

# *Stock Nova Cruz (Domínio São José do Campestre, porção NE da Província Borborema): Geologia e Petrografia*

*Nova Cruz Stock (São José do Campestre Domain, portion NE of the Borborema Province):  
Geology and Petrography*

ALANA RÉGIA DANTAS<sup>1</sup>, ANTÔNIO CARLOS GALINDO<sup>1</sup>, VLADIMIR CRUZ DE MEDEIROS<sup>2</sup>,  
ROGÉRIO CAVALCANTE<sup>2</sup>, RAQUEL FRANCO DE SOUZA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – [alana.r.dantas@gmail.com](mailto:alana.r.dantas@gmail.com), [galindo@geologia.ufrn.br](mailto:galindo@geologia.ufrn.br),  
[raquel@geologia.ufrn.br](mailto:raquel@geologia.ufrn.br). <sup>2</sup>Serviço Geológico do Brasil – CPRM – [vladimir.medeiros@cprm.gov.br](mailto:vladimir.medeiros@cprm.gov.br) [rogerio.cavalcante@cprm.gov.br](mailto:rogerio.cavalcante@cprm.gov.br)

## Resumo

O *Stock Nova Cruz* (SNC) localizado na porção SSE do Domínio São José do Campestre, possui área aflorante em torno de 12 km<sup>2</sup> e forma aproximadamente subcircular, é intrusivo em ortogneisses tonalíticos a monzograníticos pertencentes ao Complexo Serrinha - Pedro Velho de idade riaciana (c.a 2,2 Ga). Petrograficamente as rochas do *stock* são monzogranitos leucocráticos (minerais máficos entre 6,9 a 9,2%), tendo a biotita como máfico principal (entre 3,3 a 4,3%) e titanita, allanita, minerais opacos, epidoto, apatita e zircão como demais acessórios. Baseado em critérios de campo é possível inferir que o alojamento deste corpo se deu possivelmente em ambiente tardi- a pós-tectônico no contexto da orogênese Brasileira/Panafricana, submetido a um campo de stress em regime rúptil em nível crustal raso. O *Stock* ainda apresenta evidências de que a cristalização do magma se deu principalmente de forma fracionada, com a presença de volume considerável de fluidos tardimagmáticos enriquecidos em voláteis (H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) responsáveis pelo desenvolvimento de fases minerais secundárias (clorita, mica branca e carbonato) além do desenvolvimento relativamente extensivo de texturas mirmequíticas e granofíricas.

**Palavras-chave:** Plutonismo Neoproterozoico; Domínio São José do Campestre; *Stock Nova Cruz*.

## Abstract

*The Nova Cruz Stock (SNC) located in the SSE portion of the São José do Campestre Domain, has an outcrop area of ~12 km<sup>2</sup> and a subcircular shape. It is intrusive in tonalitic orthogneisses of the Serrinha - Pedro Velho Complex. Petrographically the rocks are leucocratic monzogranites (mafic minerals between 6.9 and 9.2%), with biotite as the main mafic (between 3.3 and 4.3%) and titanite, allanite, opaque minerals, apatite, and zircon as other accessories. Based on the observed parameters, it is possible to infer that the stock was emplaced in a Tardi to Post tectonic environment in the context of the Brazilian/Pan-African orogeny, and it was submitted to a stress field in a fragile regime at shallow crustal levels. The stock shows evidences of fractional crystallization, with the presence of considerable volume of late magmatic fluids enriched in volatiles (H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>) responsible for the development of secondary mineral phases (chlorite, white mica and carbonate), as well as the relatively extensive development of myrmekitic and granophyric textures.*

**Keywords:** Neoproterozoic Plutonism; São José do Campestre Domain; *Nova Cruz Stock*.

## 1. Introdução

A Província Borborema constitui uma das dez províncias estruturais brasileiras definidas por Almeida *et al.* (1977;1981). Está localizada na porção nordeste do Brasil sendo limitada a norte e a leste pela Margem Continental Atlântica, a oeste pela Bacia do Parnaíba e a sul pelo Cráton São Francisco. Sua complexa evolução crustal é marcada por pelo menos dois ciclos orogênicos importantes: a Orogênese Transamazônica/Eburniana (2,1 a 1,8 Ga) e a Orogênese Brasileira/Panafricana (670-550 Ma), esta última sendo a origem de um expressivo magmatismo granítico e desenvolvendo extensas zonas de cisalhamento transcorrentes (Jardim de Sá, 1994).

Este magmatismo granitoide neoproterozoico, é representado por inúmeros corpos de composição granítica que ocorrem como batólitos, *stocks* e diques. O objeto deste estudo, o *Stock* Nova Cruz (SNC), está geologicamente inserido neste contexto, localizado na porção SSE do Domínio São José do Campestre, nas cercanias da área urbana da cidade de Nova Cruz – RN, no limite entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba.

## 2. Contexto Geológico Regional

A divisão da Província Borborema tem sido abordada por inúmeros autores, com elaboração de diversos modelos de compartimentação tectônica, tanto com base na subdivisão em faixas dobradas/supracrustais e maciços medianos, ou em domínios estruturais (Brito Neves *et al.*, 2000; Delgado *et al.*, 2003; Angelim *et al.*, 2006; Medeiros 2004).

Van Schmus *et al.* (1997) dividiram a província em três domínios tectônicos fundamentais: (i) O Domínio Norte, situado a norte da Zona de Cisalhamento Patos, caracterizado por uma forte contribuição de crosta arqueana e paleoproterozoica. (ii) O Domínio Central compreendido pelas Zonas de Cisalhamento Patos a norte e a zona de cisalhamento Pernambuco a sul, correspondente ao Domínio da Zona Transversal (Jardim de Sá, 1994); (iii) e o Domínio Sul, entre o Lineamento Pernambuco e o Cráton São Francisco. Além disso, um dos modelos mais recentes advém de Medeiros *et al.* (2017), que compartimentaram a Província Borborema em nove Domínios tectônicos, são eles: Domínio Médio Coreáú, Domínio Ceará-Central, Domínio Jaguaribeano, Domínio Rio Piranhas Seridó, Domínio São José do Campestre, Domínio da Zona Transversal, Domínio Pernambuco-Alagoas, Domínio Sergipano e Domínio Riacho do Pontal (Figura 1).

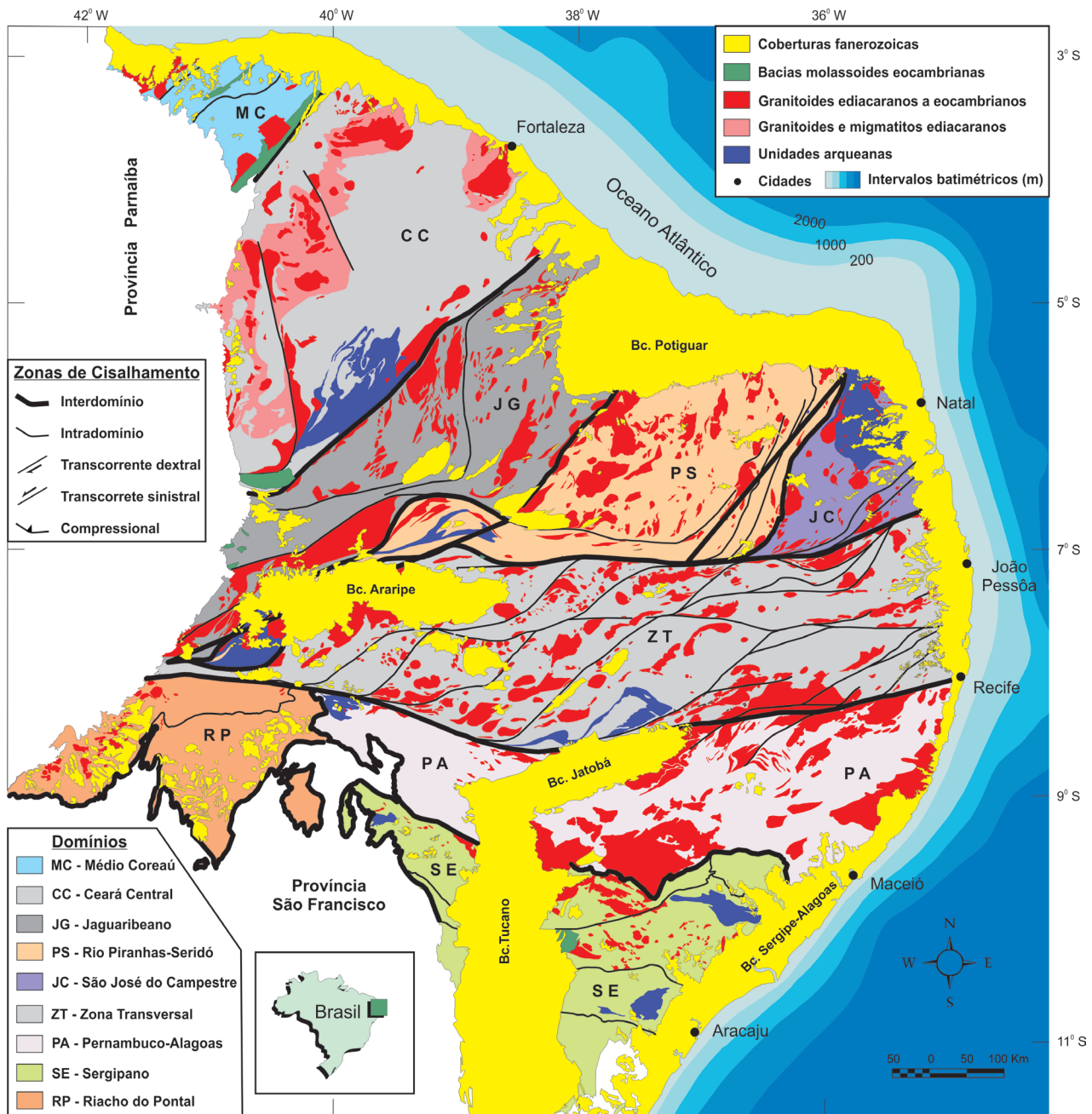
A área de estudo encontra-se inserida no Domínio São José do Campestre (JC) localizado no extremo NE do Brasil, limitado a oeste com o Domínio Rio Piranhas-Seridó pela Zona de Cisalhamento Picuí-João Câmara; a leste e a norte é recoberto por rochas sedimentares fanerozoicas e a sul é limitado pela Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos. Este Domínio representa um dos mais antigos núcleos cratônicos da Plataforma Sul-Americana e, segundo Souza & Dantas (2008), é em essência formado por dois grandes conjuntos de unidades

litoestratigráficas: i) uma ortoderivada, com idade U-Pb em zircão oscilando entre 3,45 a 2,7 Ga (Dantas, 1996; Dantas *et al.*, 2004), representada pelos Complexos Bom Jesus, Serra Caiada, Brejinho, Senador Elói de Souza e São José do Campestre; ii) e um grupo de rochas paraderivadas que afloram na porção SW do domínio, compostas por rochas com alto grau metamórfico contendo cordierita-sillimanita-granada-biotita paragneisses, podendo apresentar lentes de mármore, granada anfíbolitos e gnaisses calciossilicáticos (Souza & Dantas, 2008; Dantas *et al.*, 2013).

No entorno destas rochas arqueanas estão dispostos complexos paleoproterozoicos denominados de: i) Caicó (Souza *et al.*, 1993; Souza *et al.*, 2007); ii) Santa Cruz ; iii) Serrinha-Pedro Velho contendo biotita leucogneisses granodioríticos a graníticos, peraluminosos e migmatizados, biotita-hornblenda migmatitos com mesossomas tonalíticos a granodioríticos e leucossomas graníticos, com níveis ricos em anfíbolio; e, biotita-ortogneisse trondhjemitico, parcialmente migmatizado (Roig & Dantas, 2013). Este último compõe o embasamento litoestratigráfico da área de estudo. Com relação aos eventos magmáticos o plutonismo ediacarano a cambriano constitui uma das mais importantes feições geológicas da Província Borborema, sendo encontrado na forma de inúmeros batólitos, *stocks* e diques que apresentam características texturais, petrográficas, geoquímicas e geocronológicas distintas (Figura 2).

O estudo desta intensa atividade magmática foi iniciado por Almeida *et al.* (1967), que definiram as rochas plutônicas da Província Borborema com relação ao Ciclo Brasileiro em dois grupos: i) granitoides sin-tectônicos, sendo subdivididos nos tipos Itaporanga (porfirítico) e Conceição (equigranulares); ii) granitoides tardi-tectônicos, subdivididos em Catingueira e Itapetim. Sial (1986) usou indicadores geoquímicos para distinguir estes granitoides em quatro grupos: cálcio-alcálico potássico, cálcio-alcálico, trondhjemitico e peralcalino.

Ferreira *et al.* (1998) identificaram nove grupos de rochas granitoides e sienitoides utilizando critérios petrográficos e geoquímicos, embora de acordo com Nascimento *et al.* (2008) apenas cinco desses grupos sejam constatados nos Domínios Rio Piranhas-Seridó e São José do Campestre. São eles: cálcio-alcálico de alto K com e sem epidoto magmático, peralcalino, shoshonítico e cálcio alcalino peraluminoso. Angelim *et al.* (2006) no contexto da geologia do Rio Grande do Norte, reuniram estas rochas em cinco suítes intrusivas, denominadas de São João do Sabugi, Itaporanga, Dona Inês, Catingueira e Umarizal. Recentemente, Nascimento *et al.* (2015) agruparam as rochas do magmatismo brasileiro a ediacarano no Domínio Rio Grande do Norte em seis suítes de rochas magmáticas de acordo com critérios de campo, petrográficos e geoquímicos: Suíte Shoshonítica, Suíte Cálcio-alcálica, Suíte Cálcio-alcálica de alto K Porfirítica, Suíte Cálcio-alcálica de alto K Equigranular, Suíte Alcalina e Suíte Alcalina Charnóquítica.



**Figura 1** - Compartimentação tectônica da Província Borborema onde é possível se observar os limites do Domínio São José do Campestre, (Medeiros *et al.* 2017).

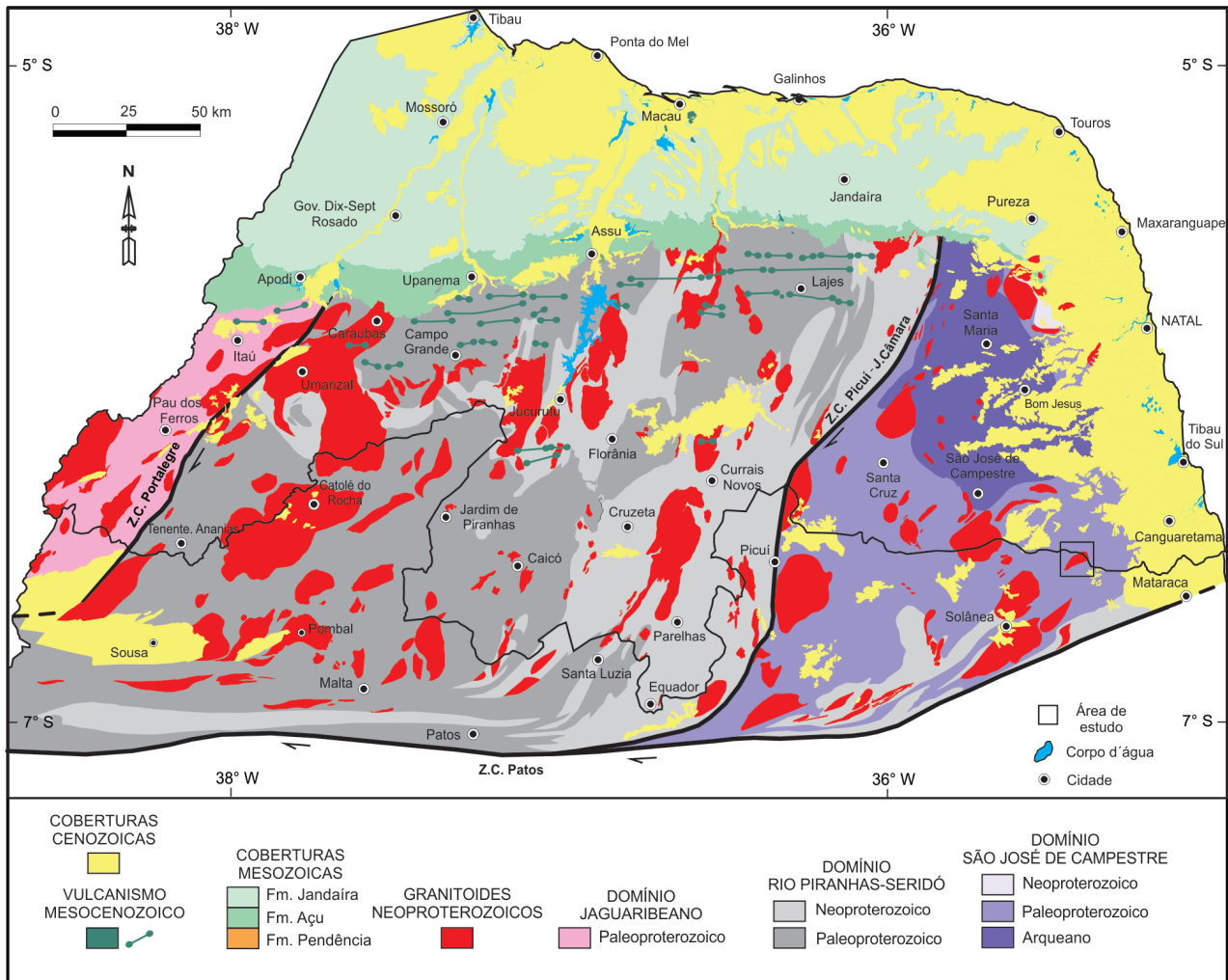
### 3. Metodologia

Na etapa de mapeamento de campo do Stock Nova Cruz, bem como das rochas encaixantes a esse corpo, realizou-se a descrição detalhada de afloramentos e medição de parâmetros estruturais com auxílio de bússola geológica. Foram percorridos perfis geológicos de campo, onde se registrou a coleta da localização de pontos com um GPS modelo Map 60 CSx da Garmin®. Posteriormente os dados adquiridos foram plotados em mapa, com o uso do software ArcGIS versão 10.3 da ESRI®.

Além disso, foram realizados estudos das rochas em seções delgadas, sob luz transmitida e refletida usando

os microscópios petrográficos Olympus BX41 e Lumen, respectivamente. Para a classificação petrográfica das rochas do *stock* foi realizada a contagem modal, onde para cada seção delgada foram contados 1.000 pontos com o auxílio do dispositivo *charriot*, acoplado ao microscópio petrográfico de luz transmitida e do programa para contagem de pontos Counterledge da Enderpeer®.

Por último foi confeccionada uma seção polida para estudo e identificação dos minerais opacos. O polimento foi realizado em duas etapas, de acordo com o tipo de abrasivo aplicado. Na primeira etapa foram realizados três polimentos utilizando o carvão de silício (2.000 e 3.000



**Figura 2** - Compartimentação geológica do extremo NE da Província Borborema, ressaltando os diversos batólitos, *stocks* e diques ediacaranos, bem como os Domínios Jaguaribeano, Rio Piranhas-Seridó e São José do Campestre, com a localização da área de estudo (Medeiros, 2013).

*mesh*). Enquanto que na segunda etapa foram realizados três polimentos usando panos de polimento em conjunto com pasta diamantada (3  $\mu$ m, 1  $\mu$ m e 1/4  $\mu$ m), além de lubrificante a base de álcool (DP-Lubricant Blue da Struers®). É importante salientar que as observações das seções foram feitas sem óleo ou lente de imersão através de microscópio petrográfico de luz polarizada refletida.

#### 4. Contexto Geológico local

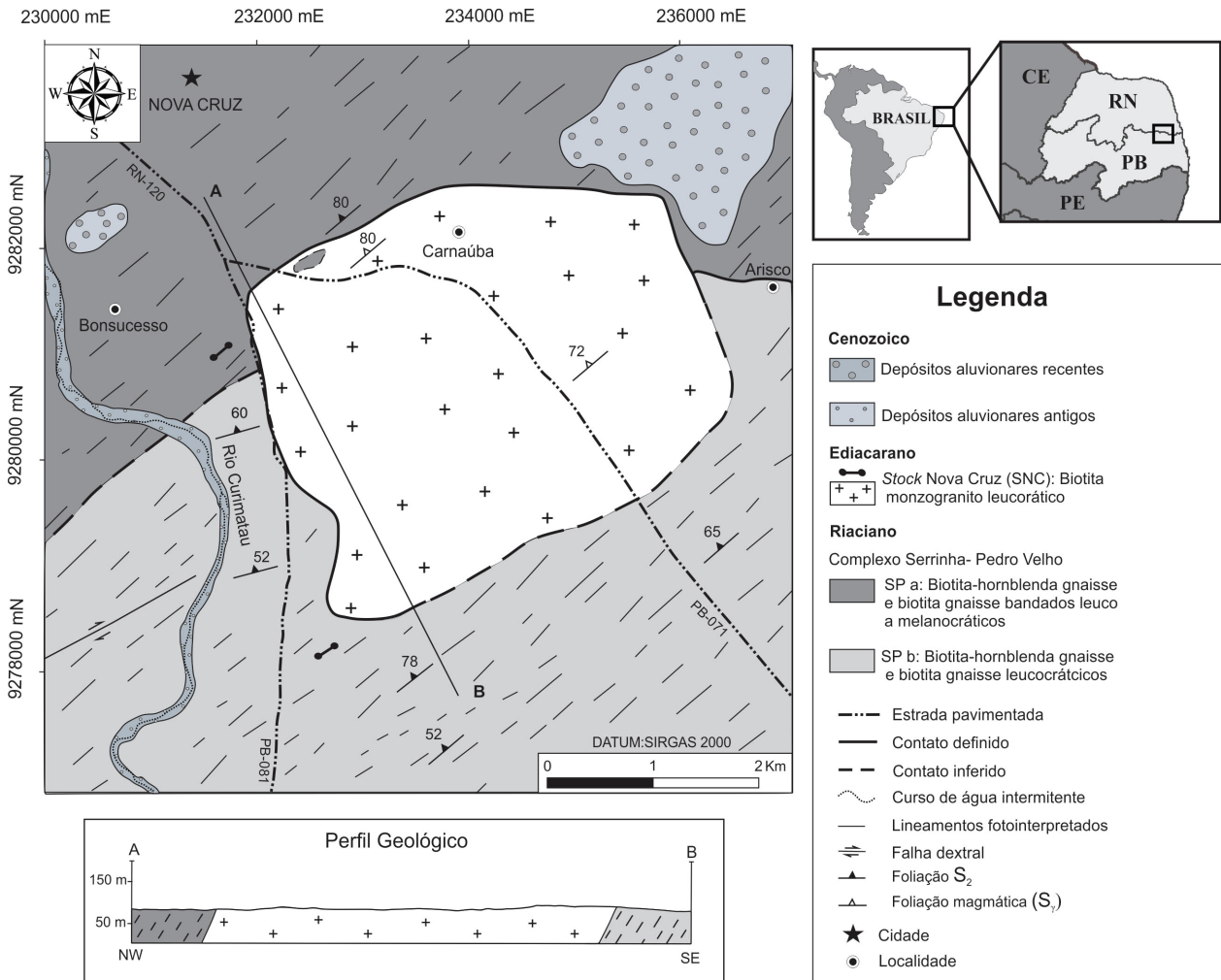
##### 4.1 As Unidades Mapeadas

A área mapeada (Figura 3) apresenta rochas do embasamento ortoderivado, pertencente ao Complexo Serrinha-Pedro Velho. Na área de estudo estas rochas são agrupadas/subdivididas em dois conjuntos distintos: Serrinha-Pedro Velho A (SPa) e Serrinha-Pedro-Velho B (SPb).

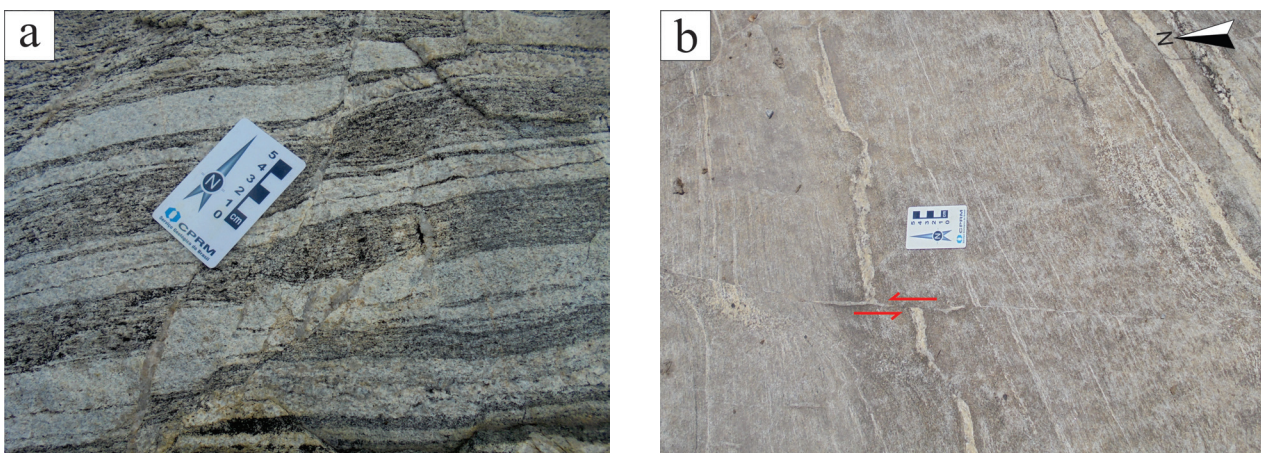
Em SPa dominam biotita-hornblenda gnaisses e biotita gnaisses leucocráticos a mesocráticos, de cor cinza, granulação média a grossa, textura granolepidoblástica a lepidonematoblástica, de composição monzogranítica a tonalítica. Estas rochas apresentam bandamento gnáissico bem demarcado de tamanho centimétrico, sendo definido pela alternância de bandas máficas, constituídas principalmente por

biotita ou hornblenda/biotita; e félsicas, constituídas basicamente por quartzo, plagioclásio e K-feldspato (Figura 4a). Os ortognaisses SPa caracterizados por apresentarem uma foliação ( $S_2$ ) bem marcada orientada pelos minerais máficos preferencialmente com direção para N50E. A datação pelo método U-Pb (LA) forneceu a idade de  $2221 \pm 16$  Ma (Lima *et al.* 2016). SPb é constituído de biotita-hornblenda ortognaisses e biotita ortognaisses, leucocráticos, de coloração cinza esbranquiçada, granulação média a grossa, com composição tonalítica (Figura 4b). Também foram observadas porções migmatizadas, onde em alguns casos notam-se sigmoides indicando movimentação sinistral.

Essas unidades são regionalmente afetadas pelas zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais Espírito Santo (ZCES) e Remígio-Pocinhos (ZCRP), que respectivamente encontram-se a norte e a sul do SNC, sendo ocasionalmente intrudidas por diques de granito leucocrático (55°Az) de coloração cinza esbranquiçada, granulação fina a média e textura equigranular. Estas rochas são correlacionadas à Suíte Intrusiva Dona Inês de Angelim *et al.* (2006), e por pegmatitos alojados de modo concordante com a foliação principal  $S_2$  (50°Az).



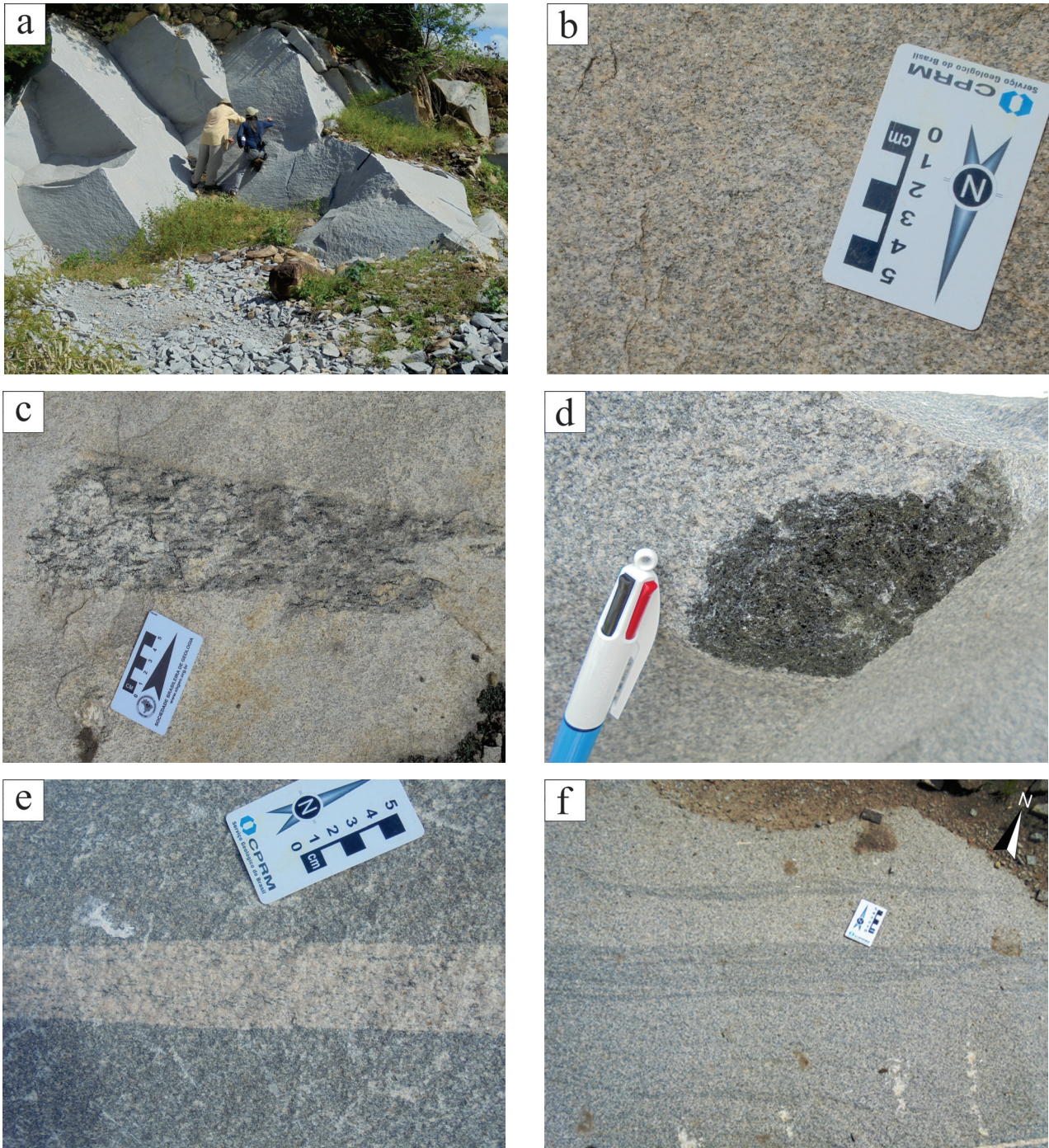
**Figura 3** - Mapa geológico do Stock Nova Cruz e suas rochas encaixantes (modificado de Dantas, 2017).



**Figura 4** - a) Feição de campo do biotita ± anfibólio ortognaiss (SPa), mostrando a foliação  $S_2$  bem demarcada pela alternância de bandas máficas (biotita ± anfibólio) e félsicas (quartzo + feldspato); b) biotita ± anfibólio ortognaiss (SPb), destacando o bandamento gnáissico definindo foliação  $S_2$  e veios de composição granítica sendo afetado por zona de cisalhamento de cinemática sinistral.

As unidades do embasamento são cortadas por rochas graníticas do *Stock Nova Cruz* (SNC). O corpo possui uma área aflorante de ~12 km<sup>2</sup>, forma subcircular, sendo caracterizado por rochas leucocráticas de coloração cinza esbranquiçada, granulação fina a média e textura equigranular (Figura 5a, b). Localmente é possível ob-

servar que em porções relativamente alteradas se destacam pequenos megacristais de K-feldspato com tamanho inferior a 0,5 cm, de coloração levemente rósea, além de uma discreta orientação mineral de direção N50E, marcada principalmente pela orientação de cristais de biotita. Nestas rochas também é possível encontrar xenólitos



**Figura 5** - a) Aspecto geral da rocha dominante no *Stock Nova Cruz* - SNC (pequena pedreira nas cercanias da cidade homônima); b) Detalhe do leucogranito de coloração cinza esbranquiçada e granulação fina a média dominante no SNC; c) xenólito do ortogneiss (SPa) no SNC, com orientação subparalela à direção do fluxo magmático; d) Enclave microgranular biotítico no leucogranito cinza do SNC; e) Dique centimétrico de leucomicrogranito/aplítico cortando o leucogranito cinza dominante no SNC; f) Estrutura similar a acamamento ígneo caracterizado por bandas irregulares e descontínuas, paralelos à  $S\gamma$  no SNC, provavelmente representando *schlierens* incorporados.

dos ortognaisses do Complexo Serrinha-Pedro Velho que frequentemente também se encontram alinhados de forma concordante com a foliação  $S_1$ , enclaves microgranulares biotíticos (Figura 5c, d) e diques leucocráticos aplíticos centimétricos. Mais raramente, ocorrem estruturas similares ao acamamento ígneo definido pela presença de finas e discretas bandas de cor cinza esbranquiçado e cinza escuro, provavelmente oriundos de *schlierens* máficos/intermediários incorporados ao corpo granítico durante seu alojamento ficando então orientados de acordo com a foliação  $S_1$  (Figura 5e, f). Além disso, as rochas que compõem o SNC também são encontradas na forma de diques intrusivos nos ortognaisses do Complexo Serrinha-Pedro Velho, cortando a foliação principal  $S_2$ .

Superposta às unidades acima descritas são encontrados depósitos aluvionares antigos, constituídos por conglomerados, arenitos conglomeráticos e arenitos, subordinadamente com finas camadas de argilitos, e depósitos aluvionares recentes compostos por areias quartzosas de granulação fina a média e cor esbranquiçada (Lima *et al.*, 2016) que completam a litoestratigrafia da área de estudo (Figura 3).

#### 4.2 O Arcabouço Estrutural da Área

Na área de estudo as rochas encaixantes do SNC foram regionalmente afetadas pelas zonas de cisalhamento transcorrentes, com direção NE-SW e cinemática sinistral denominadas de Zona de Cisalhamento Espírito Santo e Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos (Lima *et al.*, 2016; Guimarães *et al.*, 2014). Na literatura essas estruturas estão associadas a um regime de transcorrência característico do processo deformacional de alto *strain* denominado  $D_3$ , o qual desenvolve a foliação ( $S_3$ ) de caráter penetrativo em escala regional marcado pelo paralelismo entre seus planos, com a presença de dobras isoclinais e intrafoliais (Jardim de Sá 1994; Lima *et al.* 2016).

Nos gnaisses pertencentes ao Complexo Serrinha –

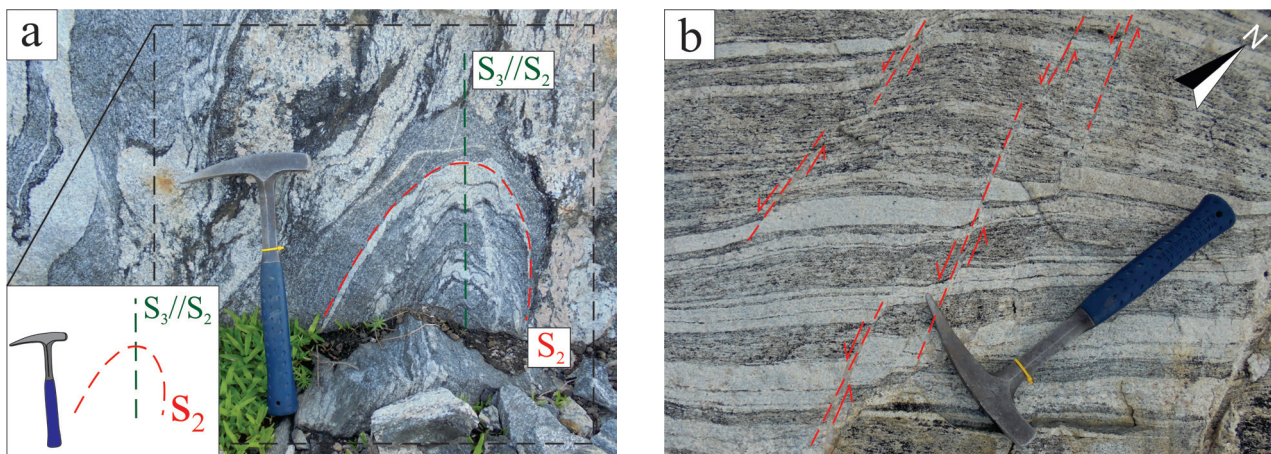
Pedro Velho foi observado que a deformação  $D_3$  afetou uma foliação  $S_2$  pré-existente que foi submetida a um processo de dobramento e posterior verticalização, resultando na nova foliação no plano axial dessas dobras. Esta foliação é paralela à foliação anterior ( $S_2//S_3$ ) (Figura 6a). Esse *fabric* planar evolui gradativamente para uma foliação milonítica de alto ângulo, eventualmente marcada por sigmoides que, em sua maioria, mostram cinemática sinistral concordante com outras estruturas observadas em campo, como constatado com a presença de falhas com cinemática sinistral (Figura 6b).

Não foram observadas feições de deformações dúcteis nas rochas do *Stock Nova Cruz*. Porém, são comuns feições rúpteis, tais como fraturas de distensão com direção geral  $245^\circ$  Az e  $310^\circ$  Az, que são preenchidas por diques pegmatíticos e/ou veios de quartzo, estruturas essas que são atribuídas a uma única fase tectônica posterior à  $D_3$ . Portanto, é possível afirmar que o alojamento deste corpo se deu em um contexto tardi- a pós-tectônico da orogênese Brasileira/Panafricana, evidenciado também pela presença de xenólitos oriundos do Complexo Serrinha-Pedro Velho (Figura 5c).

### 5. Petrografia do Stock Nova Cruz

#### 5.1 Aspectos Gerais, Mineralogia e Microtexturas

As rochas do *Stock Nova Cruz* são holocristalinas, faneríticas, equigranulares, com granulação fina a média. A análise modal mostra que são rochas leucocráticas que apresentam de 6,9 a 9,2% de minerais máficos e entre 93,1 e 90,8% de minerais félsicos (Tabela 1). Composicionalmente são monzogranitos (Streckeisen, 1976), porém com uma amostra plotando no campo do granodiorito no diagrama QAP (Figura 7). A mineralogia félsica é composta por quartzo, K-feldspato e plagioclásio, enquanto os máficos são biotita, titanita, epidoto, allanita, minerais opacos, apatita e zircão. Clorita, mica branca e carbonato são fases minerais secundárias, produtos de destabilização de biotita e plagioclásio.



**Figura 6** - Feições de campo das rochas encaixantes do Complexo Serrinha-Pedro Velho, em a) Vista em perfil com direção S-N (direita para a esquerda da foto) de ortognaisse (SPa) onde observa-se o plano axial ( $S_3$ ) dessas dobras paralelo à foliação  $S_2$ . b) Ortognaisse (SPa) exibindo conjunto de falhas com cinemática sinistral.

Mineral (%)	AD01	AD03	AD04	AD05	AD09	AD10	AD12	AD13	AD08A	AD08B
Quartzo	29,6	32,1	31,6	29,3	29,6	32,6	34,8	30,6	33,4	32,3
K-Feldspato	22,2	19,4	23,7	21,5	25,6	28,9	22,6	26,2	23,8	24,9
Plagioclásio	40,3	39,8	37,0	40,0	37,1	31,6	35,2	35,8	34,4	34,7
Biotita	3,3	4,3	3,9	4,2	3,5	2,9	3,8	3,6	3,8	3,6
Epídoto	0,8	0,7	0,8	0,6	0,4	0,4	0,2	0,4	1,0	1,0
Allanita	TR	0,3	0,2	TR	TR	0,2	TR	0,2	0,4	0,4
Titanita	TR	TR	TR	0,2	TR	TR	0,2	TR	TR	TR
Opacos	0,3	0,7	0,2	1,4	0,3	0,4	0,8	0,2	0,4	0,3
Apatita	0,4	TR	0,1	TR	0,4	0,3	TR	TR	0,4	0,2
Zircão	0,3	TR	0,2	TR	0,2	0,1	TR	TR	0,2	0,1
Mica branca	1,2	1,2	1,1	1,9	1,5	1,7	1,8	1,6	1,2	1,4
Clorita	1,6	1,5	1,2	0,9	1,4	0,9	0,6	1,4	1,0	1,1
Carbonato	TR	TR	---	TR	---	---	---	---	TR	TR
Número total de pontos	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Q	32,3	34,9	33,2	33,4	31,1	35,0	37,6	33,3	36,4	34,0
A	24,3	21,2	25,0	24,5	26,9	31,1	24,4	28,5	26,0	26,2
P	43,4	43,9	41,8	42,1	42,0	33,9	38,0	38,2	37,6	39,8
Q	29,6	32,1	31,6	29,3	29,6	32,6	34,8	30,6	33,4	32,3
A+P	62,5	59,2	60,7	61,5	62,7	60,5	57,8	62,0	58,2	59,6
M	7,9	8,7	7,7	9,2	7,7	6,9	7,4	7,4	8,4	8,1
Legenda: TR = Traços; Q = Quartzo; A = Feldspato alcalino; P = Plagioclásio; M = Minerais Máficos.										

**Tabela 01** - Composição modal das rochas do *Stock Nova Cruz* (SNC).

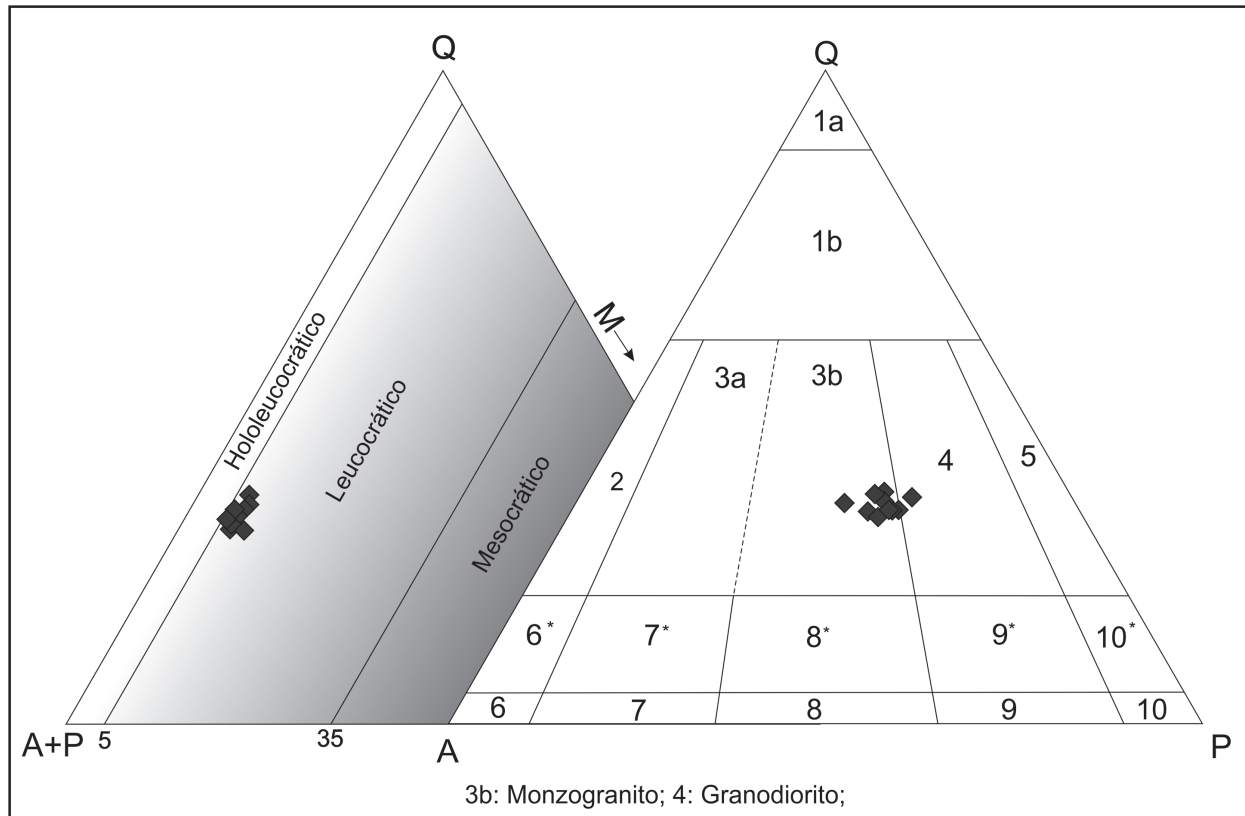
O plagioclásio apresenta dois tipos texturais: o plagioclásio I (0,27 a 2,70 mm) é a fase dominante. Ocorre como cristais hipidiomórficos a idiomórficos, sendo classificado como oligoclásio com  $An_{26-22}$  (método óptico de Michel-Lévy). Apresentam geminação polissintética com maclas do tipos albíta e periclina. Zonação normal é observada em alguns cristais e caracterizada pelas porções centrais descalcificadas e corroídas (Figura 8a). É comum os cristais de plagioclásio terem como produto de alteração a mica branca e transformação para argilominerais e minerais carbonáticos; Apresentam inclusões de quartzo, apatita e biotita. O plagioclásio II é caracterizado por bordas albíticas e bulbos associados a mirmequitas, geradas no contato entre o plagioclásio I e cristais de K-feldspato.

O quartzo é xenomórfico (0,5 a 1,40 mm), tem contatos intergranulares irregulares com cristais de plagioclásio e K-feldspato, e contatos retos com a biotita e clorita.

Além disso, comumente mostra forte extinção ondulante indicativa de deformação mecânica. Ocorre ainda compondo texturas mirmequíticas com hábito vermicular e/ou goticular, e ainda associado a intercrescimentos granofíricos (Figuras 8c, 8d).

O K-feldspato é uma microclina caracterizada pela presença das geminações dos tipos albíta e periclina em padrão xadrez/tartan. Os cristais são hipidiomórficos ou xenomórficos com tamanho variando entre 0,1 e 2,8 mm. Alguns desses cristais possuem textura pertítica, com lamelas albíticas dos tipos filetes e fios (Figura 8b). É comum a presença de inclusões de biotita, zircão e apatita. Em algumas seções delgadas foram também observadas texturas granofíricas dos tipos franja radial e vermicular (Figuras 8c, d).

A biotita (Figura 8f) é o principal mineral máfico, e se apresenta com hábito hipidiomórfico e forma lamelar (0,2 a 2,0 mm). Mostra pleocroísmo em tons de amarelo



**Figura 7** - Diagramas de classificação modal Q-A-P e Q-(A+P)-F, segundo Streckeisen (1976) para as rochas do *Stock Nova Cruz* (Dantas, 2017).

pálido para marrom avermelhado, sendo comum alteração/desestabilização para clorita e mica branca (muscovita). Inclusões de apatita, zircão e minerais opacos são comuns.

A titanita ocorre como pequenos cristais idiomórficos a hipidiomórficos de coloração marrom claro (Figura 8f), por vezes de hábito losangular, fracamente pleocroicos (titanita I), ou ainda como finas e irregulares coroas sobre cristais de minerais opacos (titanita II), caracterizando processo de esfenitização.

O epidoto é hipidiomórfico a idiomórfico, geralmente ocorrendo em contato com a biotita, e mais raramente compondo finas bordas em cristais de allanita. Esta mostra sempre cristais pequenos (0,20 a 1,10 mm) de hábito idiomórfico, em geral com coloração variando de amarelo, alaranjado a avermelhado. Alguns cristais mostram zonação (Figura 8e). Zircão e apatita são as fases minerais mais precoces. Apresentam-se essencialmente com hábito idiomórfico, usualmente cristais prismáticos alongados, com tamanho  $\leq 0,1$  mm.

Os minerais opacos também mostram variação textural expondo duas fases. Os cristais de minerais opacos I são xenomórficos ou idiomórficos, e têm forma cúbica e algumas vezes losangular (Figura 8f). Ocorrem no geral inclusos em cristais de plagioclásio e K-feldspato. Em alguns cristais são observadas bordas avermelhadas, que caracterizam a alteração/transformação para óxidos e hidróxidos de ferro. Os minerais opacos II são cristais

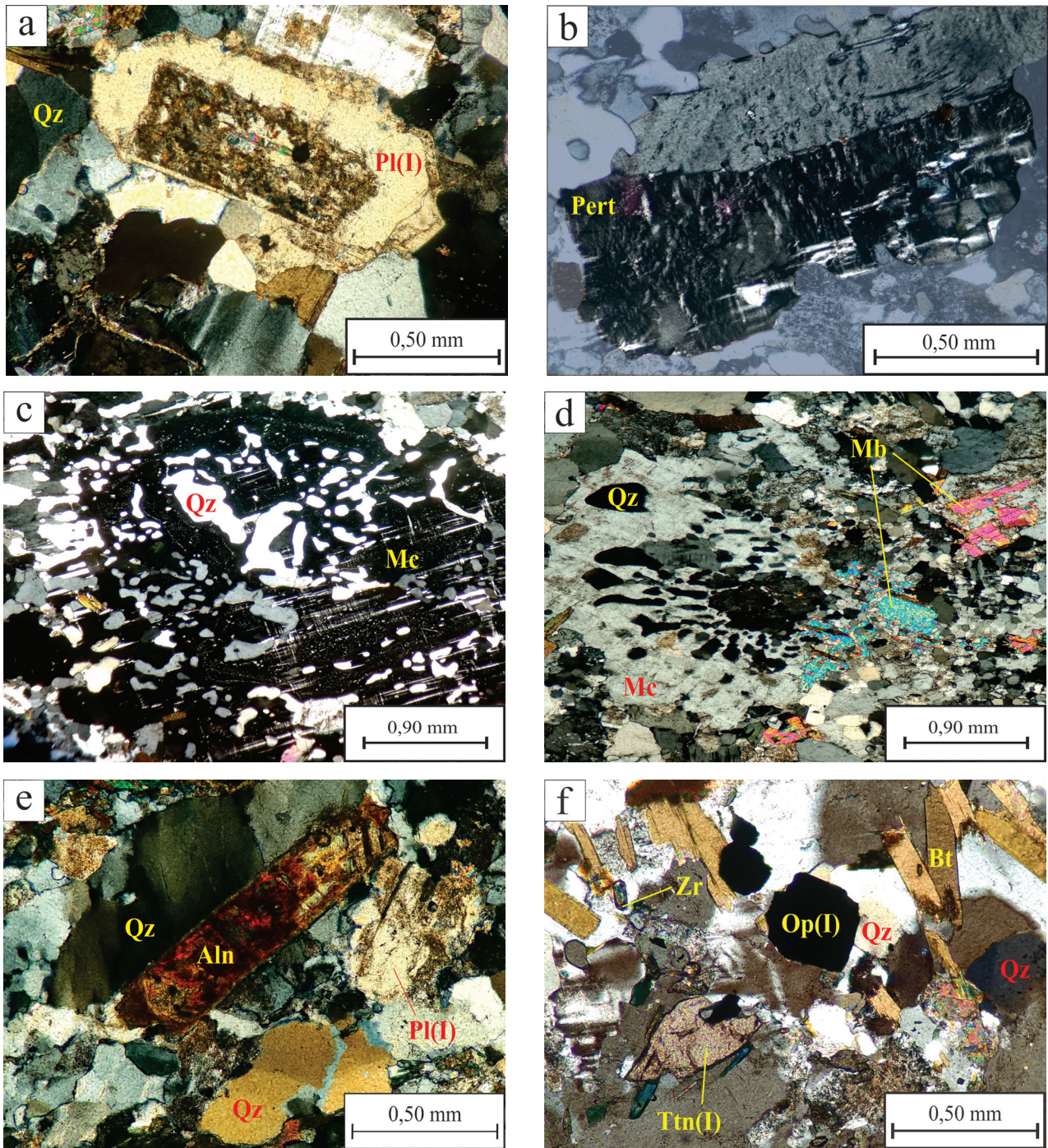
xenomórficos, de granulometria sempre menor que 0,5 mm, resultantes do processo de oxidação da biotita, ao longo de planos de clivagem e fratura, como parte da sua desestabilização tardi- a pós-magmática.

A clorita é hipidiomórfica, lamelar e mostra pleocroísmo fraco em tons de verde claro. Ocorre essencialmente como produto de desestabilização da biotita, quase sempre como pseudomorfos. A mica branca apresenta hábito hipidiomórfico a xenomórfico, granulometria geralmente inferior a 1,0 mm, predominantemente com forma lamelar. A cristalização da mica branca está relacionada a processos hidrotermais tardios que afetaram os cristais de biotita, plagioclásio e K-feldspato.

A sequência de cristalização dos minerais do *Stock Nova Cruz* (Figura 9) foi definida a partir da análise textural. Inicialmente teria ocorrido a cristalização de zircão, apatita, allanita, minerais opacos (I) e titanita. Seguida por uma fase hidratada onde houve a cristalização do epidoto e biotita, sugerindo um aumento da  $f_{H_2O}$ , acompanhada pela cristalização dos feldspatos e do quartzo. Já o estágio tardi- a pós- magmático seria marcado pela desestabilização da biotita para clorita, opacos (II) e mica branca, e a alteração parcial do plagioclásio para muscovita e argilominerais.

## 5.2 Minerais opacos em seção polida

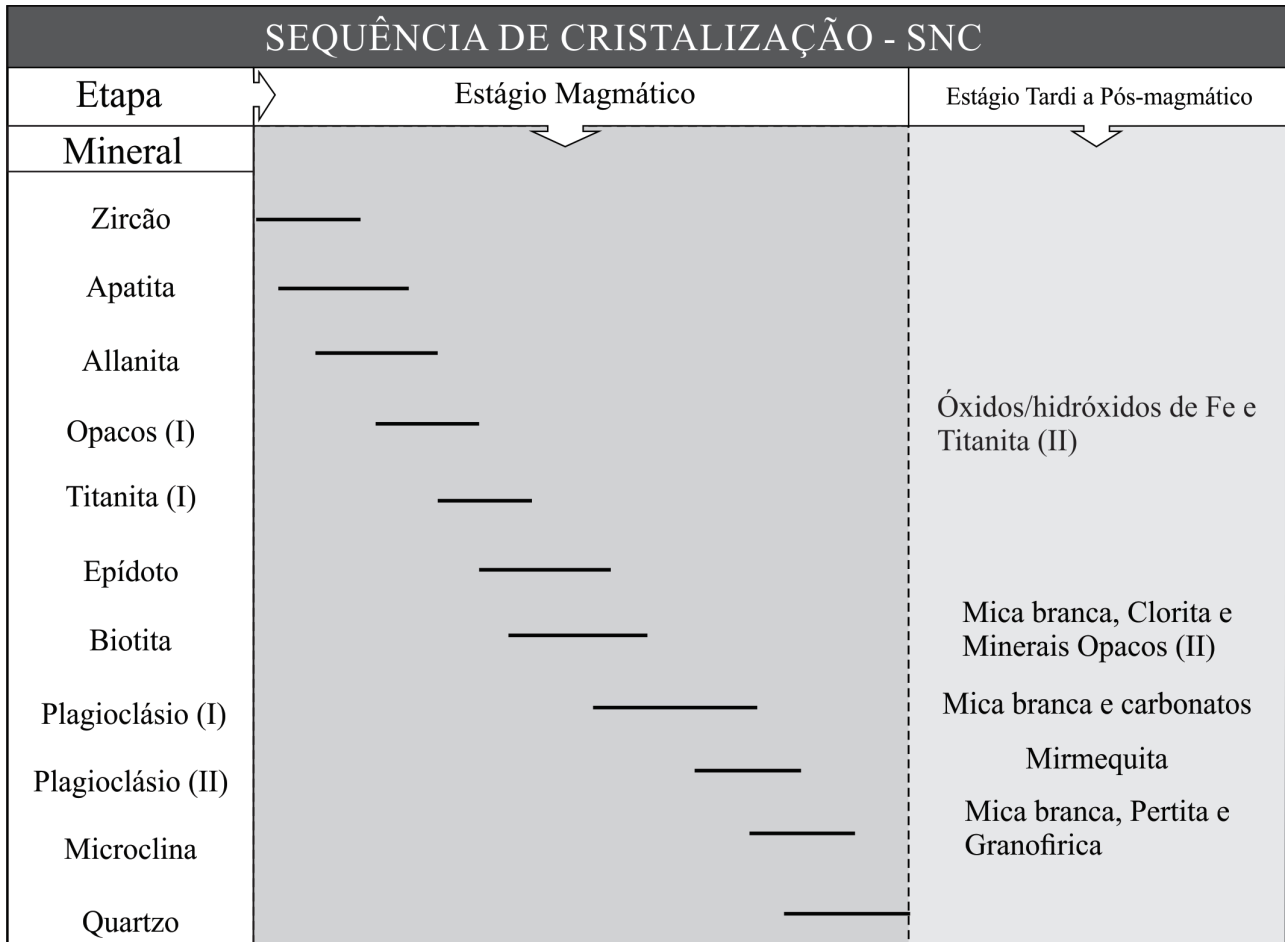
Na seção polida estudada foram identificados dois tipos de minerais opacos: magnetita e ilmenita, com predo-



**Figura 8** - Aspectos texturais e mineralógicos do *Stock Nova Cruz*. a) Fotomicrografia (NX) mostrando cristal de plagioclásio com zonação normal. b) Fotomicrografia (NX) de cristal de K-feldspato apresentando geminação do tipo Carlsbad em conjunto com geminações dos tipos albíta e periclina, além de textura pertítica (Pert). c) Fotomicrografia (NX) mostrando textura granofírica do tipo vermicular em cristal de microclina, d) Fotomicrografia (NX) mostrando textura granofírica do tipo franja radial em cristal de microclina, e) Fotomicrografia (NX) mostrando cristal de allanita zonada com processo de metamictização incipiente, em contato com cristal de quartzo com extinção ondulante. f) Fotomicrografia (NX) de cristais de titanita I, biotita, zircão, minerais opacos I e quartzo. Legenda: Aln- allanita; Bt-biotita; Pl-plagioclásio; Qz-quartzo; Mc-microclina; Mb-mica branca, Ttn-titanita e Zr-Zircão. (N//) nicóis paralelos, (NX) nicóis cruzados.

mínio da primeira. Neste trabalho não foi possível fazer uma determinação qualitativa da dureza pelo fato de os minerais opacos estarem dispersos na seção polida, em contato apenas com minerais transparentes/translúcidos.

A magnetita apresenta coloração cinza levemente rósea, sem pleocroísmo de reflexão e reflectância baixa ( $\pm 20\%$ ). É isotrópica com ausência de reflexões internas e os cristais, com tamanho máximo de 0,05 mm, costumam



**Figura 9** - Sequência de cristalização estabelecida para os minerais encontrados nas rochas graníticas do *Stock* Nova Cruz (SNC).

apresentar hábito idiomórfico a hipidiomórfico (Figuras 10a e 10b).

A ilmenita foi caracterizada por apresentar coloração cinza com tons amarronzados, sem pleocroísmo e reflectância baixa ( $\pm 20\%$ ). São cristais anisotrópicos de até 0,01 mm, sem reflexões internas. Em alguns cristais foram observadas lamelas sub micrométricas ( $<0,001$  mm), anisotrópicas, de coloração esbranquiçada que, de acordo a associação paragenética, provavelmente constituem lamelas de exsolução de hematita (Figuras 10c e 10d).

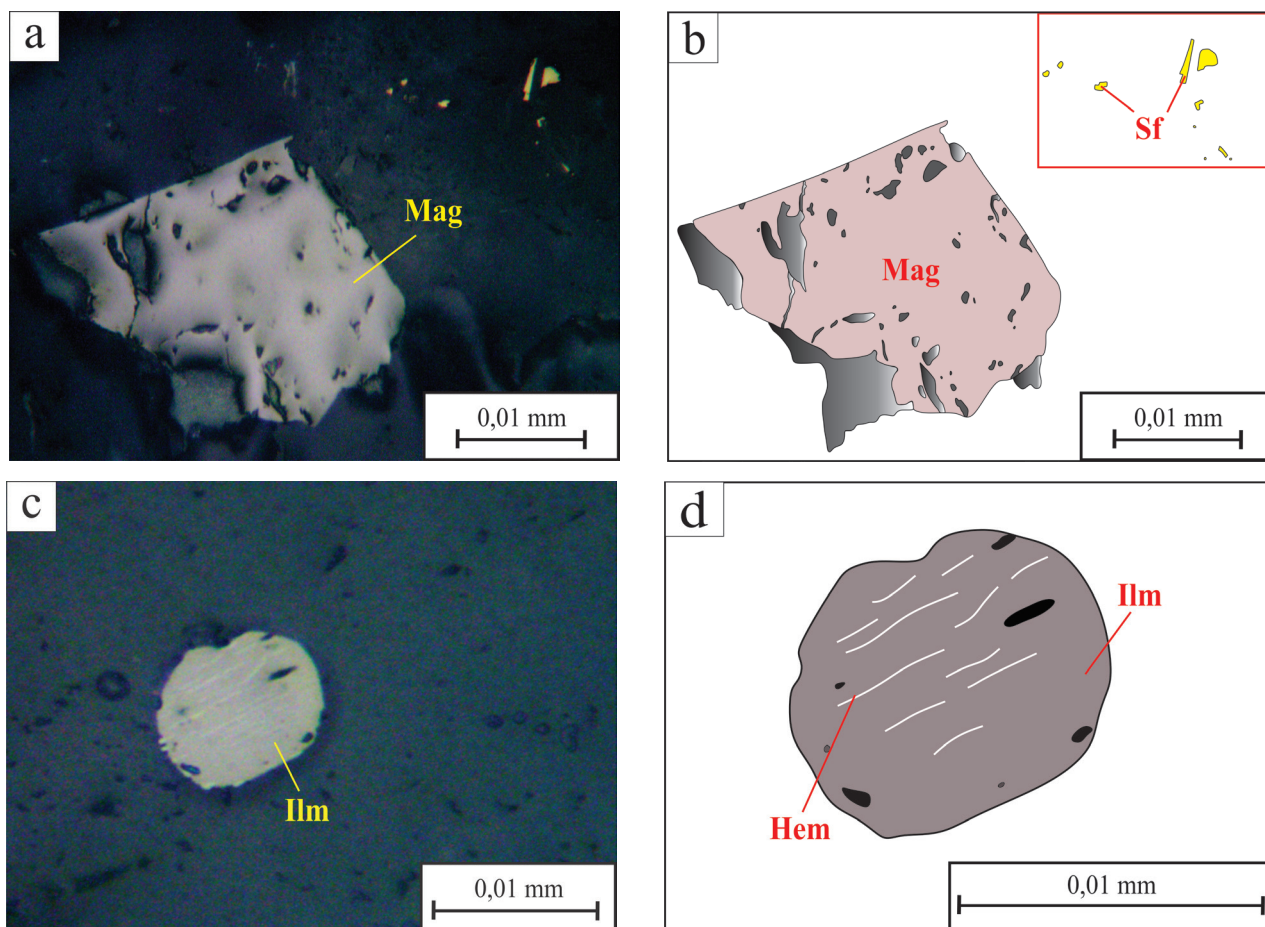
Na seção polida foram observados ainda minerais com coloração amarela cuja granulometria inferior a 0,002 mm, de pleocroísmo inexistente e reflectância alta ( $\pm 50\%$ ), com hábito hipidiomórfico a idiomórfico e forma cúbica. São isotrópicos e não apresentam reflexões internas, provavelmente são cristais de sulfetos (Figura 10b).

## 6. Discussões

Os dados de campo mostram que o SNC é intrusivo em gnaisses riacianos do Complexo Serrinha-Pedro Velho, dos quais guarda xenólitos sendo relacionado ao plutonismo Ediacarano que é expressivo no Domínio São José de Campestre. Ausência de estruturas dúcteis nas ro-

chas do SNC associado às feições frágeis como falhas e fraturas, sugerem um alojamento tardi a pós-tectônico para o mesmo, em relação à orogênese Brasileira. Por outro lado, discreta orientação mineral de direção N50E, marcada principalmente por cristais de biotita é interpretado como sendo indicativo da direção do fluxo de magma ( $S_y$ ) durante o processo de cristalização/alojamento do *stock*. Esta foliação magmática possui mergulho alto ( $80-70^\circ$ ) para noroeste, o que coincide no geral com a direção de mergulho da foliação apresentada nas rochas encaixantes.

O problema de como os magmas na crosta abre espaço para a sua colocação ainda não é consenso entre os pesquisadores apesar das muitas discussões. Com isso conhecemos vários tipos de modelos e critérios de ascensão e mecanismos de colocação de magmas graníticos a saber: (i) *stoping* (ii) subsidência de *cauldron* (iii) diapirismo (iv) *ballooning* (v) intrusão tabular/fraturamento (vi) colocação sincinemática (Gill, 2014). Porém, dois mecanismos são considerados na literatura como sendo os principais responsáveis pelo transporte de magma: o diapirismo e o fraturamento. De acordo com as características de campo observadas nas rochas do SNC e das encaixantes optou-se por utilizar o modelo de fratura-



**Figura 10** - Fotomicrografias a nicóis paralelos (N//) de rocha do SNC. Em “a” e “b” respectivamente cristal hipidiomórfico de magnetita e desenho esquemático mostrando no detalhe em vermelho minerais de coloração amarelada, caracterizados como sulfetos. Em “c” e “d” cristal de ilmenita e desenho esquemático destacando finas lamelas de exsolução de coloração esbranquiçada, caracterizada como hematita. Legenda: Hem = Hematita; Ilm = Ilmenita; Mag = Magnetita e Sf = Sulfetos.

mento (Bateman, 1984; 1985; Cruden, 1990; Petford *et al.*, 1993, 1994; Weinberg & Podladchikov, 1994; Paterson e Vernon, 1995; Clemens, 1998).

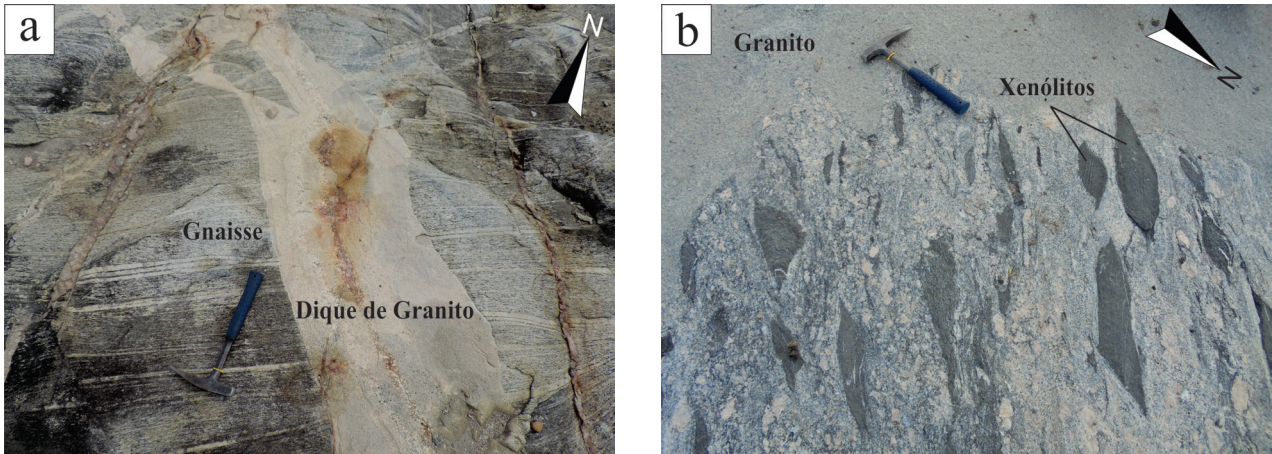
As estruturas acamadas segundo Barbey (2009) são o resultado da interação entre a injeção da câmara magmática e o contexto tectônico regional. O processo de injeção é responsável pelo crescimento incremental dos plútons, pois é o responsável pela agregação de sucessivos pulsos de magmas. O desenvolvimento de camadas de *schlieren* (Figura 5f) são controladas principalmente por misturas ( $\pm$ ) hibridização dinâmica, que particularmente depende mais do estado reológico dos magmas (Barbey, 2009).

O modelo de transporte de magmas graníticos por diques mostra que o magma ascende através de fraturas abertas ligando o topo da região fonte ao corpo granítico em formação (Petford *et al.*, 1993 e 1994; Clemens, 1998; Bons *et al.*, 2004). O modelo de alojamento do *Stock Nova Cruz* provavelmente deve estar relacionado a zona de cisalhamento transcorrente Espírito Santo (ZCES), uma estrutura de dimensão quilométrica (>50 km de comprimento) na direção NE-SW com movimentação sinistral localizada no extremo noroeste da área.

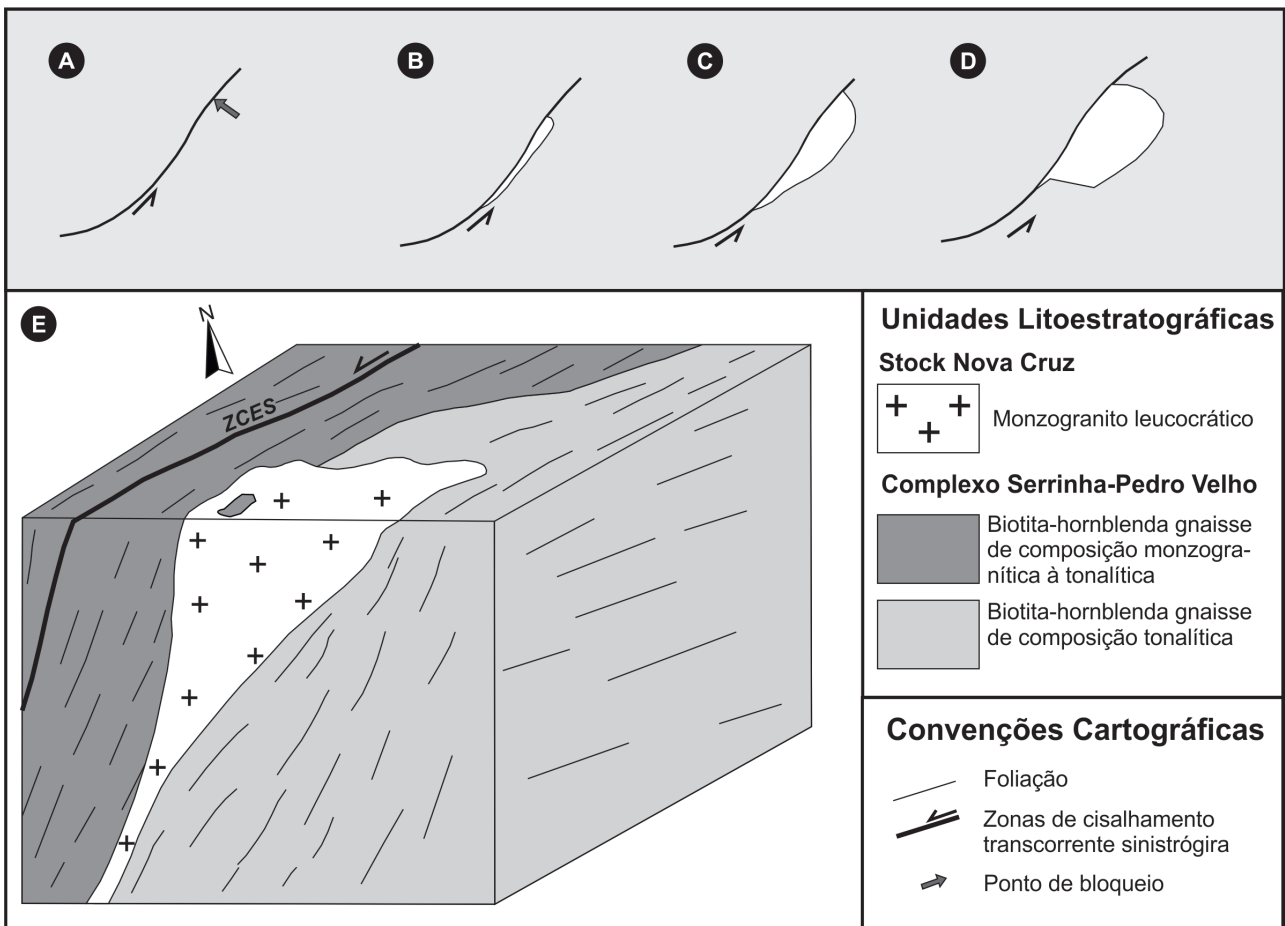
A hipótese de alojamento do SNC em ambiente raso é corroborada pelas seguintes observações: (i) petrografia denotando abundância de textura granofírica (Candella, 1997); (ii) presença de maior quantidade de minerais de alteração tipo mica branca, clorita e carbonatos; (iii) maclas polissintéticas nos cristais de plagioclásios por vezes descontínuas e/ou fracamente vergadas, e; iv) cristais de apatitas predominantemente aciculares.

Para o SNC é inferido um transporte de magma por meio de diques onde o mesmo aproveitou falhamentos se alojando em um ambiente raso (Figura 11a). Neste contexto a colocação do corpo ocorreu através da intrusão forçada do magma granítico nos gnaisses encaixantes. Feições resultantes da interação entre essas rochas são marcadas pela presença de xenólitos das rochas encaixantes que foram arrancados da câmara, das paredes do conduto ou desprendidos do teto durante os diversos estágios de assimilação parcial das rochas encaixantes (Figura 11b).

O modelo de alojamento aqui proposto é apresentado na figura 12, onde o processo tem início com a instalação de uma zona de cisalhamento transcorrente (ZCES), a qual pode ter servido como um sítio para o alojamento do



**Figura 11** - Aspectos de campo das rochas encaixantes e do SNC destacando: (a) dique de granito intrudindo rochas gnáissicas encaixantes; (b) xenólitos das rochas encaixantes resultado da intrusão forçada do SNC.



**Figura 12** - Modelo da sequência de eventos de alojamento do magma granítico do SNC: (a) instalação da ZCES e a relação de entrada de um corpo com a possibilidade da formação de um ponto de bloqueio; (b), (c) e (d) aporte de múltiplos pulsos de magmas até a finalização da atividade com o alojamento; (e) pressuposição do modelo 3D de alojamento do SNC e sua relação com a ZCES.

SNC (Figura 12a). Logo em seguida temos a ação de um regime de transcorrência com cinemática sinistral onde um ponto de bloqueio causado por heterogeneidade reológica pode ter ocasionado a interrupção no movimento

de rejeito direcional (Ferré *et al.*, 1995). Na sequência, tem-se a formação do *stock* pela ação de múltiplos pulsos magmáticos (Figuras 12b, c, d). Estudos realizados por Vignerresse (1995a, b) mostram que os *plutons* que

se encontram alojados juntos às zonas de cisalhamento tendem a possuir uma geometria na forma de “funil” ou “gota invertida” (Figura 12e).

Modelos com geometrias similares ao SNC (gota invertida), foram propostos no Domínio São José do Campestre, a partir de dados gravimétricos, por Lins *et al.* (2001), Almeida (2007) e Cavalcante (2015).

O fato de ser comum observar cristais de quartzo, plagioclásio e K-feldspato apresentando extinção ondulante comprova que este corpo foi submetido a um campo de stress em regime frágil, o que é evidenciado ainda pelos parâmetros estruturais observados em campo, como fraturas de distensão preenchidas por diques pegmatíticos e/ou veios de quartzo.

Utilizando os dados obtidos com as observações realizadas sobre as composições modais, assembleias mineralógicas e características microtexturais, é possível definir uma série de parâmetros relacionados à classificação das rochas do SNC, suas condições de cristalização e os processos envolvidos na evolução do magma fonte. Da mesma forma é possível fazer uma estimativa da sequência de cristalização e dos processos tardimagmáticos (subsólidos) que afetaram as rochas estudadas.

Evidências de que o magma do SNC evoluiu em parte (ou principalmente) por cristalização fracionada são indicadas pela presença de cristais zonados de plagioclásio e allanita. A presença de volume de fluidos tardi-magmáticos enriquecidos em voláteis (H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>, essencialmente) é evidenciada pela presença de texturas mirmequítica e granofírica, além da presença de fases minerais tardias como clorita, mica branca (muscovita) e carbonato.

Na literatura é admitido que a maioria dos exemplos de intercrescimentos granofíricos são provenientes da cristalização simultânea de feldspato alcalino e quartzo a partir de um líquido de composição próxima, ou similar, a do eutético, ou de uma cotética, embora também se admita que em alguns casos podem se formar por devitrificação, metassomatismo ou até infiltração de fluidos (Nascimento *et al.* 2002). Segundo Barker (1970) é possível descrever seis tipos de textura granofírica, sendo denominados de esferulítica, plumosa, franja radial, vermicular, cuneiforme e insular. No caso das rochas do SNC foram identificados intercrescimentos granofíricos dos tipos franja radial e vermicular (Figuras 8c e 8d). A textura granofírica do tipo franja radial em geral consiste de um feldspato homogêneo ou quartzo cercado por um intercrescimento de feldspato e quartzo, indicando súbita mudança nas condições de cristalização, enquanto que a do tipo vermicular é semelhante à textura mirmequítica, ambas tipicamente eutectoides. De outra forma, esses intercrescimentos granofíricos são frequentemente encontrados em rochas graníticas alojadas em nível crustal raso (ambientes subvulcânicos), sendo relativamente comum em granitos tipo-A. Esta constatação pode sugerir então um alojamento em nível crustal raso para o magma do SNC.

Segundo Wones (1989), a paragênese magnetita + titanita + quartzo, em equilíbrio (vide Figura 8f), representa um importante marcador de fugacidade de oxigê-

nio para rochas graníticas, sendo caracterizado como moderado a elevado, acima do tampão QFM (quartzo-magnetita-faialita); de outra forma, finas coroas de titanita sobre minerais opacos (titanita II) e de epidoto sobre allanita, sugerem um aumento da  $fO_2$  nos estágios finais da cristalização do magma do SNC. De acordo com Haggerty (1976), qualquer excedente de MgO, TiO<sub>2</sub> e Fe<sup>3+</sup> durante a esfenitização, resulta na formação de hematita e espinélio rico em MgO.TiO<sub>2</sub>, confirmando assim condições elevadas de fugacidade de oxigênio, evidenciadas pela presença de ilmenita com lamelas de exsolução de hematita identificadas na seção polida analisada.

A presença de dois feldspatos distintos nas rochas do SNC (oligoclásio e microclina) é características de um granito *subsolvus*. Isto sugere que a pressão final de cristalização/alojamento do SNC foi seguramente acima de 2 kbars, haja visto que  $P < 2,0$  kbars são mais próprias de *hipersolvus* granitos (Bowen & Tuttle, 1950). Por outro lado, a presença extensiva de texturas pertíticas associadas aos cristais de microclina, sugerem que a temperatura final de cristalização/resfriamento do magma do SNC ficou em torno de 600<sup>o</sup> C (Smith & Brown, 1988).

## 7. Considerações finais

O *Stock Nova Cruz* (SNC) é parte de um extenso e diversificado magmatismo granítico de idades ediacarana a cambriana que ocorre na Província Borborema, o qual está amplamente representado no Domínio São José de Campestre (extremo NE da província). Suas encaixantes são ortognaisses tonalíticos a monzograníticos do Complexo Serrinha - Pedro Velho de idade riaciana (ca. 2,2 Ga, U-Pb em zircão), dos quais guarda xenólitos.

A ausência total de estruturas dúcteis no SNC nos permite inferir que seu alojamento se deu possivelmente em ambiente tardi- a pós-tectônico no contexto da orogênese Brasileira, submetido a um campo de *stress* em regime frágil em nível crustal raso.

A presença de cristais zonados de plagioclásio e allanita são indicativos de que a cristalização fracionada foi um processo importante durante a evolução do magma do SNC. A presença da paragênese magmática titanita+magnetita+quartzo, esfenitização de opacos, coroas de epidoto sobre allanita e lamelas de hematita em ilmenita, são indicativos de fugacidade de oxigênio moderada a elevada durante a cristalização do magma do SNC. Por outro lado, a presença de volume considerável de fluidos tardi-magmáticos enriquecidos em voláteis (H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>) é responsável por transformações tardi-magmáticas (saussuritização, carbonatação, muscovitização e cloritização), além do desenvolvimento extensivo de microtexturas dos tipos mirmequitas e granofíricas associadas aos feldspatos.

As características de campo, texturais e petrográficas, permitem a princípio correlacionar o SNC com os granitos referidos na literatura do Domínio São José de Campestre como da Suíte Intrusiva Dona Inês (Angelim *et al.*, 2006), que comumente apresentam afinidade cálcio-alcalina de alto-K (Nascimento *et al.* 2015) como granitos da série cálcio-alcalina de alto-K equigranular.

Por outro lado, o *Stock* Nova Cruz também apresenta características de campo e petrográficas similares aquelas observadas no *stock* Flores, o qual mostra uma assinatura geoquímica similar a granitos da série alcalina, e foi correlacionado por Souza (2016) e Souza *et al.* (2017) a granitos tipo-A.

Esta dualidade do *Stock* Nova Cruz poder ser correlacionada aos granitos das séries alcalina ou cálcio alcalina de alto-K, bem como sua idade edicarana ou cambriana poderá ser resolvida em trabalhos futuros a

partir da aquisição de dados litoquímicos e geocronológicos/isotópicos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) por todo apoio logístico e financeiro prestado durante a realização da pesquisa para o Trabalho de Conclusão de Curso de Dantas (2017) que resultou na confecção deste artigo.

#### Referências bibliográficas

- ALMEIDA F.F.M., HASUI Y., BRITO NEVES B.B., FUCK, R. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SBG/Núcleo Nordeste. Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande; *Atas*, 8: 363-391.
- ALMEIDA F.F.M., HASUI Y., BRITO NEVES B.B., FUCK, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews*, 17: 1-29.
- ALMEIDA F.F.M., LEONARDO JR. O.H., VALENÇA J. 1967. Review on granitic rocks of northeast South America. IUGS/UNESCO. Simp., Recife, 41p.
- ALMEIDA, J.C.F. 2007. Modelagem gravimétrica e aspectos petrográficos dos fácies migrogranito e associação máfica/intermediária do plúton Barcelona – porção leste da Faixa Seridó. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 71p.
- ANGELIM L.A.A., NESI J.R., TORRES H.H.F., MEDEIROS V.C., SANTOS C.A., VEIGA JÚNIOR J.P., MENDES V.A. 2006. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 119p.
- BARBEY P. 2009. Layering and schlieren in granitoids: a Record of interactions between magma emplacement, crystallization and deformation in growing plutons. *Geologica Belgica*, v.12, n.3-4, p. 109-133.
- BARKER D. S. 1970. Compositions of granophyre, myrmekite, and graphic granite. *Geological Society of America Bulletin*, 81(11), 3339-3350.
- BATEMAN R. 1984. On the role of diapirism in the segregation, ascent and final emplacement of granitoids. *Tectonophysics*, 10: 211-231.
- BATEMAN R. 1985. Aureole deformation by flattening around a diapir during in-situ ballooning: The Cannibal Creek Granite. *Journal of Geology*, 93: 506-509.
- BONS P. D., DRUGUET E., HAMANN I., CARRERAS J., PASSCHIER C. W. 2004. Apparent boudinage in dykes. *Journal of Structural Geology*, 26: 625-636.
- BOWEN N.L., TUTTLE O.F. 1950. The system NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> – KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> – H<sub>2</sub>O. *Journal of Geology*, 58:489-511.
- BRITO NEVES B. B., SANTOS E. J., SCHMUS W. R. V. 2000. Tectonic History of the Borborema Province. In: Umberto Cordani; Edson José Milani; Antonio Thomaz Filho; Diogenes de Almeida Campos. (Org.). *Tectonic Evolution of south america*. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, v. unico, p. 151-182.
- CANDELA P.A. 1997. A Review of Shallow, Ore-related Granites: Textures, Volatiles, and Ore Metals. *Journal of Petrology*, v. 38, n.12, p. 1619-1633.
- CAVALCANTE, R. 2015. Petrologia e geologia estrutural do plutão granítico Barcelona, Província Borborema, NE do Brasil. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 150p.
- CLEMENS J.D. 1998. Observations on the origins and ascent mechanisms of granitic magmas. *Journal of the Geological Society of London*, 155: 843-851,
- CRUDEN A.R. 1990. Flow and fabric development during the diapiric rise of magma. *Journal of Geology*, 98:681-698.
- DANTAS A.R. 2017. Magmatismo granítico Neoproterozoico no Domínio São José do Campestre: Cartografia e Petrografia do Stock Nova Cruz. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 74p.
- DANTAS E. L. 1996. Geocronologia U-Pb e Sm-Nd de terrenos arqueanos e paleoproterozóicos do Maciço Caldas Brandão, NE do Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 206p.
- DANTAS E.L., SOUZA Z.S., WERNICK E., HACKSPACHER P.C., MARTIN H., XIAODONG D., LI J.W. 2013. Crustal growth in the 3.4-2.7 Ga São José do Campestre Massif, Borborema Province, NE Brazil. *Precambrian Research*, 227: 120-157.
- DANTAS E.L., VAM SCHMUS W. R., HACKSPACHER P.C., FETTER A. H., BRITO NEVES B. B., CORDANI U.G., NORMAN A.P. & WILLIAMS I.S. 2004. The 3,4-3,5 Ga São José do Campestre massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust. In: *South America. Precambrian Research*, 130:113-137.
- DELGADO I.M., SOUZA J.D., SILVA L.C., SILVEIRA FILHO N.C., SANTOS R.A., PEDREIRA A.J.,

- GUIMARÃES J.T., ANGELIM L.A.A., VASCONCELOS A.M., GOMES I.P., LACERDA FILHO J.V., VALENTE C.R., PERROTTA M.P., HEINECK C.A., 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: L.A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti, J.H. Gonçalves. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Brasília, CPRM. 227-334.
- FERRÉ E., GLEIZES G., BOUCHEZ J.L., NNABO P.N. 1995. Internal fabric and strike-slip emplacement of the Pan-African granite of Sollis-Hills, northern Nigeria. *Tectonics*, 4:1205-1219.
- FERREIRA V. P., SIAL A. N., JARDIM DE SÁ E. F. 1998. Geochemical and isotopic signatures of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.2, n.5, p. 439 - 455
- GILL R. 2014. Rochas e processos ígneos: um guia prático. Bookman, 1 ed., 502p.
- GUIMARÃES I.P., BITTAR S.M.B., FARIAS D.J.S., SILVA L.H.N., YADAVA R., NERY N. 2014. Folha SB.25-Y-A-V. Programa Geologia do Brasil-PGB. São José do Mipibu. Estado da Paraíba. Carta Geológica. Recife: CPRM, 1 mapa colorido. Escala 1:100.000.
- HAGGERTY S.E. 1976. Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks: in *Oxide Minerals*, Rumble, D., III, ed., *Reviews in Mineralogy Volume 3*, Mineralogical Society of America, Washington, p. Hg-101 - Hg-300.
- JARDIM DE SÁ E.F. 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 803p.
- LIMA M.G., DANTAS E.P., MEDEIROS V.C. 2016. Folhas SB.25-Y-A-II e SB.25-Y-A-III. Programa Geologia do Brasil-PGB. São José do Mipibu. Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. Carta Geológica. Recife: CPRM, 1 mapa colorido, 100,0 x 71,0 cm. Escala 1:100.000.
- LINS, F.A.P.L., ANTUNES, A.F., SILVA, F.C.A., JARDIM DE SÁ, E.F., GALINDO, A.C., COSTA, P.R.C., ANDRADE, P.R.O. 2001. Modelo gravimétrico do pluton de Monte das Gameleiras, porção centro-sul do Maciço São José de Campestre (Província Borborema, Nordeste do Brasil). XIX Simpósio de Geologia do Nordeste, Natal, Boletim 17: 131-132.
- MEDEIROS V. C., CAVALCANTE R., CUNHA A. L. C., DANTAS A. R., COSTA A. P., BRITO A. A., ROBRIGUES J. B., SILVA M. A. 2017. O furo estratigráfico de Riacho Fechado (Currais Novos/RN), Domínio Rio Piranhas-Seridó (Província Borborema, NE Brasil): Procedimentos e Resultados. *Estudos Geológicos (UFPE)*, 27(3): 3-44.
- MEDEIROS V.C. 2004. Evolução Geodinâmica e Condicionamento Estrutural dos Terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú, Domínio da Zona Transversal, NE do Brasil. Tese de doutorado. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 200 p.
- MEDEIROS V.C. 2013. Geologia da Província Mineral Seridó. I Seminário das Províncias Metalogenéticas Brasileiras: A Província de W-Au Seridó. Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Currais Novos-RN. CD-ROM, p: 2-35.
- NASCIMENTO M. A. L., SOUZA Z. S., GALINDO A. C. 2002. Textura granofírica nas rochas do Granito do Cabo de Santo Agostinho, Província Magmática do Cabo, Bacia de Pernambuco (Nordeste do Brasil): implicações geodinâmicas. *Revista de Geologia (Fortaleza)*, Fortaleza/CE, 15: 101-107.
- NASCIMENTO M.A.L., GALINDO A.C., MEDEIROS V.C., 2008. Magmatismo ediacarano a cambriano no domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema, NE do Brasil. *Estudos Geológicos*, 18: 4-25.
- NASCIMENTO M.A.L., MEDEIROS V.C., GALINDO A.C. 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. *Journal of South American Earth Sciences*, 58: 281-299.
- PATERSON S.R., & VERNON R.H. 1995, Bursting the bubble of ballooning plutons: A return to nested diapirs emplaced by multiple processes. *Geological Society of America Bulletin*, 107:1356-1380.
- PETFORD N., KERR R. C., LISTER J. R. 1993. Dike transport of granitoid magmas. *Geology*, 21(9), 845–848.
- PETFORD N., LISTER J. R., ROSS R. C. 1994. The ascent of felsic magmas in dykes. *Lithos*, 32: 161– 168.
- ROIG H.L. & DANTAS E.L. 2013. Programa Geologia do Brasil. Mapa Geológico da Folha São José do Campestre SB. 25 –Y-A-I, Escala: 1:100.000. Rio de Janeiro: CPRM.
- SIAL A. N. 1986. Granite-types in Northeastern Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira de Geociências*, 16:52-72.
- SMITH, J.V., BROWN, W.L. 1988. Feldspars Minerals. 1. Crystal Structures, Physical. Chemical and Microtextural Properties. Second Revised and extended Edition. Springer-Verlag. Berlin. 828p.
- SOUZA V. O. 2016. Magmatismo granítico na porção central do domínio Rio Piranhas-Seridó, Província Borborema: geologia e petrologia do Stock Flores (RN). Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 75p.
- SOUZA V. O., GALINDO A. C., SILVA F. C. A. 2017. O Stock Flores: Exemplo de magmatismo granítico tipo-A no Domínio Rio Piranhas-Seridó, NE da Província Borborema. *Pesquisas em Geociências*, 44( 2): 345-366.
- SOUZA Z. S., MARTIN H., PEUCAT J. J., JARDIM DE SÁ E. F., & MACEDO M. H. D. F. 2007. Calc-al-

- kaline magmatism at the archaean–proterozoic transition: the caicó complex basement (NE Brazil). *Journal of Petrology*, 48(11), 2149-2185.
- SOUZA Z.S. & DANTAS E.L. 2008. O Arqueano do Maciço São José do Campestre, leste do Rio Grande do Norte. *Estudos Geológicos*, 18:122-128.
- SOUZA Z.S., MARTIN H., MACEDO M.H.F., PEUCAT J.J., JARDIM DE SÁ E.F. 1993. Un segment de croûte continentale juvénile d'âge protérozoïque inférieur: le Complexe de Caicó (Rio Grande do Norte, NE-Brésil). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 316:201-208.
- STRECKEISEN A. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Science Reviews*, 12: 1-33.
- VAN SCHMUS W.R., BRITO NEVES B.B., HACKSPACHER P.C., BABINSKI M., FETTER A.H., DANTAS E.L. 1997. Application of U–Pb and Sm–Nd geochronology to understanding the geotectonic history of the Borborema Province, NE Brazil and its implications for the evolution of West Gondwana. *Resumos extendidos, Simpósio da América do Sul em Geologia Isotópica, Campos do Jordão-SP, Brasil, Junho*, p. 27–29.
- VIGNERESSE J.L. 1995a. Control of granite emplacement by regional deformation. *Tectonophysics*, 249:173-186.
- VIGNERESSE J.L. 1995b. Crustal regime of deformation and ascent of granitic magma. *Tectonophysics*, 249:187-202.
- WEINBERG R. F. & PODLADCHIKOV Y. 1994. Diapiric ascent of magmas through power-law crust and mantle. *Journal of Geophysical Research*, 99: 9543-9559.
- WONES D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, 74: 744-749.