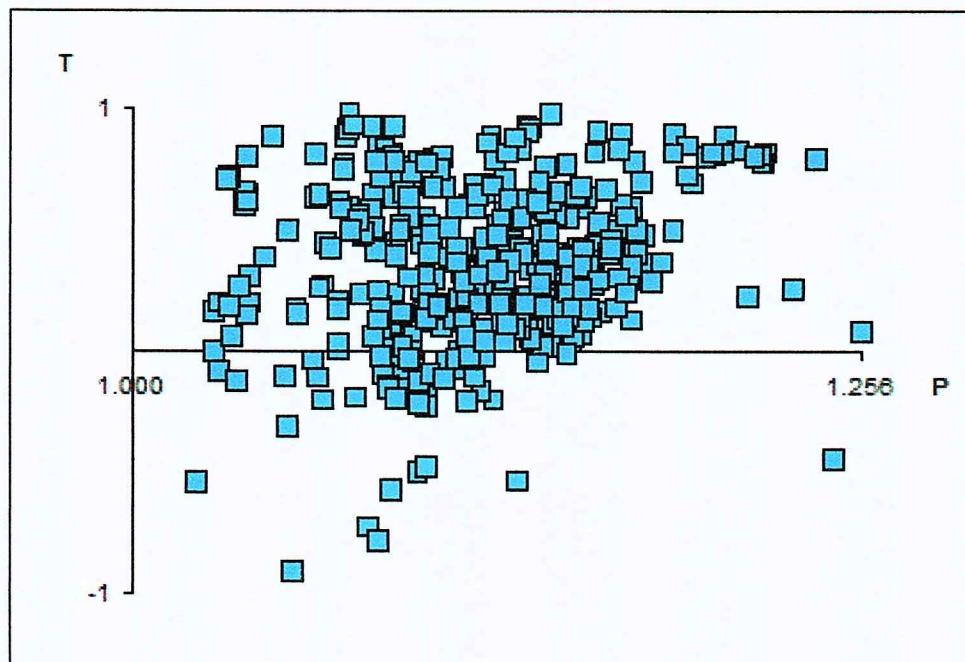


Gráfico 4: Diagrama T X P, indicando o predomínio de valores de $T > 0$, elipsoides do tipo oblato. Obtida através do programa Anisoft.

9.2. Petrografia e Microestruturas

De acordo com as descrições petrográficas, o granito Nanuque tem composição mineralógica (modal) de: Feldspato (45%), quartzo (25%), biotita (15%), granada (5%),

sendo os minerais traços (10%) compostos por muscovita, zircão e opacos. Apresenta estrutura foliada, definida majoritariamente pela orientação preferencial da biotita, (**Figura 17d**). Textura fanerítica fina e porfiroblástica (quartzo e feldspato).

A composição modal dos minerais (Silva, J.N., Relatório Nanuque, Mapa geológico, Folha SE.24-V-D-IV, escala 1:100.000) indica uma rocha granítica a granodiorítica (**Figura 16**)

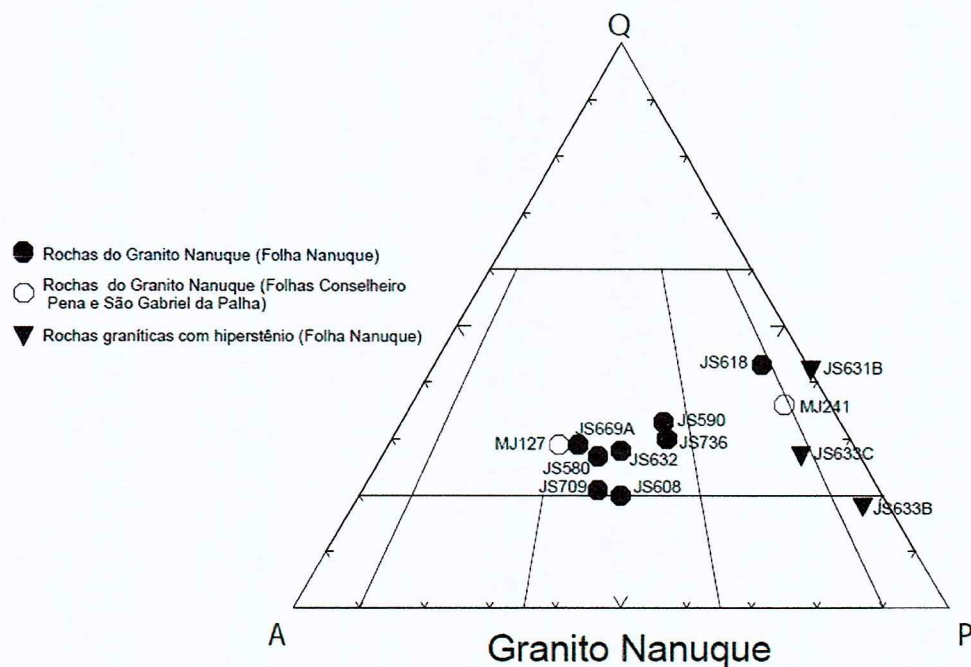


Figura 16: Composição modal do granito Nanuque. Extraído de Silva, J.N., Relatório Nanuque, Mapa geológico, Folha SE.24-V-D-IV, escala 1:100.000

9.2.1. Feldspato

Constituindo aproximadamente 50% da composição mineralógica do granito, são inequigranulares (variam de granulação fina a média), com contatos poligonalizados, o hábito varia de anédrica a subédrica, com geminação do tipo Carlsbad (**Figura 17a**) e em grade (**Figura 17b**). Nota-se ainda que alguns cristais de feldspato possuam orientação paralela à foliação, marcada pela biotita.

9.2.2. Quartzo

O segundo maior mineral constituinte do granito Nanuque é importante, pois apresentam extinção ondulante (**Figura 17c**), que caracterizam deformação no estágio dúctil da rocha. Sua granulação varia de média a grossa, com hábito subédrica e com contatos retos, poligonalizados. São observadas inclusões de biotita no quartzo.

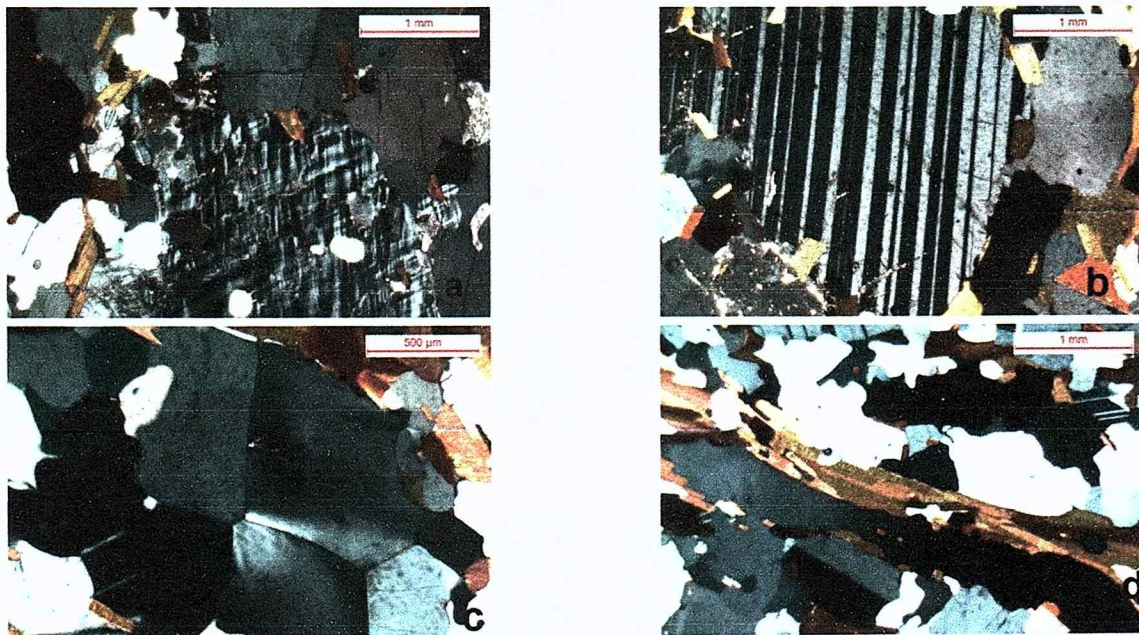


Figura 17: (a) feldspato com geminação Carlsbad, com inclusão mineral; (b) feldspato com geminação em grade, com inclusão mineral de biotita e muscovita; (c) quartzo com extinção ondulante e contatos retos, poligonalizados; (d) quartzo com orientação paralela a a biotita, marcam a foliação magmática da rocha. (Sorze, 2013)

9.2.3. Biotita

Sendo um dos minerais com granulação mais fina na rocha, apresenta formas euédrica e subédricas e contatos predominantemente retos (**Figura 18g, f**). Localmente aparecem inclusas em quartzo e feldspato. Já comprovado pela ASM (teor paramagnético) a biotita marca a estrutura foliada (foliação magmática) observada no granito.

9.2.4. Granada

Com granulação média, com cristais subédricos, fraturado e com inclusões minerais (biotita, quartzo e zircão). Comumente, intercrece com a biotita. Nota-se, que a granada possui orientação paralela a biotita (**Figura 18h**), no entanto também são observadas granadas com orientação reta em relação a foliação marcada pela biotita.

A granada estaria, portanto, relacionada aos eventos pré (**Figura 18g**) e sin da colocação do granito Nanuque.

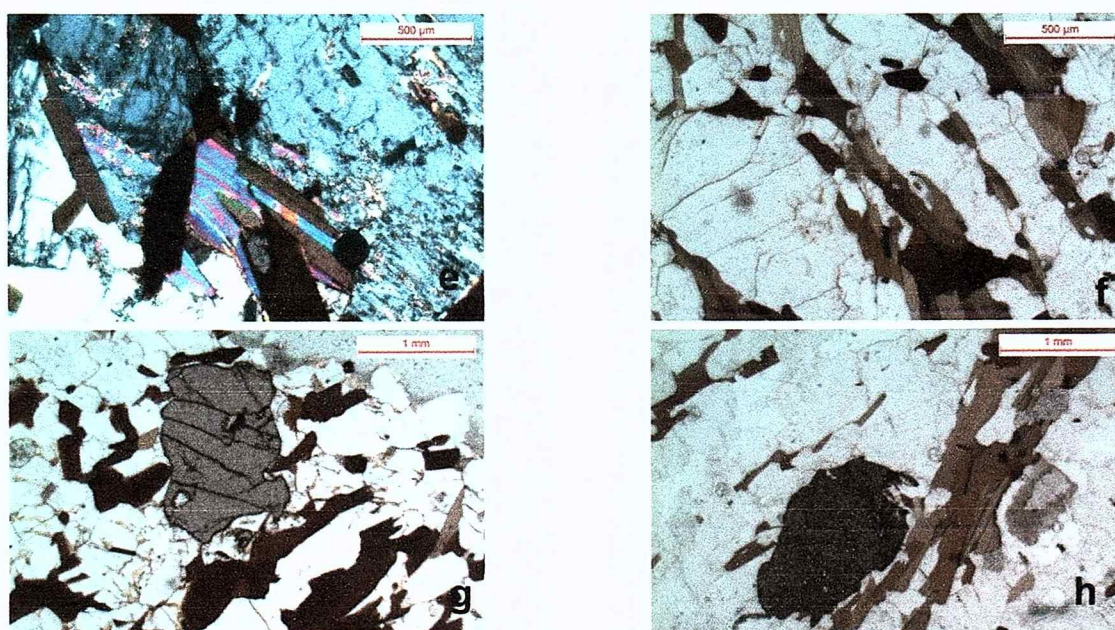


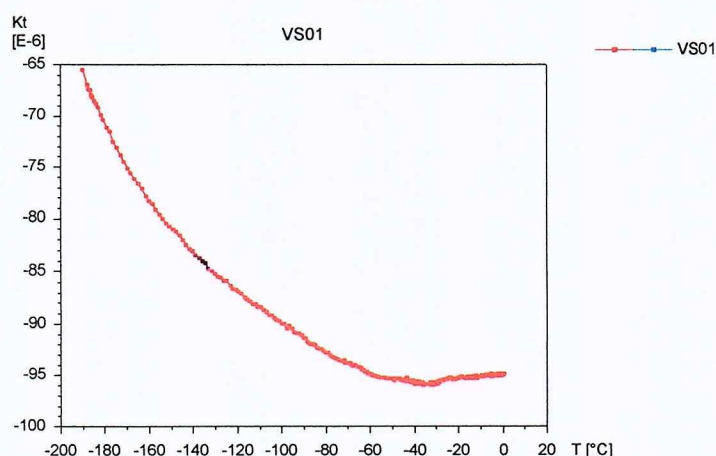
Figura 18: (e) formação de biotita, decorrente da muscovita; (f) biotita sem deformação intracristalina definindo a foliação magmática da rocha. (g) granada em contato discordante da foliação marcada pela biotita; (h) granada, levemente alterada, sendo circundada pela foliação definida pela biotita (Sorze, 2013)

9.3. Mineralogia Magnética

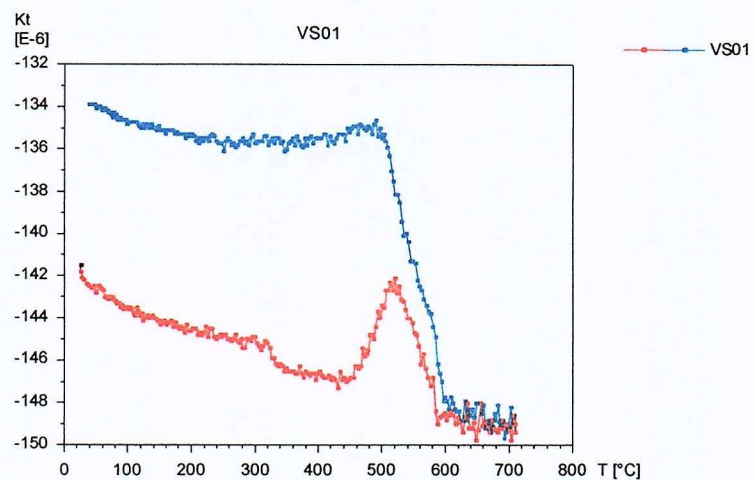
Para as análises termomagnéticas foram selecionados nove sítios. A escolha dos sítios foram feitas com base nas maiores suscetibilidade magnéticas e na variação quanto a dispersão das orientações de k_1 , k_2 e k_3 em pontos relativamente próximos.

Nas curvas k-T (**Gráfico 5**: Amostras VS-02, VS-06, VS-09, VS-10, VS-15 E VS-16), tem-se uma diminuição da suscetibilidade magnética com o aumento da temperatura, entretanto não se observa transição de Verney e também sem qualquer alteração da suscetibilidade nas proximidades da temperatura de Curie, caracterizando um comportamento de minerais paramagnéticos. Nas amostras VS-01, VS-05 e VS-12 (**Gráfico 5**), observa-se uma inflexão (aumento da suscetibilidade magnética) da curva em torno de 500°C, tratando-se possivelmente da presença de magnetita. Após está temperatura (500°C) a suscetibilidade volta a cair com o aumento da temperatura. Nas amostras VS-10, VS-12, VS-15 e VS-16 (**Gráfico 5**), o aquecimento de baixa temperatura registra um alto em torno da temperatura 0°C, sugerindo a presença de minerais ferromagnéticos. As demais amostras definem uma reta com inclinação muito suave, caracterizando um comportamento de minerais paramagnéticos.

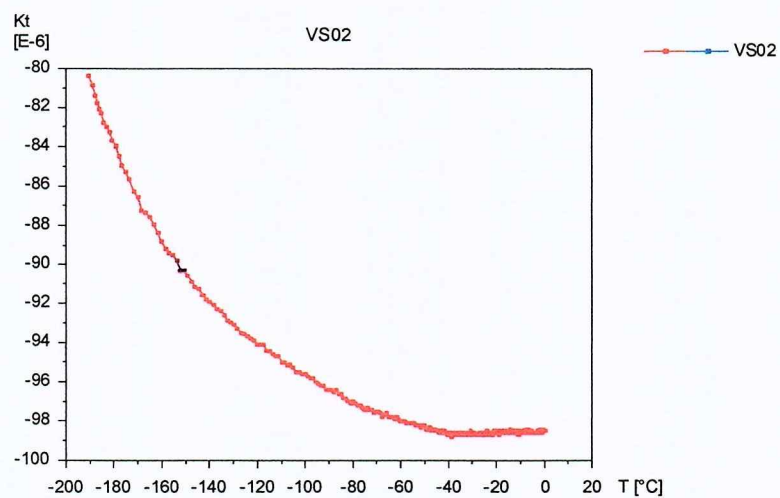
AMOSTRA: VS-01 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



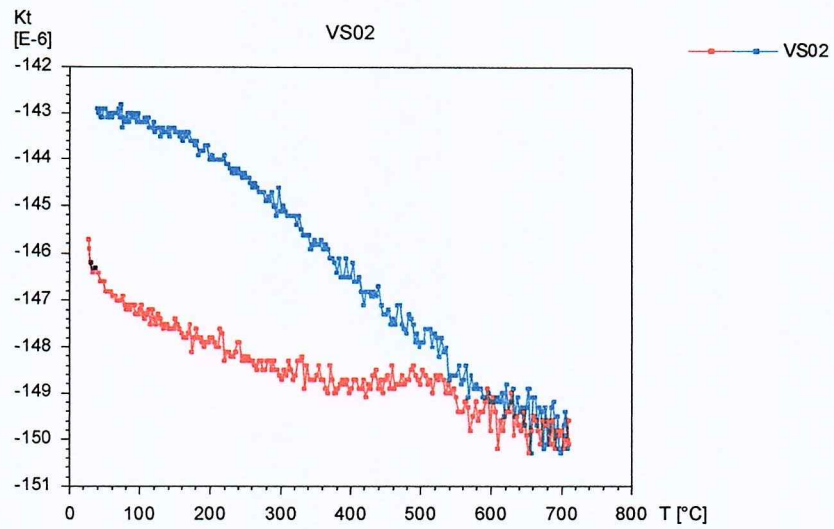
AMOSTRA: VS-01 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°C)



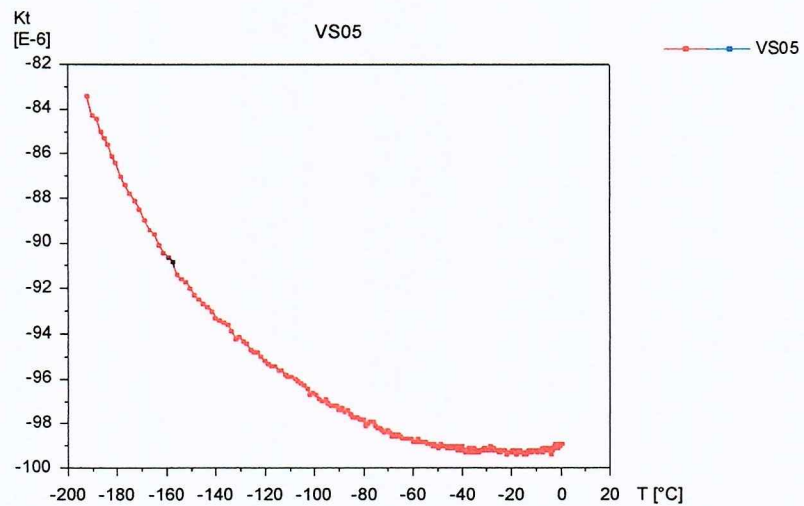
AMOSTRA: VS-02 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



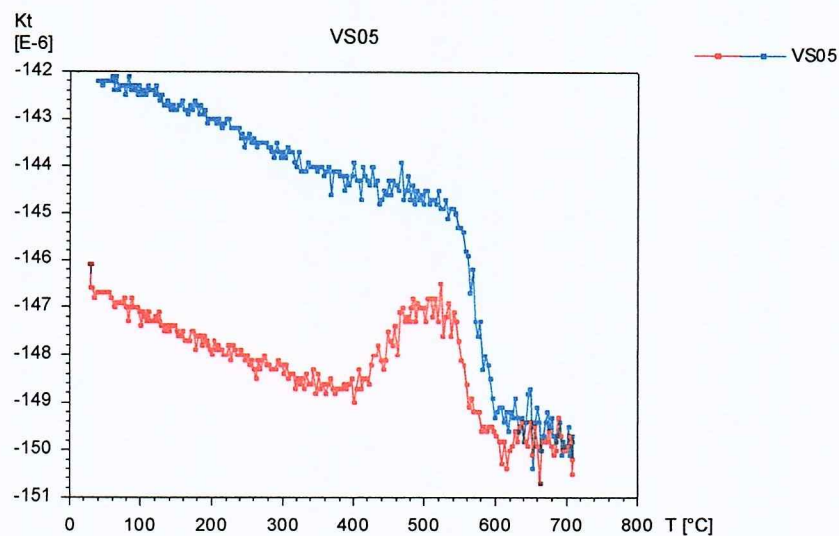
AMOSTRA: VS-02 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°c)



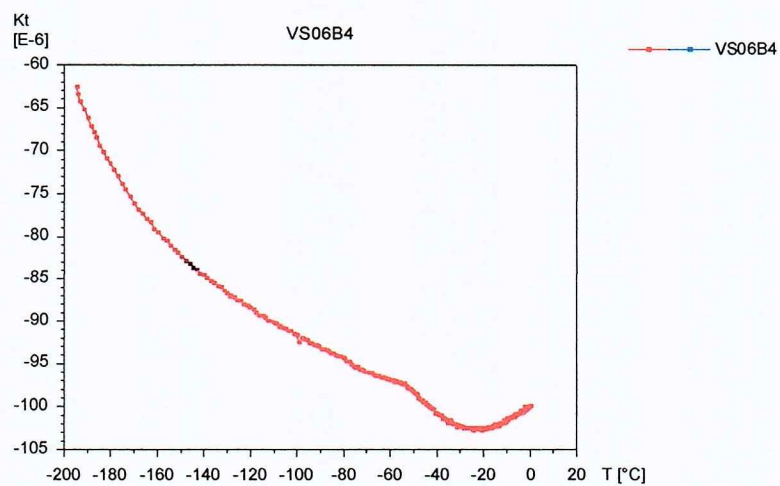
AMOSTRA: VS-05 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



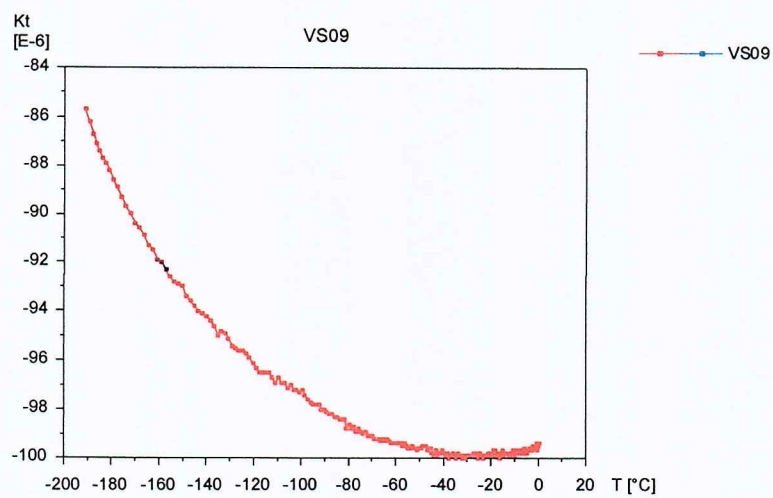
AMOSTRA: VS-05 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°C)



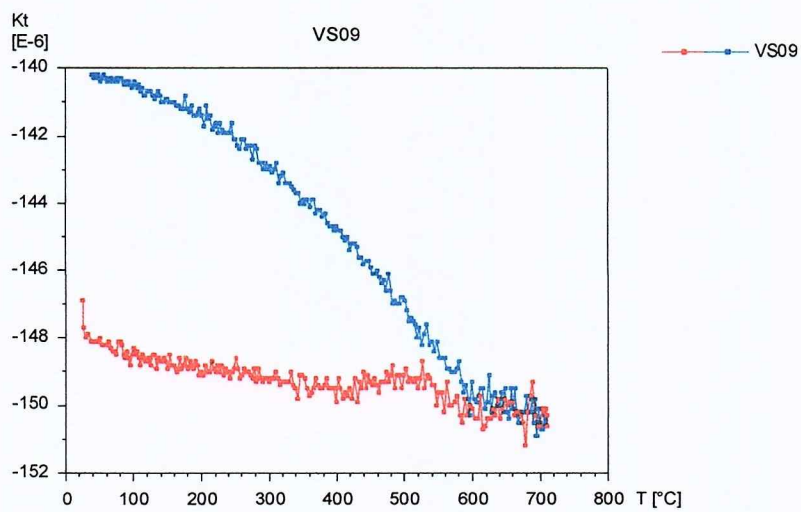
AMOSTRA: VS-06 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



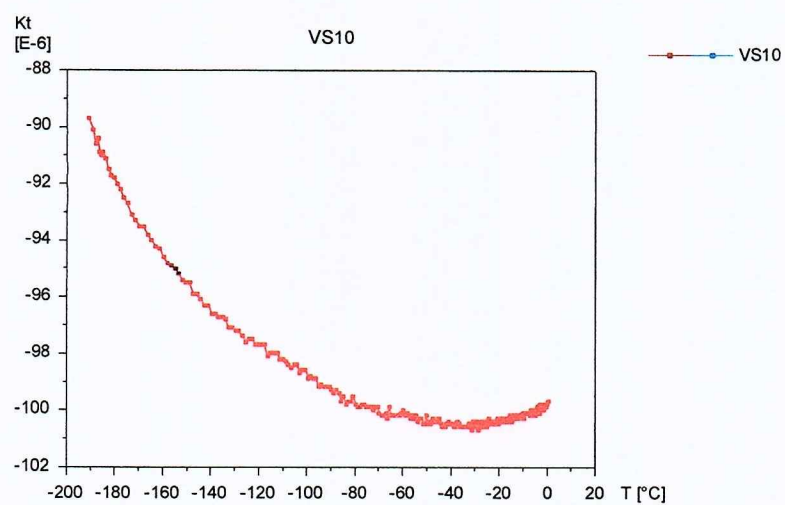
AMOSTRA: VS-09 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



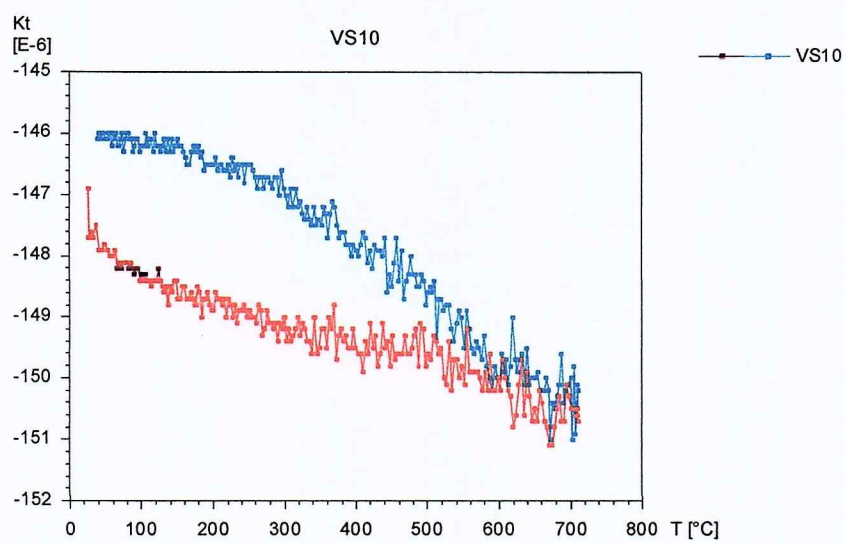
AMOSTRA: VS-09 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°C)



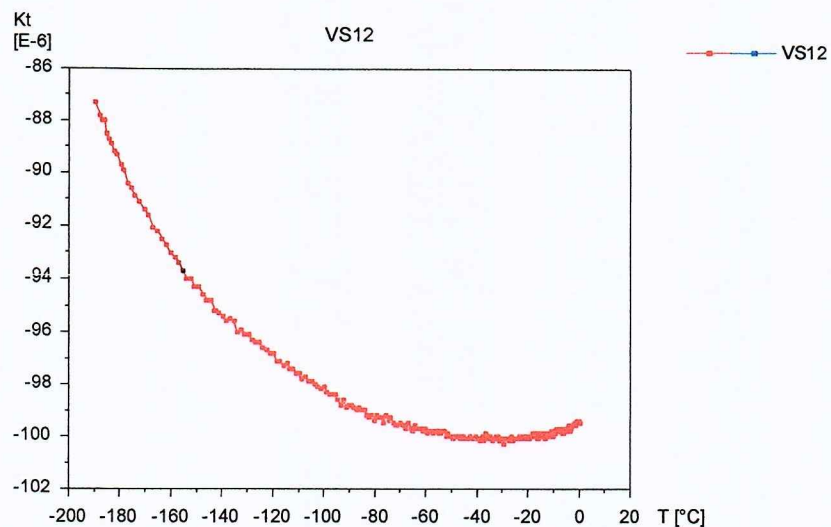
AMOSTRA: VS-10 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



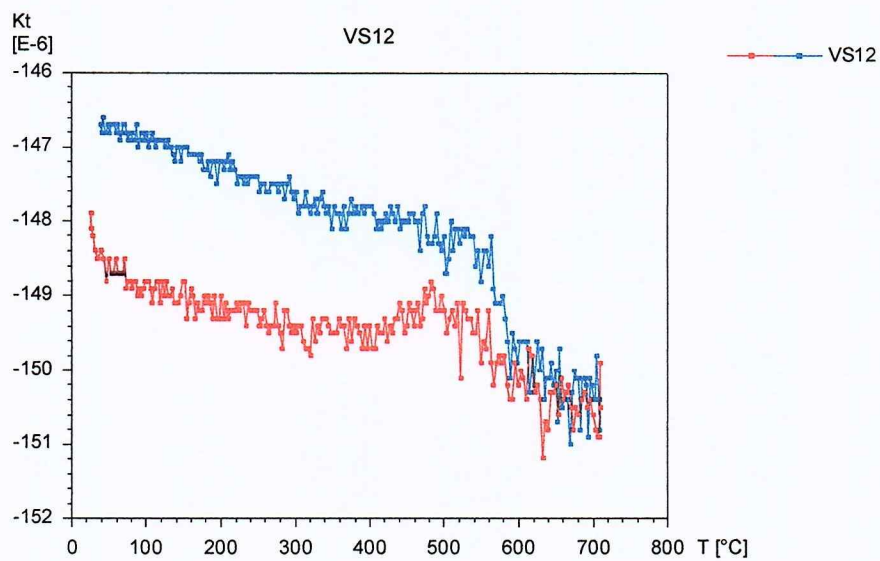
AMOSTRA: VS-10 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°C)



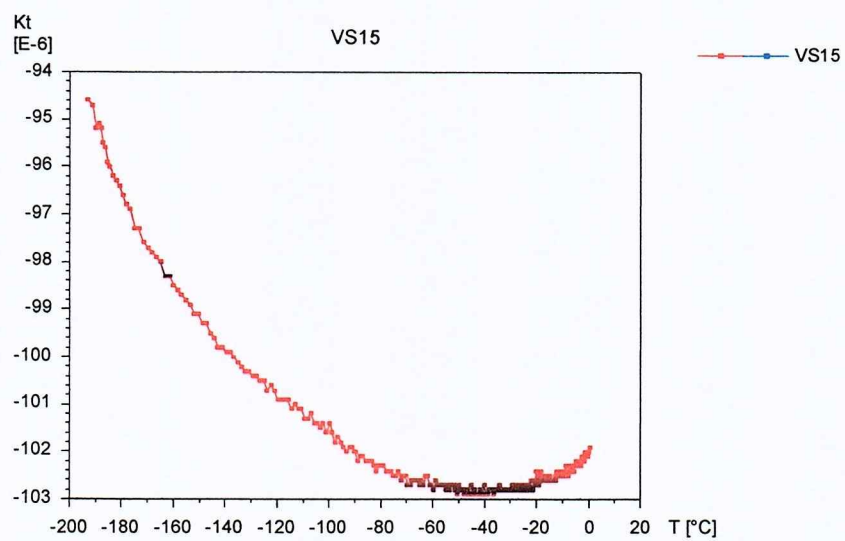
AMOSTRA: VS-12 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



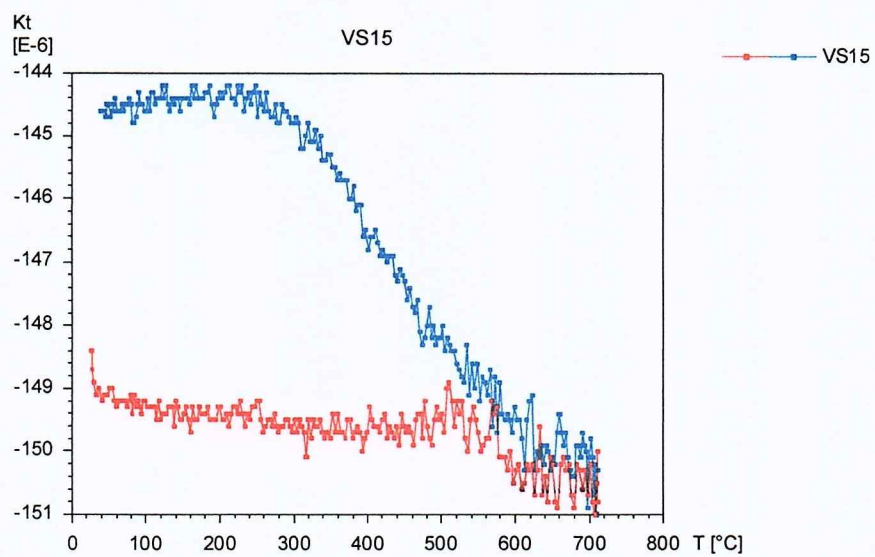
AMOSTRA: VS-12 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°c)



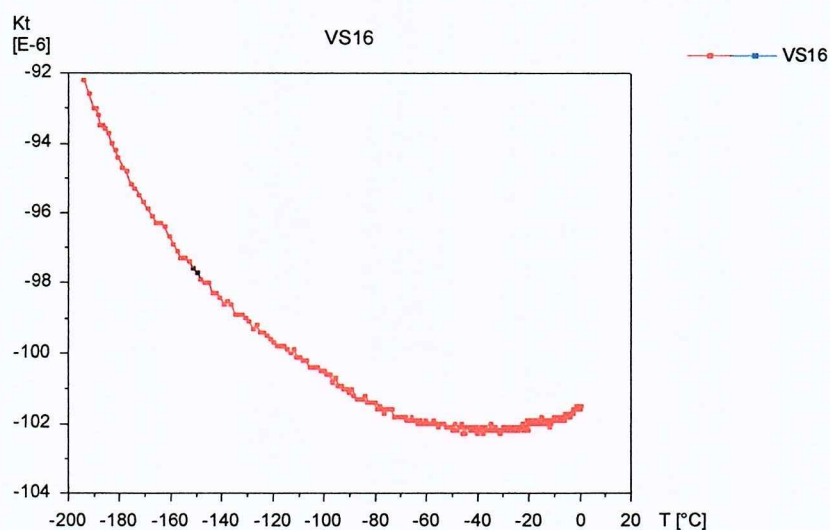
AMOSTRA: VS-15 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



AMOSTRA: VS-15 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°c)



AMOSTRA: VS-16 (AQUECIMENTO ATÉ 0°
C)



AMOSTRA: VS-16 (AQUECIMENTO ATÉ 700° E
RESFRIAMENTO ATÉ 0°C)

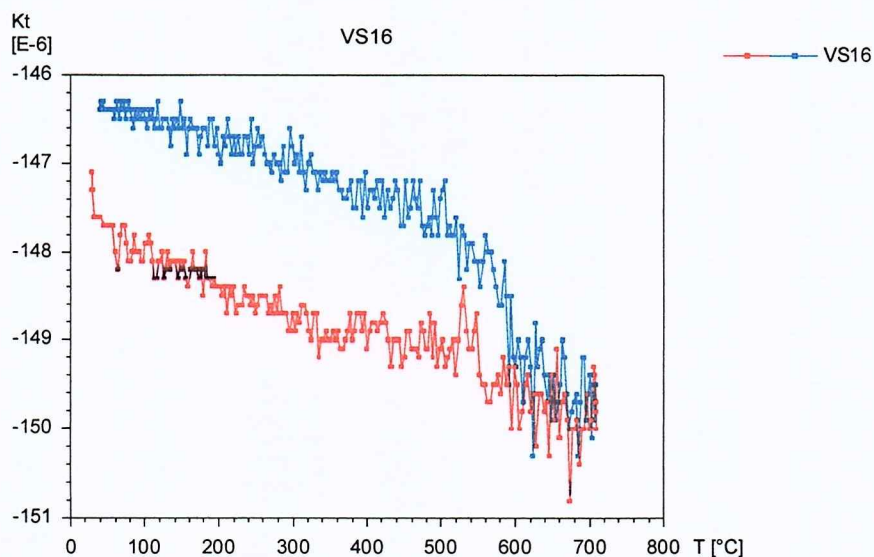


Gráfico 5: Representa-se no eixo y a suscetibilidade magnética e em x a variação de temperatura. Em vermelho: aquecimento e em azul: resfriamento. Nota-se que a suscetibilidade diminui com o aumento da temperatura nas amostras VS-02, VS-04, VS-06, VS-09, VS-10, VS-15, o que é característico de minerais com comportamento paramagnético. Já as amostras VS-01, VS-05 e VS-012 apresentam uma inflexão (aumento da suscetibilidade) em torno de 500°C, podendo-se tratar da presença de magnetita.

10. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma discussão sobre a história deformacional do granito Nanuque, na evolução do orógeno Araçuaí implica, inicialmente, referir-se a sua idade de colocação 573 ± 5 Ma Silva et al., (2002). Essa idade é a mesma dos tonalitos São Vitor e Galiléia, os quais, semelhantemente ao granito Nanuque estão deformados no estado magmático.

A distinção de três setores lito-tectônicos distintos ao longo de uma seção leste-oeste na faixa Araçuaí, mostra que plútons de idade semelhantes apresentam estruturas distintas. Na porção oeste, o tonalito São Vitor, de idade ~ 580 Ma, possui uma estruturação caracterizada por uma foliação magmática Norte Sul com mergulhos suaves para Leste, contendo uma forte lineação *down-dip*, a semelhança dos gnaisses miloníticos empurrados em direção ao cráton do São Francisco. Na porção central, as rochas ígneas dessa idade são o tonalito Galiléia e o granito Nanuque. Neste setor a estrutura desses corpos magmáticos são distintas da observada na porção ocidental do orógeno, Aqui a foliação magmática continua próxima de N-S, porém com ângulos de mergulho mais elevados e, as lineações adquirem atitudes variáveis. Uma provável hipótese seria de que o estado de tensão (força/área) fosse compressivo e tangencial ao plano, gerando ângulos de mergulhos mais fortes. Tal hipótese pode ainda ser reforçada pela forma do elipsoide de deformação (oblato) que teria gerado esta geometria por forças compressivas.

A composição mineralógica é caracterizada predominantemente por feldspato e quartzo, sendo sua composição modal granítica (diagrama QAP). Não há evidência de substituição mineral ou reação que evidenciaria deformação no estado sólido, isso nos sugere que toda a deformação ocorreu ainda no estado magmático da rocha. No entanto, como mencionado na descrição petrográfica, foram observados quartzos com extinção ondulante, isso estaria relacionado com o resfriamento do magma granítico.

Nas investigações das tramas magnéticas (curvas termomagnéticas), notou-se que a mineralogia responsável pela orientação da foliação magmática é predominantemente minerais paramagnéticos (biotita).

11. CONCLUSÃO

Buscou-se uma análise estrutural do granito Nanuque, correlacionando-o com a formação da Faixa Araçuaí, para tanto, foi feita uma análise multidisciplinar utilizando-se a técnica da ASM e investigações petrográficas.

Predominantemente, a rocha é definida como um biotita-granito com granada. Composto basicamente por feldspato, quartzo, biotita e granada. Apresenta foliação definida preferencialmente por biotitas e não há indícios de deformação no estado sólido.

Estudos termomagnéticos e até mesmo petrográficos sugerem uma contribuição predominantemente paramagnética.

Estruturalmente o granito Nanuque apresenta foliação com direção NE-SW, mergulhando para NW. E existe ainda uma segunda orientação da foliação, com direção NW-SE, mergulhando tanto para SW como para NE. Nota-se ainda que ambas direções de foliação estejam com ângulos de mergulho variando entre 20 a 80 graus.

Já a lineação magnética possui caimento para NW, predominantemente, com ângulos variando entre 9 até 62 graus.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alkmim F.F., Marshak S., Pedrosa-Soares A.C., Peres G.G., Cruz S.C.P., Whittington A. (2006). Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Res.*, 149: 43-63.

Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares A.C., Noce, C.M., Cruz, S.C.P. (2007). Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, 15(1):25-43.

Almeida, F.F.M. (1977). O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349- 364.

Bouchez, J.L.(1997). Granite is never isotropic: an introduction to AMS studies of Granite Rocks. *Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics*, 1: 95-112.

Cavalcante, G.C.G; Silva, M.E; Vauchez, A.; Camps, P.; Oliveira E. (2013). Evolução Tectônica e Reologia de uma crosta Orogênica Quente: o caso do anatexito Carlos Chagas, Faixa Araçuaí (Leste do Brasil). *Journal of Structural geology*, v. 55, p. 79 – 100.

Silva, M.E; Vauchez, A.; Bascou, J. & Hippertt, J. (2002). High Temperature Deformation in the Neoproterozoic Transpressional Ribeira belt, *Southeast Brazil. Tectonophysics*, 352: 203-224.

Silva, M.E., M. ; Vauchez, A. ; Raposo, M. I. B. ; Bascou, J. ; Uhlein, A. (2005). Deformation regime variations in an arcuate transpressional orogen (Ribeira belt, SE Brazil) imaged by Anisotropy of Magnetic Susceptibility in granulites. *Journal of Structural Geology*, v. 27, n. 10, p. 1750-1764,.

Hunt, C.P; Moskowitz, B.P. (1995), "Magnetic properties of rocks and minerals", in Ahrens, T. J., *Rock Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constants 3*, Washington, DC: American Geophysical Union, pp. 189–204

Mondou, M., Silva, M.E., Vauchez, A., Raposo, M. I. B., Bruguier, O., Oliveira, A. F. (2012). Complex, 3-D strain patterns in a synkinematic tonalite batholith from the Araçuaí Neoproterozoic orogen (Eastern Brazil): evidence from combined magnetic and isotopic chronology studies, *J. Struct. Geol.*, 39, 158–179.

Oliveira, M.J.R.; Pinto, C.P.; Féboli, W.L. & dos Santos, A. (2000). Mapa Geológico de Itabirinha da Mantena, Projeto Leste. Escala: 1:500.000. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Wiedemann, C.M., & Pinto, C.P. (2001). The Araçuaí-West Congo Orogen in Brazil: an Overview of a Confined Orogen Formed during Gondwanaland Assembly. *Precambrian Research*, 110: 307-323.

Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Alkmim, F.F.; Silva, L.C.; Babinsky, M.; Cordani, U. & Castañeda, C. (2007). Orógeno Araçuaí: Síntese do Conhecimento 30 Anos Após Almeida 1977. *Geonomos* 15(1) 1-16.

Pedrosa-Soares A.C., Alkmim F.F., Tack L., Noce C.M., Babinski M., Silva L.C., Martins-Neto. M.A. (2008). Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo Orogen. In: Pankhurst R.J., Trouw R.A.J., Brito Neves B.B. & de Wit M.J. (eds), West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. *Geological Society London, Special Special Publications*, 294: 153-172.

Pedrosa-Soares, A. C., Campos, C., Noce C.M., Silva, L.C., Roncato, J., Novo, T., Medeiros S., Castañeda, C., Queiroga G., Dantas, E., Dussin, I., Alkmim, F.F. (2011). Late Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí Orogen, the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources (SE Brazil). *Geological Society*, 350:25-51.

Petitgirard, S., Vauchez, A. et al. (2009). Conflicting structural and geochronological data from the Ibituruna quartz-syenite (SE Brazil): Effect of protracted 'hot' orogeny and slowcooling rate? *Tectonophysics*, 477: 174-196.

Silva, L.C.; Armstrong, R.; Noce, C.M.; Carneiro, M.; Pimentel, M.; Pedrosa-Soares, A. C.; Leite, C.; Vieira, V. S.; Silva, M.; Paes, V. & Cardoso-Filho, J. (2002). Reavaliação da Evolução Geológica em Terrenos pré-Cambrianos Brasileiros com Base em Novos Dados U-Pb SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Móvel Mineiro e Cráton São Francisco Meridional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32: 513-528.

Trompette, R. (1994). *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma)*. Balkena, Rotterdam, 350 pp.

Vauchez, A.; Silva, M.E.; Babinski, M.; Tommasi, A.; Uhlein, A. & Liu, D. (2007). Deformation of a Pervasively Molten Middle Crust: Insights from the Neoproterozoic Ribeira-Araçuaí Orogen (SE Brazil). *Terra Nova*, 19: 278-286.