

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE ESTRUTURAL E CONTROLE DA SEGREGAÇÃO E MIGRAÇÃO
DO FUNDIDO EM METATEXITO COM BAIXA TAXA DE FUSÃO, NA
REGIÃO ENTRE CAMBUQUIRA E TRÊS CORAÇÕES, MG**

Jessica Maria de Lima

Orientador: Prof.Dr. Renato de Moraes
Co-orientadora: MSc Laísa de Assis Batista

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 / 23)

SÃO PAULO
2016

TF
L732
JM.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE ESTRUTURAL E CONTROLE DA SEGREGAÇÃO E MIGRAÇÃO DO
FUNDIDO EM METATEXITO COM BAIXA TAXA DE FUSÃO NA REGIÃO ENTRE
CAMBUQUIRA E TRÊS CORAÇÕES, MG**

Jessica Maria de Lima



Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes
Coorientadora: MSc Laísa de Assis Batista

iGc-Instituto de Geociências



Análise estrutural e controle da segregação e migração d
fundido em metatexito com baixa taxa

M27137

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 / 23)

SÃO PAULO

2016

TF
L732
Jm.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ANÁLISE ESTRUTURAL E CONTROLE DA DEGRADAÇÃO E EROSÃO DO
FUNDO EM METAIXITO COM BAIXA TAXA DE TENSÃO NA REGIÃO ENTRE
CAMBUIRÁ E TRÊS CORAÇÕES, MG



Assinatura de [illegible]

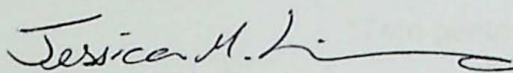
Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes
Coorientador: MSc. Lúcia de Almeida

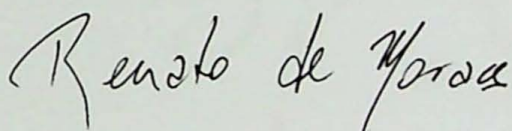
INSTITUTO DE TRABALHO DE FORMIGOSA
(TF 2018 123)

2018
2018

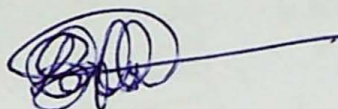
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ANÁLISE ESTRUTURAL E CONTROLE DA SEGREGAÇÃO E MIGRAÇÃO DO
FUNDIDO EM METATEXITO COM BAIXA TAXA DE FUSÃO NA REGIÃO ENTRE
CAMBUQUIRA E TRÊS CORAÇÕES, MG**


Jessica Maria de Lima



Orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes



Coorientadora: MSc Laísa de Assis Batista

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016 / 23)

SÃO PAULO
2016

ASSINALENTOS

Quando eu me levanto, eu canto
Quando levanto, eu encanto
A tristeza? Desconheço!
Alegria é o meu preço
Se perguntarem quem sou e pra
onde vou
Digam que sou todos nós
Vivendo na expressão de cada um
E estarei onde houver amor e
esperança
Me chamo Forró
(Me chamo Forró – Ó do Forró)

"Tem gente estudando a sintaxe da
vida; e eu fazendo poesia"
(Felipe Puritta)

"Quando algum profeta vier lhe
contar
Que o nosso sol tá prestes a se
apagar
Mesmo que pareça que não há
mais lugar
Vocês ainda têm, vocês ainda têm
A velocidade da luz pra alcançar"
(Geração da Luz, Raul Seixas)

"Se o dia está cinza, eu trago
esperança
Trago comigo, alegria, poesia, a
rima e a dança
Não me aperreie que eu sou um só
Do fundo da alma, me chamo Forró

...
Se eu cair, eu canto
Quando levanto, eu encanto
A tristeza? Desconheço!
Alegria é o meu preço
Se perguntarem quem sou e pra
onde vou
Digam que sou todos nós
Vivendo na expressão de cada um
E estarei onde houver amor e
esperança
Me chamo Forró"
(Me chamo Forró – Ó do Forró)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Renato de Moraes, pela incrível paciência e vontade de ensinar, e por estar sempre disponível para tirar dúvidas; e à minha queridíssima coorientadora, Laísa Batista (Devahça), por ter aceitado tão prontamente compartilhar comigo sua área de estudo, por todos os toques, dicas e preocupações. Agradeço também à FAPESP, pelo financiamento deste trabalho através do projeto 13/04007-0.

À minha família, em especial mamis (Luciene), titi (Lucilene) e vóvis (Gedália), três mulheres lindas, fortes e incríveis, obrigada por sonharem comigo os meus sonhos, mesmo com todos os sacrifícios que isso exige, pelo amor e cuidado incondicionais, amo muito vocês! E ao Henrique, meu primo, por me ensinar tanto, te amo queridinho.

À minha família de escolha, sem os quais eu realmente estaria à deriva: Bia, Tio Chico, Naomi, Ninja, Monge, Emerson, Montanha, Maria; a distância e a correria da vida jamais serão suficientes pra apagar o quanto vocês foram e são importantes pra mim. Aos grandes amores da minha vida, Felipe Puritta e Vinicius Jesus, por me amarem tanto e de tantas formas, sem vocês eu definitivamente seria muito mais normal, então obrigada por nunca terem deixado isso acontecer!

Ao Caio Santos (Fofona), meu eterno monitor, pelo prazer em ensinar e pelo enorme carinho escondido em cada murro no braço. À Loly e ao Emília, duas das pessoas mais doces que eu já conheci nessa vida, estou com saudades! Ao Vinicius Zacatei (Sinistro) pela lealdade e companheirismo inestimáveis, e por ter me mostrado tantas coisas lindas, na geologia e na vida, obrigada lindo!!! E também à Ivete Zacatei, por me acolher como parte da família durante tanto tempo, sem dúvida teria sido muito mais difícil chegar até aqui sem o aconchego do seu lar.

Às pessoinhas que fizeram desse curso uma experiência muito mais valorosa: Dana, Alice, Fofolech, Ursinho, Lomba, Blow, Grega, Lud, Marcelha, Judeu; obrigada pelos campos, festas, risos e conversas no banco, e por toda a geologia compartilhada. À Gordelícia por ter me acolhido lá no comecinho, e tido paciência com o meu “eu” recém saído da adolescência, por todo o carinho e cuidado, e pelo exemplo de garra e perseverança. À Sueca, pela amizade pentelha e divertida, pelos trabalhos em grupo e quartos de hotel divididos. Ao Mindy e à Lê, por serem minha família na faculdade, pelo cuidado e carinho, e por todo o conhecimento compartilhado. A todos os funcionários do IGc USP, pessoal da limpeza, biblioteca, laboratórios, lanchonete, etc, e em especial aos motoras, que nos aguentam e mantêm seguros nas viagens. Aos professores que fazem o curso valer a pena, vocês sabem quem são!

E a toda equipe da Locus Danças, onde eu encontrei não só professores e companheiros de dança, mas amigos maravilhosos, que eu espero levar pra vida toda. Sem vocês eu teria terminado este trabalho muito antes, mas com certeza não teria vivido momentos tão incríveis nesse último ano e meio, obrigada por me lembrarem que dançar me faz mais viva!

RESUMO

Investigar a relação entre as estruturas regionais de rochas que atingiram o campo da fusão parcial e a forma, localização e orientação do leucossoma ajuda a compreender o processo de segregação do fundido e, por consequência, da diferenciação da crosta continental. O presente trabalho tem por objetivo principal a análise estrutural de região entre as cidades de Cambuquira e Três Corações, MG, em que foi investigada a transição entre rutilo-cianita-granada-biotita-plagioclásio xisto e metatexito da unidade Xisto Santo Antonio. A ideia é compreender os mecanismos de segregação do fundido e formação dos veios de leucossoma.

Os métodos utilizados no trabalho consistiram em trabalhos de campo, análise petrográfica em conjunto com contagem modal e análise estrutural através de diagramas de projeção estereográfica e de frequência de mergulho das estruturas de interesse (foliação principal, zonas de cisalhamento e dobras, veios de quartzo e leucossoma).

A análise petrográfica estabeleceu um padrão granulométrico bastante distintivo entre leucossoma, de granulação maior, e resíduo, de menor granulação, ao qual atribui-se a influência da deformação, que teria atuado de maneira muito mais intensa nos cristais do resíduo do que do leucossoma. Os dados obtidos na análise modal relacionam composições empobrecidas em plagioclásio (<40%) a veios de quartzo, com ou sem nucleação de leucossoma, enquanto composições tonalíticas correspondem a veios ou bolsões de leucossoma. Na análise estrutural observa-se que os veios de leucossoma se orientam em planos que possuem a mesma direção e sentido de deslocamento que a estrutura de cisalhamento principal (C) de S_2 , porém apresentam-se oblíquos a esta, com mergulhos em torno de 10° maiores, condizentes com a disposição de superfícies S. Sugere-se ainda que os veios de quartzo observados estejam orientados segundo as superfícies C, aproximadamente paralelos à foliação principal S_2 .

Palavras chave: Xisto Santo Antonio, metatexito, leucossoma, segregação, análise estrutural

ABSTRACT

The investigation of the relationship between regional structures in rock that underwent partial melting and the shape, location and orientation of leucosome, helps to understand the segregation process of melt and, consequently, continental crust differentiation. The aim of present work is the structural analysis of rocks that crop out in an area between Cambuquira and Três Corações, MG, in which it is investigated the transition of rutile-kynite-garnet-biotite-plagioclase schist to metatexite within the Santo Antonio schist unit. The main idea is the understanding of melt segregation and leucosome formation.

The studies were developed from field surveys, petrographic analyses with modal count, structural analyses using stereographic projection and rosette diagrams to compare dip of all structures of interest, as foliation, shear zones, quartz-vein, and leucosome-veins.

The petrographic analyses have set out a clear granulometric pattern distinction between leucosome and restite, the strain were more intense in restite crystals than leucosome. The data obtained by modal count were related for quartz-vein with compositions depleted in plagioclase (<40%), with or without leucosome nucleation, while tonalite composition are associated to either patches or veins of leucosome. It is observed leucosome veins are oblique to main structure and host inside S surfaces, while quartz-veins are disposed parallel with the main foliation S_2 or C planes.

Key Words: Santo Antonio Schist, metatexite, leucosome, segregação, análise estrutural

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS	2
3.	JUSTIFICATIVA.....	2
4.	LOCALIZAÇÃO.....	3
5.	FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
5.1.	Migmatitos: conceitos e classificações.....	4
5.2.	Conceitos em análise estrutural.....	6
5.2.1.	<i>Compilação de Dados</i>	7
5.2.2.	<i>Interpretações</i>	7
5.3.	Processos de Segregação e Migração de Fundido.....	7
5.4.	Geologia Regional	11
6.	MATERIAIS E MÉTODOS	14
6.1.	Revisão bibliográfica.....	14
6.2.	Trabalhos de campo	14
6.3.	Petrografia.....	14
6.4.	Análise Estrutural.....	15
7.	RESULTADOS.....	16
7.1.	Geologia Local.....	16
7.1.1.	<i>IC-01</i>	17
7.1.2.	<i>IC-03</i>	17
7.1.3.	<i>IC-07</i>	19
7.2.	Análise petrográfica.....	20
7.2.1.	<i>IC-01</i>	20
7.2.2.	<i>IC-03</i>	21
7.2.3.	<i>IC-07</i>	24
7.3.	Análise Estrutural.....	25
8.	DISCUSSÕES	33
8.1.	Análise Petrográfica	33
8.2.	Análise Estrutural	35
9.	CONCLUSÕES.....	38
9.1.	Análise Petrográfica.....	38
9.2.	Análise Estrutural.....	38
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

ANEXO I: TABELA DE PONTOS

ANEXO II: MAPA DE PONTOS

1. INTRODUÇÃO

Quando temperaturas adequadas são alcançadas na crosta continental, e dada a fertilidade das rochas que a compõem, o processo de fusão parcial ocorre gerando migmatitos, granitos e granulitos, dependendo da extensão da fusão e do intervalo de temperatura envolvido. O fundido gerado pode ter três destinos básicos: *i*) não ser segregado e ficar *in situ*, na rocha e local em que foi gerado; *ii*) sofrer alguma segregação e ser concentrado em estruturas de dilatação, sem deixar a rocha de origem, ou seja estarem segregados *in situ* ou na fonte; e *iii*) no caso extremo ser coletado volume significativo e formar magma que pode ascender níveis crustais mais rasos (Sawyer 2008).

Um processo que ajuda a segregação do fundido do local em que a reação de fusão aconteceu (sítio textural) para estruturas dilatacionais (sítio estrutural), como veios paralelos à foliação, *neck de boudins*, veios em fraturas, para formar o leucossoma após cristalização, é a deformação (Brown 1994, 2016; Sawyer 2008). Assim, a investigação da relação entre as estruturas regionais de metatexito e forma, localização e orientação do leucossoma, ajudam a entender o processo de segregação do fundido e, conseqüentemente, da diferenciação da crosta continental.

No presente projeto, será investigada a geologia estrutural de área no sul de Minas Gerais, entre Três Corações e Cambuquira, em que granada-biotita-plagioclásio xisto apresenta transição para metatexito (Batista 2011, 2015) e em que as relações entre a foliação regional e os veios de leucossoma da rocha podem ser estabelecidas, desde o início do processo de fusão parcial.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo principal a análise estrutural de região entre as cidades de Três Corações e Cambuquira, MG, em que será investigada, a transição entre rutilo-cianita-granada-biotita-plagioclásio xisto e metatexito da unidade Xisto Santo Antonio, a relação entre as estruturas presentes, foliação principal, zonas de cisalhamento e dobras, e os veios de quartzo e leucossoma presentes. A ideia é compreender os mecanismos de segregação do fundido e formação dos veios de leucossoma.

3. JUSTIFICATIVA

A análise estrutural dessas rochas permitirá:

- avaliar a influência da deformação nos processos de formação e migração dos líquidos silicáticos resultantes de fusão parcial e,
- avaliar a contrapartida do processo, ou seja, quais as mudanças de comportamento deformacional nas rochas com e sem fundido.

4. LOCALIZAÇÃO

A área a ser investigada nesse estudo localiza-se entre as cidades de Cambuquira e Três Corações (Figura 1), no sul de Minas Gerais, a cerca de 290 km a sudoeste da capital Belo Horizonte.

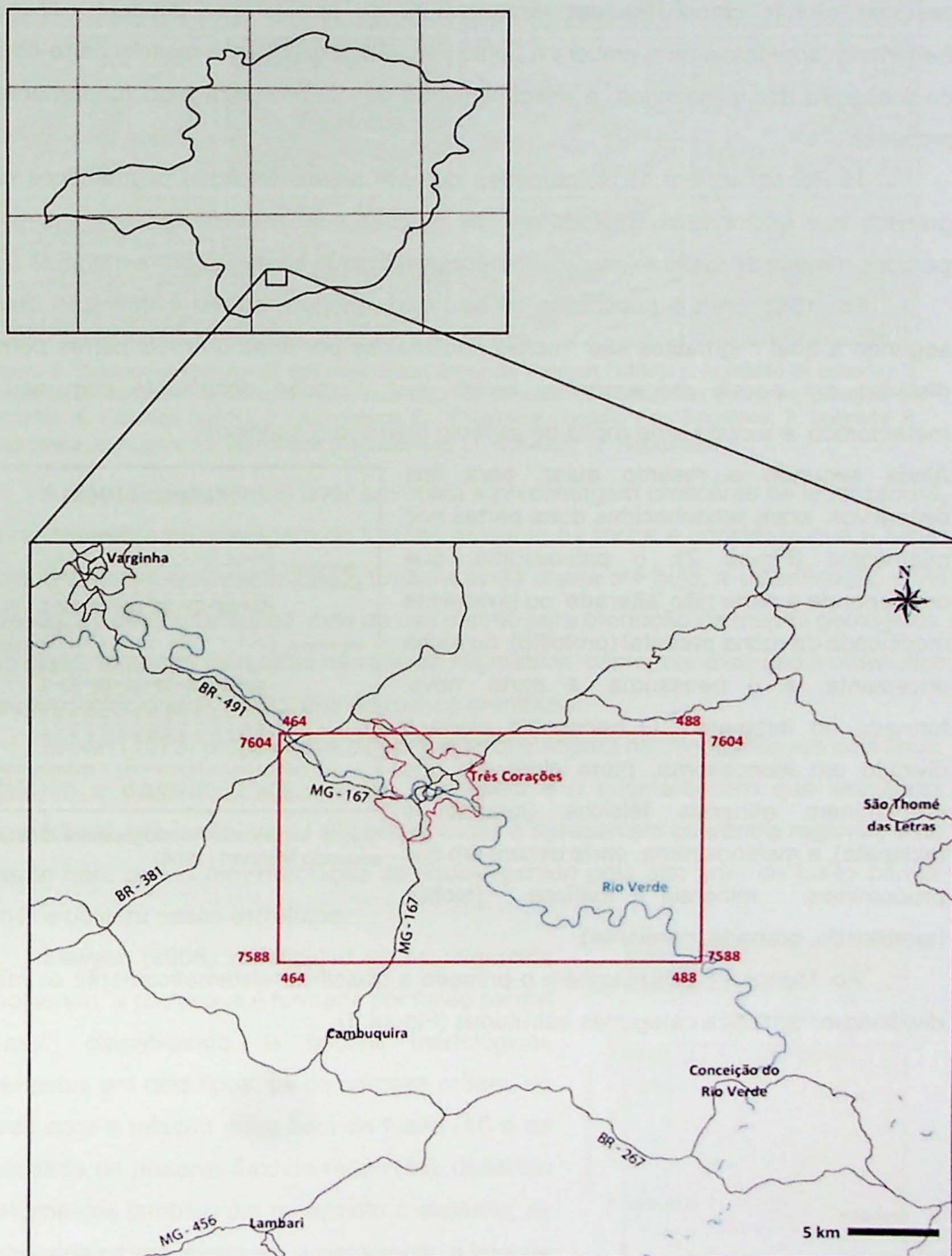


Figura 1. Localização da área de estudo, cidades próximas e principais vias de acesso. Extraído e modificado de <http://wikipedia.org> e <http://www.maps.google.com.br>; acessados em 25/02/16.

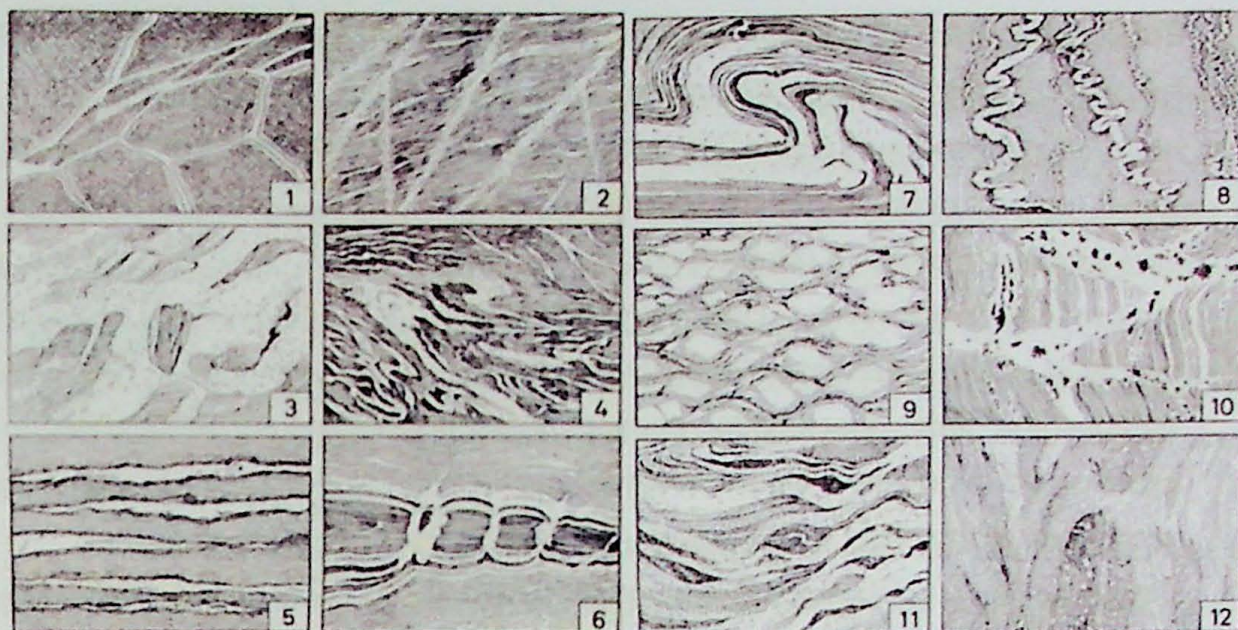


Figura 3. Categorias estruturais dos migmatitos, segundo Mehnert (1968): 1. Agmatito (brechada); 2. Diktionítica (contexto de zona de cisalhamento); 3. Scholen ou Raft (altas taxas de geração de fundido); 4. Flebítica (veios); 5. Estromática; 6. Dilatacional ("boudin") ou Surreítica; 7. Dobrada; 8. Pitgmática; 9. Augen; 10. Manchada (Estictolítica); 11. Schillren; 12. Nebulítica.

A classificação tentou levar em conta a porcentagem crescente de leucossoma, que representa a porcentagem de fundido presente na rocha e considera que a fusão parcial ocorre em sistema fechado. Embora ainda usada até hoje, a classificação é útil na descrição de afloramentos, mas de uso restrito para produção de mapas geológicos. Além disso, algumas estruturas não são de migmatitos, como, por exemplo a oftálmítica ou *augen*, relacionada a milonitos de rochas graníticas.

Brown (1973) propôs nova classificação que separa os migmatitos em dois tipos, metatexito e diatexito. Para o autor, metatexito é o migmatito em que estruturas metamórficas, pré-fusão, ainda são preservadas e apresentam coerência regional, e no diatexito não, pois a movimentação do líquido gerado pelo alto grau de fusão parcial destrói e oblitera essas estruturas.

Sawyer (2008) redefiniu o termo migmatito como sendo "a rocha que é formada por fusão parcial *in situ*", classificando as feições morfológicas observadas em dois tipos: as de primeira ordem, de acordo com a relação entre taxa de fusão (M) e de quantidade de material fundido retido (M_r), dividindo os migmatitos também em metatexito e diatexito; as de segunda ordem levam em consideração a taxa de deformação sofrida pelo migmatito e acabam usando alguns termos da classificação de Mehnert para adjetivar a classificação de primeira ordem (Figura 4).

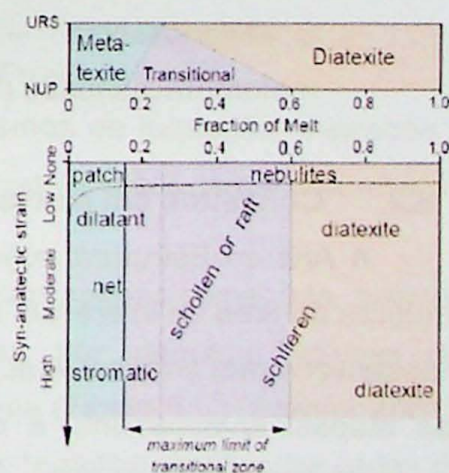


Figura 4. Esquema de Classificação de migmatitos segundo Sawyer (2008).

Em conjunto com os critérios supracitados, outros termos definidos por Sawyer para descrever os migmatitos são (Figura 5):

- Paleossoma – parte da rocha pouco ou nada afetada pela fusão, não caracteriza um protólito ($M=0$). Essa é a maior mudança na classificação proposta, pois anteriormente o termo paleossoma era relacionado com o protólito do migmatito e agora qualquer rocha que não sofreu fusão parcial, no conjunto, é o paleossoma. A nova definição gera alguns problemas.

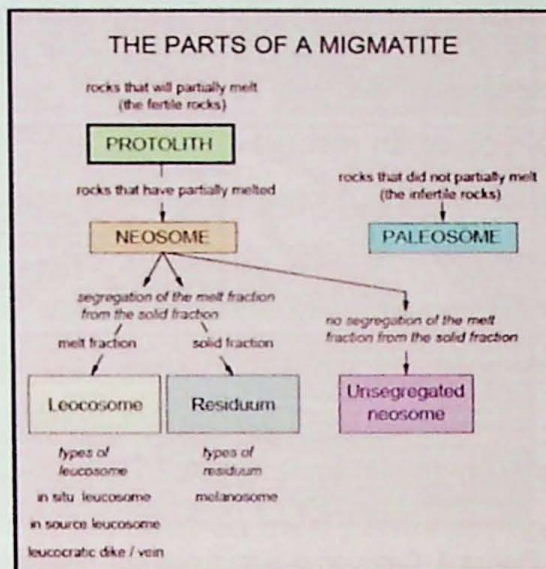


Figura 5. Divisão morfológica dos migmatitos (Sawyer 2008).

- Neossoma – produto da fusão parcial ($M>0$), subdividido em:

- Resíduo – parte do neossoma que sofreu fusão parcial e perdeu parte ou todo fundido gerado, comumente corresponde às fases em excesso da reação metamórfica de fusão, não necessariamente melanocrático ($M>0$; $M<< M_f$);
- Leucossoma – porção félsica, que acumulou ou recebeu fundido, apresenta textura ígnea. O leucossoma pode apresentar-se a) *in situ*, quando ocorre segregado do resíduo, mas próximo ao sítio da fusão, b) *in source* – quando houve migração do líquido, mas este ainda permanece na rocha geradora, e c) como veios e diques leucocráticos – quando ocorre migração do líquido e este chega a intrudir outras porções da rocha fonte, ou mesmo outras rochas ($M>0$; $M>>> M_f$);
- Melanossoma – representa as fases peritéticas das reações metamórficas/fusão ($M>0$; $M<<<<< M_f$);

5.2. Conceitos em análise estrutural

A Análise Estrutural objetiva estabelecer a forma, extensão e disposição das estruturas da área de interesse, bem como a sequência temporal em que as estruturas se desenvolveram (Hobbs *et al.*, 1976). A análise estrutural pode ser subdividida em duas etapas: levantamento e compilação de dados, e interpretações a partir dos mesmos (Hobbs *et al.*, 1976):

5.2.1. Compilação de Dados

Na etapa de mapeamento e aquisição de dados estruturais, é de suma importância registrar os dados estratigráficos, subdividindo as rochas em unidades e observando sua disposição na área, os contatos entre as unidades e as relações de topo e base. Todos esses fatores ajudarão na interpretação da deformação. Outra ferramenta essencial na análise estrutural é o mapeamento de formas de superfície, que consisti em representação simplificada do traço de qualquer estrutura penetrativa, não havendo a necessidade de representar necessariamente um leito particular, e sim a estrutura como um todo.

Devem ser observadas não só as estruturas em si, mas também as relações de superposição entre as mesmas, a fim de subdividi-las em grupos de estilo diferentes. E tão importante quanto a observação, é a representação dos dados de orientação das estruturas; as atitudes das foliações, lineações, planos axiais, que devem ser medidas extensivamente por toda a área, gravadas no mapa ao lado dos afloramentos, e tratadas separadamente com o auxílio de projeções estereográficas (Morales, 1986).

5.2.2. Interpretações

Uma vez coletadas as informações necessárias, passa-se à interpretação e comparação dos dados, ao final das quais espera-se estabelecer o padrão de orientação e ocorrência de cada estrutura ao longo de toda a área. Um recurso muito eficiente nessa etapa é a separação e análise das estruturas em domínios, ou *“pequenas áreas onde se reconhece a distribuição uniforme de atitudes dos elementos estruturais, ou sua variação num padrão regular, consistente e passível de interpretação”* (Morales 1986).

O objetivo do trabalho será correlacionar as estruturas com os veios de leucossoma, para entendimento de como o fundido foi segregado e controlado pelas estruturas regionais.

5.3. Processos de Segregação e Migração de Fundido

Muitos são os autores que estudam os mecanismos de formação, migração e segregação dos produtos de fusão parcial, bem como suas relações com a deformação em escala regional.

Rochas onde a fusão parcial e segregação haviam apenas começado, quando ocorreu cristalização do líquido, são caracterizadas por pequeno volume de leucossoma, fino e ramificado, e também de melanossoma (Figura 6.C) (Sawyer 2001). Conforme esses processos avançam, desenvolvem-se extensas e ramificadas redes de leucossoma, com os litotipos residuais no entorno, envelopando o fundido (Figura 6.A). Já nos locais onde houve maior segregação de fundido, observa-se maior proporção de

melanossoma em detrimento do leucossoma (Figura 6.D). Muitos migmatitos apresentam veios de leucossoma orientados em planos paralelos aos da foliação; estes representam lugares onde houve dilatação nos planos de foliação e o fundido foi coletado para esses sítios (Figura 6.B). Como consequência da migração, em escala microscópica, observa-se que a maior parte da camada que fundiu é drenada e apenas uma pequena fração do líquido é retida; o que resta então são os canais maiores, mesoscópicos, que ao resfriarem, ainda contendo algum líquido ou cristais formados pela cristalização do fundido, constituem o leucossoma concordante à foliação. O leucossoma discordante da foliação é então fruto da continuidade da migração do fundido para além da camada fonte (Sawyer 2001) (Figura 6.E).

Com relação aos estágios iniciais de nucleação do leucossoma, Brown *et al.* (2011) afirmam que a colocação e posterior segregação tem início com o acúmulo do fundido em limites de grãos, seguida da migração do líquido ao longo da “trama/textura” da rocha e de fraturas. A partir daí o material migra em sentido ascendente, por efeito de gradientes de pressão gerados por deformação tectônica. Em um último estágio, o fundido ascende através da crosta por efeito gravitacional, podendo ficar retido na zona de transição rúptil-dúctil da crosta, ou em alguma estrutura tectônica em desenvolvimento.

Em consonância com Brown *et al.* (2011), Sawyer (2014) afirma que, em uma primeira etapa, formam-se microporos de aproximadamente 1 mm (Figura 7a), posteriormente se desenvolvendo para concentrações de microleucossomas elípticos e escalonados, isolados uns dos outros pela matriz da rocha (Figura 7b). Quando os microleucossomas atingem em torno de 4 mm, começam a se interligar em espécie de zig-zag através da matriz (Figura 7c). Finalmente, leucossomas maiores (~30 mm) são formados pela junção destes aglomerados em zig-zag, muitas vezes rompendo a matriz da rocha e formando pequenas fraturas dúcteis (Figura 7d). A partir daí a segregação do fundido é controlada pelo gradiente de pressão entre a fratura dúctil e neossoma adjacente *in situ*. No estudo de caso em particular, a estrutura da rocha, muito resistente, atrasou a segregação da fusão até que a cristalização do fundido tivesse começado, o que também restringiu a escala de segregação do fundido.

Em todos os trabalhos expostos, fica evidente a relevância da deformação regional e do controle estrutural nos processos de segregação do líquido formado pela anatexia.

As diferenças com relação à distribuição espacial e à espessura máxima dos veios de leucossoma em dois migmatitos distintos, um para-, e outro, ortoderivado, foi investigada levando em conta a escala decimétrica das camadas herdadas do protolito do paragnaisse e a homogeneidade do outro protolito (Yakymchuk *et al.* 2013). A estrutura pretérita restringiu o desenvolvimento do leucossoma no paragnaisse, ao passo que, no ortognaisse, que não possuía o mesmo tipo de estrutura, observa-se maior volume de leucossoma, com maiores espessuras. Este estudo evidencia que, além do controle estrutural, a colocação do leucossoma está sujeita ao controle litológico e suas estruturas pretéritas.

Diante do exposto, os processos de migração e segregação do líquido anatético podem ser resumidos da seguinte forma: inicialmente, o fundido é gerado e se acumula em limites de grãos, formando pequenos filmes ou núcleos, que vão se desenvolvendo e conectando através dos poros intrínsecos à estrutura da rocha, frequentemente a foliação pré-existente, formando então núcleos de líquido de maiores proporções, porém ainda isolados. Esses leucossomas já mais segregados podem continuar a se agrupar e migrar através de fraturas ou outras anisotropias, pré-existentes ou geradas durante a deformação sin-anatética. À medida que as estruturas dilatacionais se desenvolvem, o fundido flui para gradientes de baixa pressão gerados pela deformação tectônica imposta; podendo se acumular em bolsões dentro da rocha fonte ou até mesmo intrudindo outras rochas. Deste modo, a fusão parcial é controlada pela textura inicial, ou seja, pelos locais em que os minerais reagentes estão se tocando, gerando certo volume de líquido que pode se conectar com o aumento da taxa de fusão, enquanto a segregação depende da estrutura da rocha.

A deformação regional, como citado, exerce grande controle sobre a migração e segregação do líquido, uma vez que este já se encontrem conectados em escala mesoscópica. De outra forma, a tectônica é capaz de influenciar ainda a quantidade de material fundido presente na rocha, pois, muitas vezes o volume de líquido observado poderá ser proveniente não só da fusão parcial *in situ*, como também da migração de fundido de níveis crustais mais profundos (Yakymchuk *et al.* 2013). Segundo Brown *et al.* (2011), este viria a ser “o processo de transferência de massa mais importante que ocorre na crosta continental”.

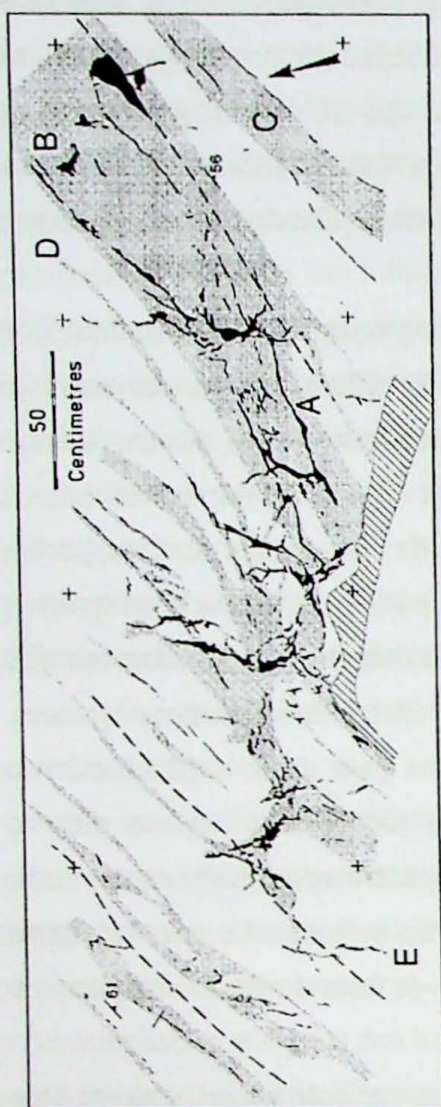


Figura 6. Exemplo de distribuição de veios de leucossoma em relação à foliação. Símbolos: A, melanossoma (cinza) paralelo à foliação (linhas tracejadas), envelopando o leucossoma (preto); B, leucossoma (preto) paralelo à foliação; C, largas zonas de melanossoma, com leucossoma pouco espesso; D, melanossoma paralelo à foliação, sem presença de leucossoma; E, leucossoma oblíquos à foliação sem a presença de melanossoma (adaptado de Sawyer 2001).

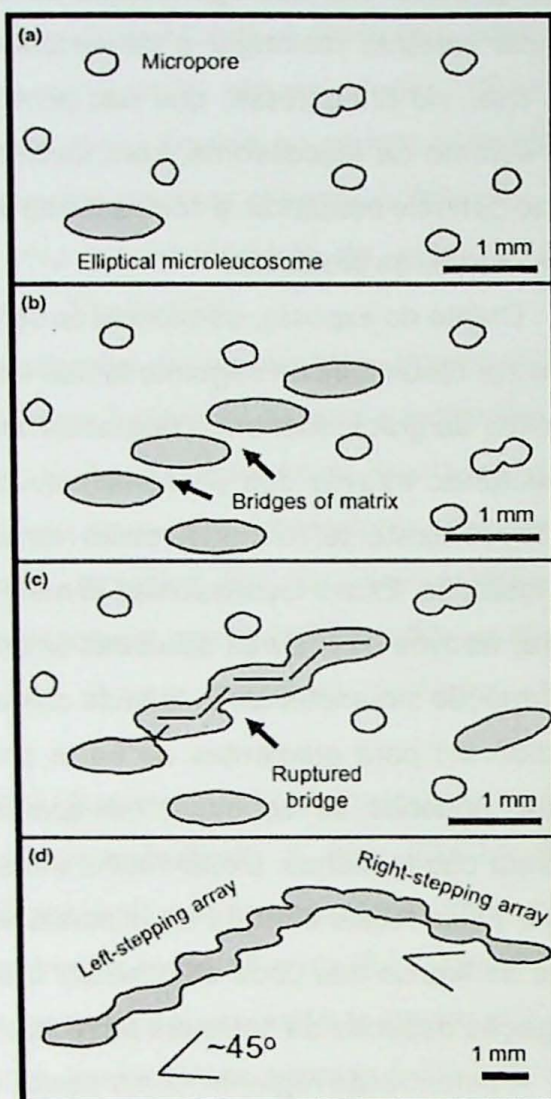


Figura 7. Resumo esquemático das fases de crescimento inicial do leucossoma: (a) formação de microporos dispersos (cinza), alguns dos quais se aglutinam e formam microleucossomas elípticos (cinza escuro); (b) formação de texturas escalonadas de microleucossomas elípticos, separados pela matriz da rocha; (c) formação de estruturas de microleucossomas em zigue-zague, por efeito da ruptura das estruturas da matriz que separavam os microleucossomas; (d) os microleucossomas maiores resultam da união dessas estruturas em zigue-zague (Sawyer 2014).

5.4. Geologia Regional

O Orógeno Brasília corresponde à porção oriental da Província Tocantins e apresenta gama muito variada de litotipos, em sua maioria rochas metamórficas de protolitos sedimentares e vulcânicos, além de granitos intrusivos e corpos máfico-ultramáficos também metamorfizados. A deformação progressiva ocorrida no Neoproterozóico é observada sob a forma de sistemas de *nappes*, com vergência para o Cráton do São Francisco (Campos Neto *et al.* 2011). É possível dividir o Orógeno Brasília em dois segmentos, setentrional e meridional, que diferem em termos estratigráficos, estruturais e tectônicos. O segmento meridional, ou Orógeno Brasília Meridional, é formado por empilhamento de *nappes* transportadas para leste e nordeste, resultante da convergência entre blocos continentais, caracterizado por três domínios litotectônicos distintos (Figura 8): a *Nappe* Socorro-Guaxupé, representada por unidades granulito-granito-migmatíticas oriundas de raiz de arco magmático; o Sistema de *Nappes* Andrelândia, representado por rochas metassedimentares em fácies anfibolito e granulito de alta pressão; e o Sistema de *Nappes* Carrancas, no qual dominam rochas metapsamíticas da fácies xisto verde e anfibolito (Campos Neto & Caby 1999, 2000; Campos Neto *et al.* 2004, 2007; Trouw *et al.* 2000).

O ambiente de sedimentação dessas rochas tem mais de uma interpretação. Para a denominada Megasequência Andrelândia a sedimentação se deu em ambientes de margens passivas instaladas a oeste e sudoeste da margem da Placa São Franciscana (Trouw *et al.*, 2000; Paciullo *et al.* 2003). Alternativamente, foi sugerido que a deposição ocorreu em mais de um ambiente, envolvendo margem passiva, representada pelas rochas do Sistema de *Nappes* Carrancas, e ativa, representada pelas rochas do Sistema de *Nappes* Andrelândia, com posterior justaposição destes durante a convergência das placas São Franciscana e Paranapanema, por ocasião do fechamento do paleo-oceano Goianides e formação do Órogeno Brasília Meridional (Campos Neto *et al.* 2007).

O sistema de *Nappes* Andrelândia é composto por três domínios alóctones principais: a *Nappe* Pouso Alto, superior, e *klippen* Aiuruoca, Carvalhos e Serra da Natureza, a *Nappe* Liberdade e a *Nappe* Andrelândia, inferior. O conjunto apresenta metamorfismo de alta pressão, em fácies anfibolito e granulito. A *Nappe* Pouso Alto e *klippen* associadas são compostas por metapelitos de fácies granulito de alta pressão, com registros de pico metamórfico a 900 °C e 15 kbar (Campos Neto *et al.* 2004a). Já a *Nappe* Liberdade constitui sequência metapelítica-metapsamítica, com gnaisses calcissilicáticos subordinados, submetidos à metamorfismo em fácies anfibolito de alta pressão, em torno de 680 °C e 17 kbar, condizentes com ambientes de zonas de

subducção (Campos Neto & Caby, 1999). A *Nappe* Andrelândia, onde está inserida a área de estudo, se caracteriza pelo predomínio de metapelitos na base, seguidos por *metawackes* e por uma seqüência metapelito-psamítica no topo, registrando pico metamórfico de 680 a 700 °C e 12 kbar (Santos, 2004). Resultados mais recentes de U-Pb em monazita, para as rochas do Sistema de *Nappes* Andrelândia e Liberdade, forneceram idades de pico metamórfico de ca. 610 Ma, na zona da cianita (Campos Neto *et al.* 2007).

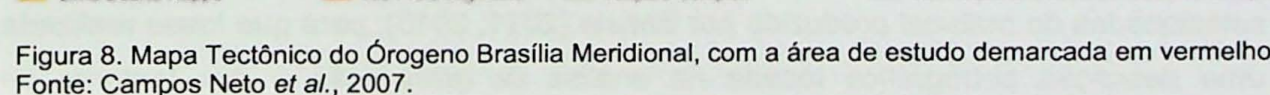
A *Nappe* Andrelândia pode ser segmentada em três unidades distintas: Xisto Rio Capivari, Xisto Santo Antônio e Xisto Serra da Boa Vista (Campos Neto *et al.* 2007):

Xisto Rio Capivari (unidade basal): pacote de metapelitos com espessura preservada de até 750 m, intercalados com, e raras ocorrências de rochas calcissilicáticas. O litotipo predominate é micaxisto porfiroblástico, com porfiroblastos de granada e plagioclásio, com predomínio de biotita sobre muscovita, e quartzo, por vezes em *ribbons*, sobre plagioclásio, podendo conter ainda cianita e/ou sillimanita, e ilmenita, rutilo, monazita, zircão e apatita como minerais acessórios. Localmente ocorre estauroлита na matriz e em relações texturais retrogressivas;

Xisto Santo Antônio (unidade intermediária): Pacotes com espessura aparente máxima de ca. 850m, correspondendo a *metawackes* intercalados a metapsamitos e metamafitos esparsos e pouco espessos. O litotipo dominante é um granada-biotita-plagioclásio-quartzo xisto homogêneo, fino a médio, granoblástico com granada e plagioclásio, com biotita orientada e plagioclásio poligonizado com quartzo. Nos leitos mais ricos em biotita ocorrem cianita e/ou sillimanita, e estauroлита. Apatita, rutilo, ilmenita e titanita são os principais minerais acessórios presentes. É frequente a ocorrência de lentes decimétricas de quartzo, subparalelas à foliação, além de lentes de dezenas de metros de anfibolitos, muscovita-quartzito e granada-mica-plagioclásio gnaisses subordinadas. Nos domínios de mais alta temperatura observam-se bandas centimétricas ricas em plagioclásio, reflexo da geração de leucossoma tonalítico, envelopados por melanossoma de biotita;

Xisto Serra da Boa Vista (unidade de topo): composto na base por muscovita quartzito e muscovita quartzo xisto com intercalações esparsas de cianita-granada-muscovita-quartzo xisto porfiroblástico, e no topo por (clorita)-cianita-granada-biotita-muscovita xisto porfiroblástico, com rutilo de até 10 cm, localmente com estauroлита, alternando-se, ritmicamente, com lentes métricas de quartzito. A espessura aparente da unidade ultrapassa 800m, pacote basal com em torno de 300 m e topo com até 750 m (Campos Neto *et al.* 2007).

The map displays the Ribeira Belt (Mantiqueira Orogenic System) in southern Brazil. Key features include the Southern São Francisco Craton to the north, the Pernambuco Parana Basin to the west, and the Campos Basin to the south. The Ribeira Belt is characterized by a series of thrust faults and folds. A red box highlights a specific area of interest. A scale bar indicates distances up to 50 km. The legend identifies the yellow areas as Ediacaran-Cambrian remnants of a post-orogenic basin.



6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. Revisão bibliográfica

Na primeira etapa, os trabalhos concentraram-se na revisão dos conteúdos bibliográficos a respeito da geologia regional da área de interesse e nos conceitos e classificações básicos relacionados a migmatitos. Já na segunda etapa, durante a preparação do relatório parcial, o foco da pesquisa bibliográfica foi a busca de trabalhos que elucidassem aspectos gerais da segregação e migração de materiais provenientes da fusão parcial e, em paralelo, foi dada continuidade ao estudo da geologia regional da área de estudo.

6.2. Trabalhos de campo

Foram realizadas duas etapas de campo, a primeira entre os dias 27 e 29 de julho de 2015, e a segunda, de 13 a 16 de abril de 2016.

A primeira etapa (tabela de pontos no Anexo I) consistiu numa abordagem mais geral da área de estudo, através da realização de pontos em cortes de estrada e lajedos, de forma que fosse possível reconhecer facilmente a forma de ocorrência das rochas da Unidade Xisto Santo Antônio, bem como suas relações de campo com outras rochas, em sua maioria pertencentes à Unidade Arantina.

Durante o segundo campo (tabela de pontos no Anexo I) as atividades foram centradas na coleta sistemática de medidas estruturais, sobretudo nas pedreiras IC-01, IC-03 e IC-07, sempre que possível registrando medidas pareadas da foliação principal e da lineação de crescimento mineral, orientação de veios de quartzo e leucossoma, pares SC, e quando observadas, medidas de eixos, plano axiais de dobras, e outras lineações porventura presentes. Foram coletadas ainda amostras orientadas para laminação (Mapa de Pontos no Anexo II).

6.3. Petrografia

Durante a primeira fase de trabalhos, foram analisadas treze seções delgadas, selecionadas do material produzido por Batista (2011, 2015), para que fosse realizada uma descrição petrográfica focada na análise da granulação e das texturas de recristalização das amostras, além de possíveis texturas de reação metamórfica que fornecessem indícios da trajetória *P-T* percorrida pelas rochas em questão até e durante a fusão parcial. Tendo em vista tais aspectos, buscou-se ainda identificar e diferenciar texturas típicas do fundido e do resíduo/paleossoma.

Para segunda etapa de petrografia foram confeccionadas nove seções delgadas orientadas, cuja descrição teve foco na análise de microestruturas que pudessem indicar a relação temporal e genética entre as fases de deformação e a evolução do metamorfismo gerador da fusão parcial.

6.4. Análise Estrutural

Durante os meses de junho e julho foram confeccionadas e analisadas uma série de diagramas de projeção estereográfica, que forneceram dados preliminares a respeito da geologia estrutural da área de estudo, direções médias de foliação e lineações, e semelhanças na orientação dos veios de quartzo e leucossoma com populações de medidas da foliação principal. Essa atividade teve continuidade no segundo semestre, com a confecção de diagramas de frequência de mergulho, tipo roseta, das estruturas de interesse (foliação principal, veios de quartzo e leucossoma).

Contagem Modal

Para obter dados composicionais mais precisos, realizou-se a contagem modal em veios de quartzo e leucossoma das seções delgadas IC01-JL29, IC03-JL, IC07-JL28-1, IC07-JL28-3, IC07-JLb, IC07-JLc1, IC07-JLc2. Foi utilizado charriot de 0,5 mm de passo, acoplado a um microscópio Zeiss Axioplan. Para fins de validade estatística foram contados entre 400 e 600 pontos em cada uma das lâminas, com monitoramento do desvio padrão a cada contagem de 100 pontos, de modo que este se mantivesse sempre igual ou inferior a 0,06.

As modas obtidas foram utilizadas para classificar os leucossomas de acordo com o diagrama "QAP" de Streckeisen (1973).

7. RESULTADOS

7.1. Geologia Local

De modo geral, à parte a ocorrência em pedreiras, as rochas da Unidade Xisto Santo Antônio afloram principalmente como lajedos acinzentados em pastos ou nas margens de rios, ocorrendo também como blocos rolados, e em cortes de estrada. O litotipo dominante pode ser descrito como granada-biotita-plagioclásio xisto a metatexito, de granulação bastante fina a grossa, que pode ou não conter muscovita, cianita e/ou sillimanita. A proporção de leucossoma é variável, ficando em média entre 5-10%, passando por casos em que não é possível observar registros de fundido ou este se encontra extremamente esparso e de difícil identificação, até afloramentos pontuais onde se estima até 15% de leucossoma na composição da rocha.

As demais ocorrências de rochas na área de estudo ficam a cargo dos xistos da Unidade Arantina, sendo caracterizados pela grande quantidade de quartzo e muscovita, ora predominando um ou outro, pouquíssima quantidade, ou ausência, de biotita, e ocorrência de porfiroblastos de granada em alguns afloramentos. São comuns também lentes e veios de quartzo e/ou quartzitos, além de dobras decimétricas fechadas com espessamento de charneira, e pares SC com indicação de topo para NE. Em um dos pontos do primeiro campo foi observado num corte de estrada a presença de um anfibolito bastante alterado, em contato com o Xisto Arantina. As exposições da unidade ocorrem em cortes de estrada e valetas, sempre bastantes alterados. Em campo não foram observadas as relações de contato entre as duas unidades.

Durante o desenvolvimento do projeto optou-se por concentrar a coleta de dados e amostras nas pedreiras denominadas de IC-01, IC-03 e IC-07, em que foi mantida a nomenclatura utilizada por Batista (2011, 2015), pois para este trabalho utilizaram-se como base de referência de campo os mapas produzidos pela referida autora. Tal escolha se deu pelo fato de que as pedreiras apresentam exposições menos alteradas e, sobretudo, contínuas, o que torna a aquisição de medidas mais consistente e permite uma melhor visualização em 3D dos afloramentos, essencial para a análise das estruturas em campo. A seguir uma descrição em detalhe das pedreiras em destaque.

7.1.1. IC-01

(0472822 / 7579177 – 854 m)

Pedreira desativada na estrada entre Cambuquira e Caxambu, em Cambuquira, MG.

Aflora rocha cinza, de textura lepidogranoblástica, com foliação anastomosada, sendo composta por quartzo, biotita, plagioclásio, eventualmente como porfiroblastos recristalizados, muscovita, que pode estar concentrada no plano da foliação, cianita com até 4 mm no plano da foliação, e porfiroblastos de granada com entre 5 e 8 mm. O litotipo é cianita-granada-muscovita-quartzo-plagioclásio-biotita xisto (Figura 9).

Observam-se veios e bolsões, com 5-7 cm e 5-50 cm de espessura, respectivamente, composto por quartzo, plagioclásio e muscovita. A maior parte das feições ocorre concordante à foliação principal, sendo rara a ocorrência de veios discordantes. Ocorrem ainda indicadores cinemáticos, na maioria cristais de plagioclásio, com indicação de movimentação de topo para nordeste (Figura 10).

7.1.2. IC-03

(0473569 / 7594306 – 887 m)

Pedreira INCOPE, estrada para Cambuquira, saída leste de Três Corações, MG

Exposições de rocha cinza clara, com granulação grossa a muito grossa, textura lepidogranoblástica dominante, ocorrem leitos, de forma localizada, formados por biotita e muscovita, com poucos milímetros até 2 cm de espessura, e foliação protomilonítica anastomosada. A composição é semelhante à da IC-01, porém é notável o aumento não só da granulometria, como da proporção de feldspato e quartzo, e cianita e granada, com bordas de alteração de biotita, mais desenvolvidos, em relação a primeira pedreira (Figura 11).

A ocorrência de veios e lentes pode ser caracterizada da seguinte forma: aqueles formados por quartzo, que apresentam contatos retílineos com a matriz (Figura 12); e os formados por quartzo e feldspato, com contatos transicionais, frequentemente apresentando bordas de biotita de 1-10 cm de espessura e 1-50 cm de comprimento (Figura 13). Ambos os grupos de estruturas apresentam-se paralelos à foliação, podendo ser contínuos ou não. Segundo Batista (2015), *“em alguns casos a presença de cristais de plagioclásio de 1 a 2 cm nas bordas dos veios de quartzo indicam o aproveitamento destes para a nucleação dos veios/bolsões quartzo-feldspáticos”* (Figura 14).

Ocorre ainda foliação tipo SC, constituída por cristais de quartzo e plagioclásio, ou pequenos veios disruptos, e a estrutura geral das rochas da pedreira pode ser nomeada como *“patch”*, segundo a classificação de Sawyer (2008).



Figura 9. Aspecto geral das rochas da Unidade Santo Antonio na pedreira IC-01.



Figura 10. IC-01: Indicador cinemático com movimentação de topo para leste.



Figura 11. Aspecto geral das rochas da Unidade Xisto Santo Antonio na pedreira IC03.



Figura 12. IC-03: veios de quartzo, em contato retilíneo com a matriz.



Figura 13. IC-03: veios formados por quartzo e feldspato, em contato transicional com a matriz.

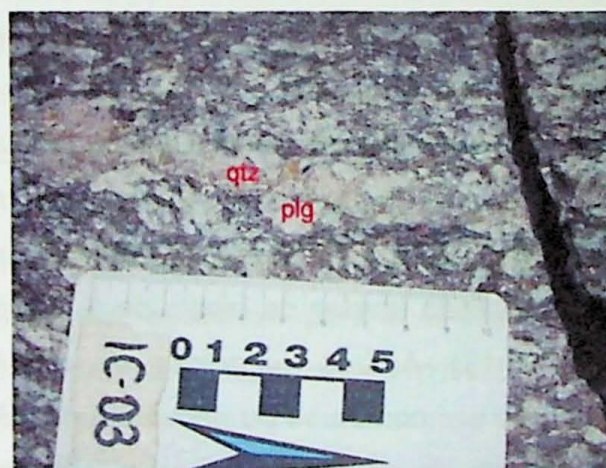


Figura 14. IC-03: presença de cristais de plagioclásio nas bordas dos veios de quartzo.

7.1.3. IC-07

(475317 / 7594065 – 1029 m)

Pedreira desativada Souza Dias, a cerca de dois quilômetros a leste da pedreira IC-03, em Três Corações, MG.

O aspecto geral das rochas da pedreira é de um litotipo cinza escuro, com granulação fina a média, foliação principal milonítica anastomosada, definida por biotita e por lentes de quartzo. A composição inclui cianita, granada, biotita, plagioclásio, quartzo, muscovita, ilmenita, apatita, rutilo e turmalina.

Feição marcante da exposição é a intercalação de bancos de aspecto xistoso com bandas de metatexito de granulação grossa, estas últimas apresentando maior proporção em quartzo e plagioclásio, e localmente muscovita porfiroblástica no plano da foliação (Figura 15).

Batista (2011, 2015) interpreta a ocorrência de pequenas lentes e acumulações quartzo-feldspáticas, com até 60% de plagioclásio, como leucossoma *in situ* (Figura 16); e os bolsões e veios maiores, até 10 cm de comprimento e 20 cm de espessura, de composições semelhantes, como leucossoma *in source* (Figura 17), estando os últimos frequentemente dobrados ou com acumulações de biotita nos contatos com a matriz. Observam-se ainda sigmóides de quartzo, com indicação de movimentação de topo para NE.



Figura 15. Aspecto geral das rochas da Unidade Santo Antonio na pedreira IC-07.

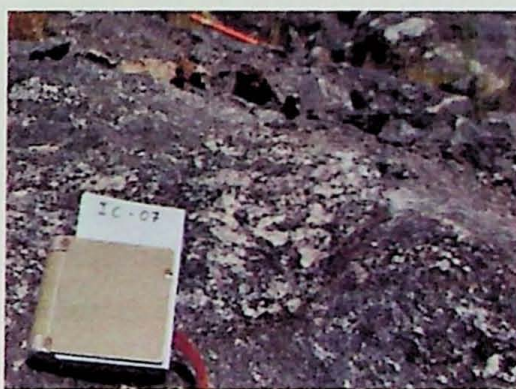


Figura 16. IC-07: leucossoma *in situ*.



Figura 17. IC-07: leucossoma *in source*.

7.2. Análise petrográfica

Na primeira etapa de trabalhos foram analisadas treze seções delgadas, selecionadas entre o material produzido por Batista (2011, 2015):

- IC-01A2, IC-01C2, IC-01D2, IC-01F3;
- IC-03B5, IC-03E3, IC-03E3_B, IC-03I2, IC-03L2;
- IC-07B, IC-07E, IC-07F1, IC-07F1'.

Para a segunda etapa do projeto foram coletadas amostras orientadas e nove lâminas foram feitas, sendo elas: IC01-JL29, IC03-JL; IC07-JLa, IC07-JLb, IC07-JLc1, IC07-JLc2; IC07-JL28-1, IC07-JL28-2 e IC07-JL28-3.

O critério para escolha das seções foi buscar representar as heterogeneidades de cada pedreira, priorizando, contudo, amostras que contivessem leucossoma. O foco de ambas as etapas de petrografia foi analisar a granulação e as texturas de recristalização das amostras, buscando identificar e diferenciar texturas típicas do fundido e do resíduo. Procedeu-se ainda a contagem modal em leucossoma das seções IC01-JL29, IC03-JL, IC07-JL28-1, IC07-JL28-3, IC07-JLb, IC07-JLc1, IC07-JLc2.

7.2.1. IC-01

Nas seções delgadas correspondentes à pedreira IC-01, observamos de início um contraste entre a granulação dos domínios félsicos e do resíduo (Figura 18). A granulação dos veios félsicos é maior do que a do resíduo, e apresenta padrão bimodal, variando de 0,2 mm para o quartzo, até 7,0 mm para os cristais de plagioclásio, raros nessas amostras. Já a granulação no resíduo apresenta-se mais homogênea, variando em torno de 1,0 mm. A espessura dos domínios félsicos varia, em média, de 1,0 a 8,0 mm, chegando a 1,6 cm.

Os domínios félsicos em questão foram assim denominados pois nem sempre correspondem a veios de leucossoma, sendo na maioria constituídos apenas por quartzo recristalizado. Alguns desses veios, contudo, apresentam em suas bordas cristais euédricos e bem desenvolvidos de plagioclásio, de aspecto ígneo, indicando que as rochas dessa exposição ao menos atingiram o campo da fusão parcial.

Além de plagioclásio e quartzo, biotita, granada e muscovita são minerais que também ocorrem em grande quantidade nas lâminas. A textura geral das amostras é lepidogranoblástica, localmente protomilonítica.

Biotita concentra-se em leitos, que definem foliação anastomosada, característica dos xistos, contornando os domínios quartzo-feldspáticos (Figura 19). Já a granada ocorre poiquiloblástica, com inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita, essa mais rara (Figura 20). Muscovita ocorre em menor quantidade do que a biotita, sendo frequentemente encontrada nas bordas de algumas das bandas félsicas. IC-01C2

possui grande concentração de muscovita, com cristais de até 3,0 mm, junto com a banda quartzo-feldspática de maior espessura da lâmina; em algumas lâminas observa-se ainda uma textura de reação onde ocorrem cristais com núcleos de muscovita e bordas de biotita.

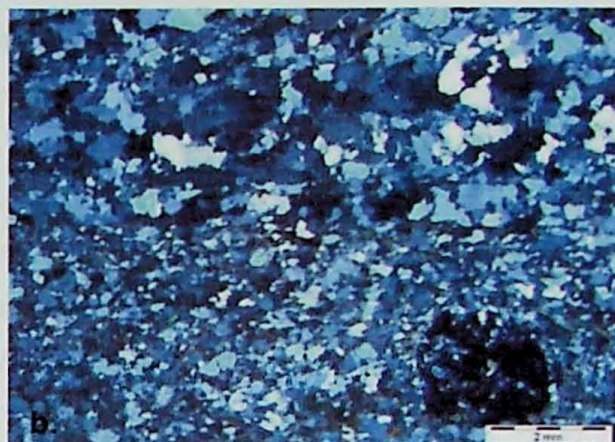
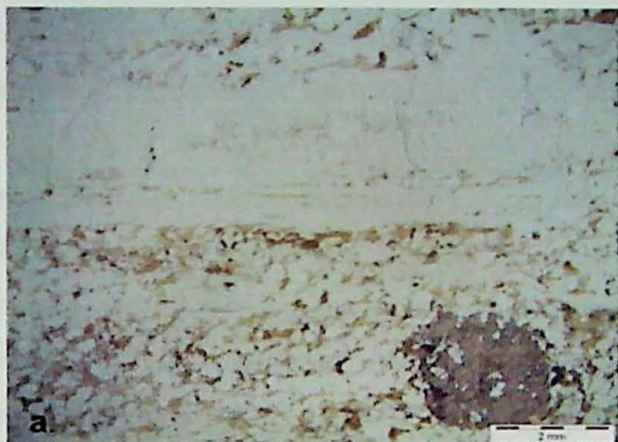


Figura 18. IC-01A2: a. polarizadores paralelos, b. polarizadores cruzados. Observa-se o contraste de granulação entre os domínios félsicos e os domínios xistosos.



Figura 19. IC-01F3, polarizadores cruzados. Leitões de biotita contornando aglomerados quartzo-feldspáticos, definindo foliação anastomosada.

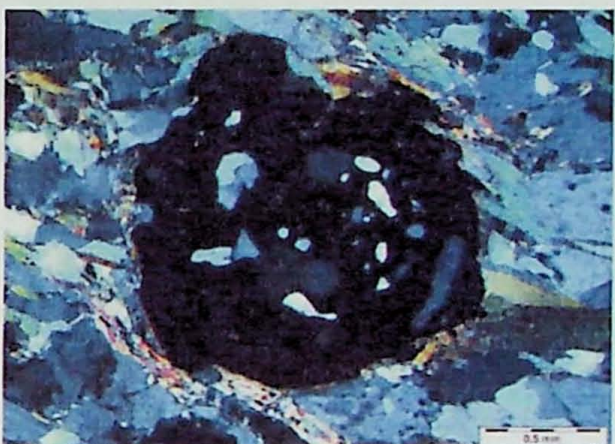


Figura 20. IC-03E3, polarizadores cruzados. Granada poiquiloblástica, com inclusões de quartzo e plagioclásio.

Os principais minerais acessórios observados são apatita, comumente associada às terminações de grãos em faixas de biotita, minerais opacos, zircão, e cianita, e turmalina na IC-01F3, estas últimas concordantes com a foliação (Figuras 21 e 22). Sillimanita ocorre muito fina, na forma de fibrolita, como pequenos aglomerados de fibrolita de 0,05 a 0,2 mm, nos contatos entre plagioclásio e quartzo (Figura 23).

7.2.2. IC-03

Nas amostras da IC-03 observa-se que a granulação do leucossoma é maior do que a do resíduo (Figura 24). Permanece o padrão bimodal no leucossoma, com as porções de quartzo intersticial apresentando 0,5 mm e os cristais de plagioclásio e também alguns de quartzo, chegando a 6,0 mm. A granulação do resíduo, composto por quartzo, plagioclásio, biotita, muscovita, cianita e minerais acessórios, varia em

torno de 1,0 mm ou menos, porém é comum a presença de plagioclásio com tamanho entre 2,0 e 5,0 mm, contornados ou não por biotita. A espessura das bandas de leucossoma varia de 1,0 mm a 1,5 cm.

Nas seções onde a espessura das bandas félsicas é menor, com leucossoma incipiente, quartzo é o mineral em maior quantidade, o contrário ocorre nas seções que contém leucossoma segregado, caracterizadas como bandas mais espessas e ricas em plagioclásio.

Com relação à presença de biotita, além das características descritas para as seções da IC-01, que também valem para as lâminas desta pedreira, em IC-03E3 e IC-03E3_B observam-se domínios de biotita com cristais muito grandes, entre 3,0 e 4,0 mm, sugerindo gênese diferente da biotita da foliação do resíduo. A granada volta a ocorrer poiquiloblástica, desta vez apresentando, além das inclusões de quartzo, plagioclásio e biotita, alguns poucos cristais de muscovita, sendo eventualmente manteeda por biotita. A textura alterna bandas granoblásticas, em que o quartzo e plagioclásio dominam, e bandas mais finas, lepidoblásticas, dominadas por biotita.

A quantidade de muscovita das lâminas é menor do que a observada nas amostras da IC-01, porém, aumenta a ocorrência da textura de cristais e ou "fitas" com núcleos de muscovita e bordas de biotita, frequentes no contato entre os domínios félsicos e o resíduo (Figura 25).

Os minerais acessórios presentes são apatita, minerais opacos, rutilo (IC-03B5, incluso na granada), epidoto e zircão, este último é comum como inclusões em biotita. O modo de ocorrência da sillimanita é semelhante ao descrito para as seções da IC-01.

Nas seções delgadas de IC-03, o leucossoma apresenta-se não como vênulas retílineas ou sigmoidais, comuns nas lâminas da IC-01, mas como pequenos bolsões, de limites arredondados e sinuosos, que parecem aumentar progressivamente de espessura (Figura 26).

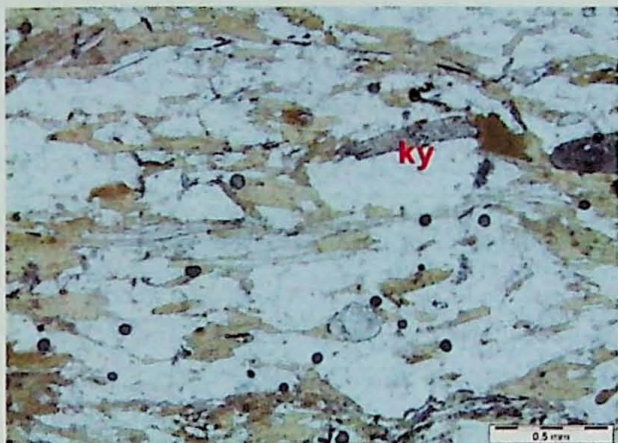


Figura 21. IC-JL-29, polarizadores paralelos. Cianita bem desenvolvida, concordante com a foliação.

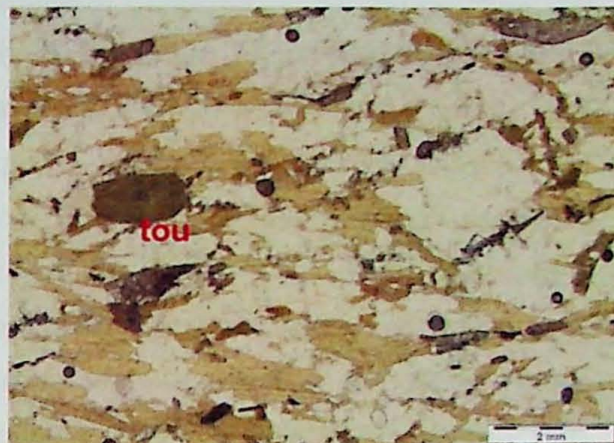


Figura 22. IC-JL-29, polarizadores paralelos. Turmalina, concordante com a foliação.



Figura 23. IC-JL-29, polarizadores paralelos. Pequenos aglomerados de fibrolita, discordantes da foliação, provavelmente tardia.

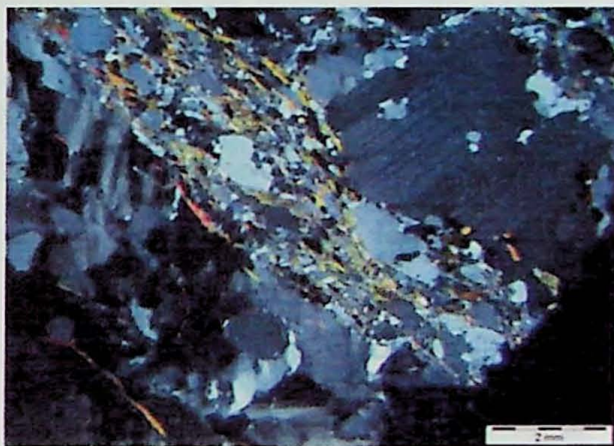


Figura 24. IC-03E3, polarizadores cruzados. Contraste de granulação entre leucossoma e resíduo; percebe-se que a foliação ocorre mais anastomosada, em relação a IC-01.

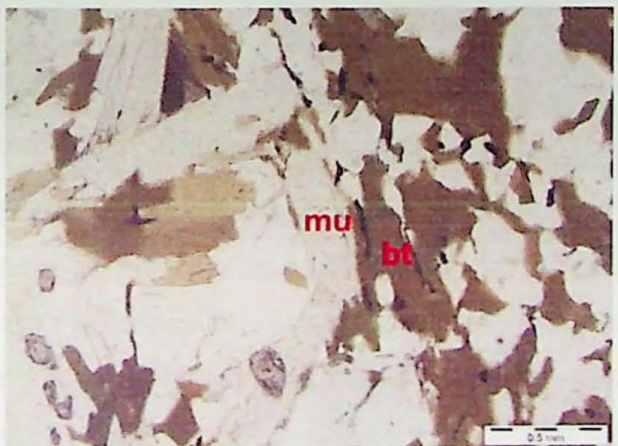


Figura 25. IC-07F1, polarizadores paralelos. Textura de reação entre biotita (bordas) e muscovita (núcleo).

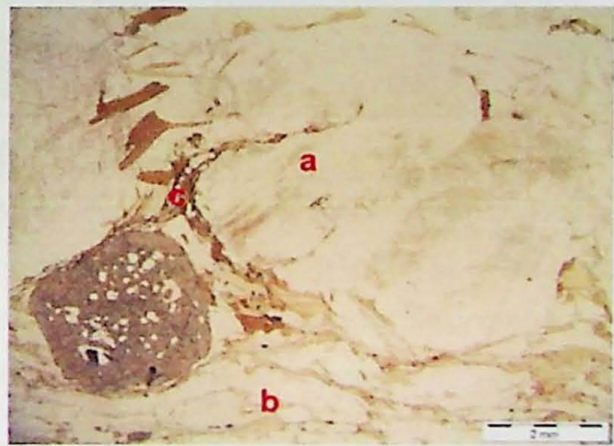


Figura 26. IC-03B3, polarizadores paralelos. Contatos arredondados e sinuosos entre a. Leucossoma, b. resíduo e c. melanossoma.

7.2.3. IC-07

A granulação das lâminas analisadas da pedreira IC-07 é semelhante a da IC-03, com leucossoma contendo plagioclásio de 1,0 a 8,0 mm, e quartzo intersticial, variando de 0,5 a 5 mm, mantendo-se o padrão bimodal; granulação da matriz menor que 1,0 mm, com alguns cristais de quartzo, de 6,0 mm. A espessura dos domínios de leucossoma varia de 1,0 a 2,0 cm, e as proporções totais de quartzo e plagioclásio são bastante semelhantes, embora maiores do que nas amostras das outras pedreiras (Figuras 27 e 28).

Os aspectos texturais observados para biotita, granada e muscovita são semelhantes aos que foram descritos nas amostras da IC-03, ressaltando-se apenas que, desta vez, a muscovita ocorre em proporções menores do que em IC-01 e IC-03, embora a textura de muscovita com bordas de biotita seja mais recorrente. A textura geral das amostras também alterna bandas granoblásticas quartzo-feldspáticas e bandas lepidoblásticas mais finas, dominadas por biotita.

Os minerais acessórios presentes são apatita, epidoto, zircão, principalmente incluso na biotita, minerais opacos, cianita e turmalina nos domínios de biotita que encontram-se nos contatos entre leucossoma e matriz.

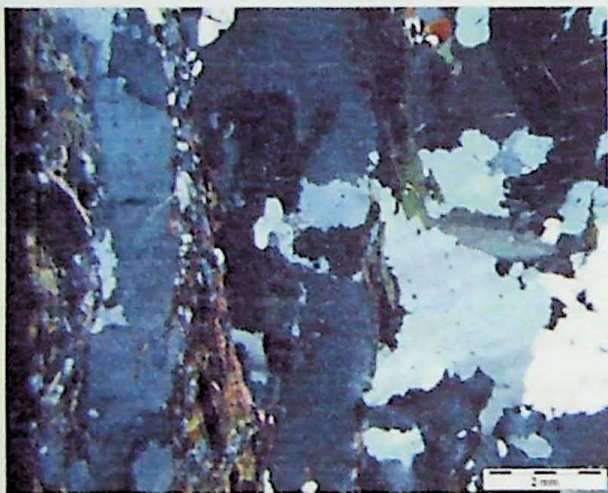


Figura 27. IC-07JL28,1, polarizadores cruzados. O contraste de granulação entre leucossoma e resíduo permanece, com a foliação do resíduo bastante anastomosada.

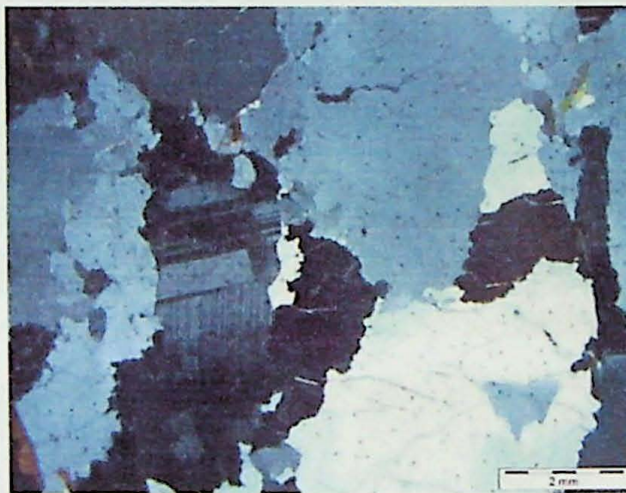


Figura 28. Dentro do leucossoma, a granulação apresenta-se mais homogênea, e os cristais de plagioclásio possuem hábito ígneo bastante evidente.

7.2.4. Análise Modal

A Figura 29 ilustra os resultados da contagem modal. As composições das amostras IC01-JL29, IC07-JLc1e IC07-JL28-1 plotaram no campo do “granito rico em quartzo” (GRQ), enquanto que as amostras IC03-JL, IC07-JLb, , IC07-JLc2 e IC07-JL28-3 resultaram em composições no campo do “tonalito”.

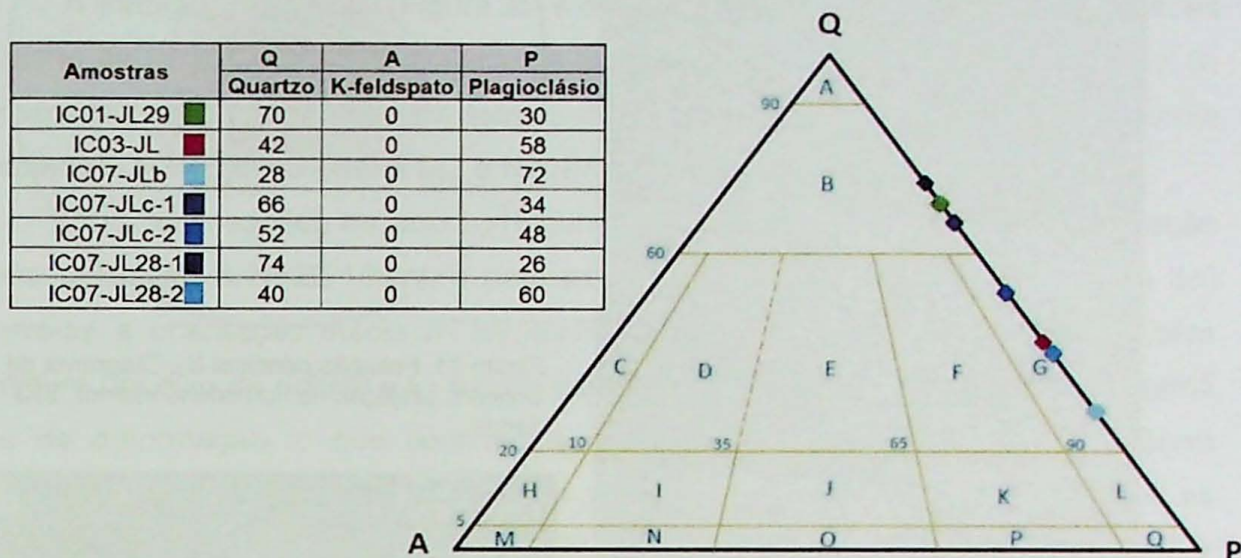


Figura 29. Classificação dos leucossomas, de acordo com o diagrama “QAP” de Streckeisen (1973).

7.3. Análise Estrutural

Os dados estruturais coletados nas etapas de campo foram compilados juntamente com os dados obtidos por Batista (2011, 2015). Esses dados foram plotados em projeções estereográficas e tratados por meio do *software* Stereonet. Em campo se observa que a estrutura principal das rochas na área de estudo é uma foliação protomilonítica anastomosada, definida por biotita, muscovita, plagioclásio e quartzo (Figura 30). O caráter anastomosado da foliação gera orientação bastante variável, e ângulos de mergulho oscilando entre 0 e 35°, com plano médio calculado N04W/03NE (Figura31).

O crescimento de minerais metamórficos, como muscovita, biotita e cianita, no plano da foliação, associado à presença de dobras decimétricas intrafoliais, sugerem que a estrutura pertence à segunda fase de deformação regional (D₂) (Figura 32). Desta forma, assumiu-se que a estrutura em questão é S₂. A superfície de deformação posterior, S₃ (Figura 33), não é pervasiva, observada raramente em campo.

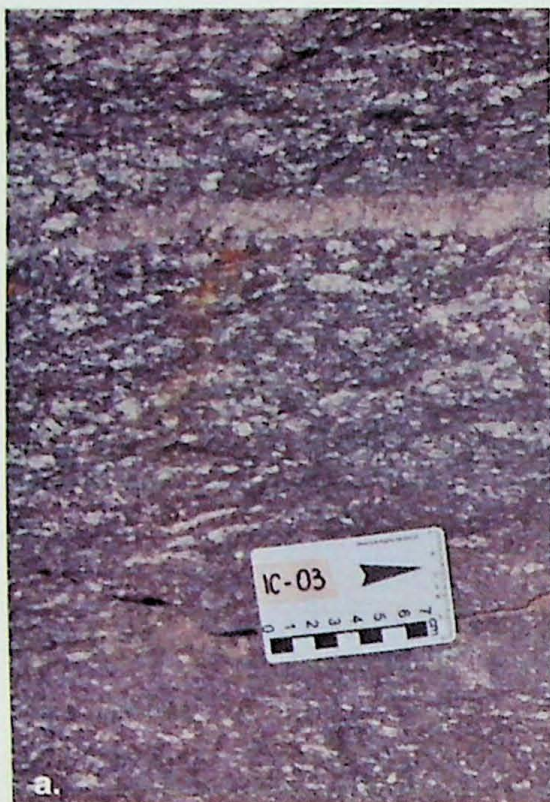


Figura 30: a. Afloramento na pedreira IC-03, b. IC-03B3, polarizadores cruzados. Foliação protomilonítica anastomosada, definida por leitos de biotita e muscovita, contornando agregados de plagioclásio e quartzo.

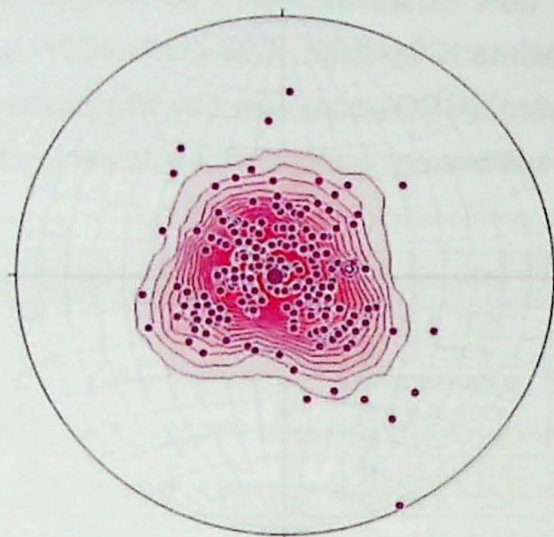


Figura 31. Foliação principal S₂. Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior, 273 dados.

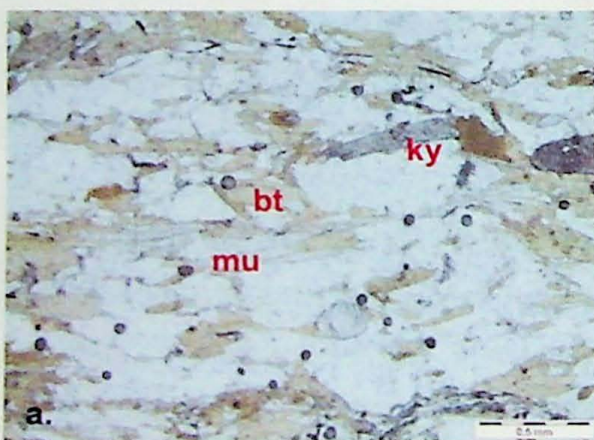
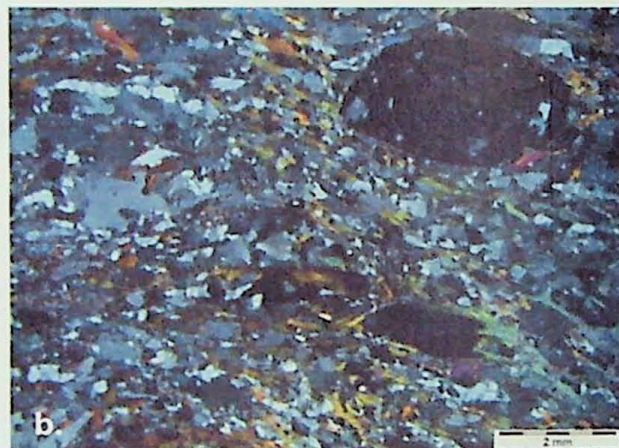


Figura 32: a. crescimento de muscovita, biotita e cianita no plano da foliação, b. presença de dobras decimétricas intrafoliais. São indicativos de que a foliação principal trata-se de, no mínimo, uma S_{n+1}.

Ajustando-se um círculo maior às medidas de S_2 obtém-se um eixo construído N38E/02NE; essa orientação diverge da lineação de eixo de dobra atribuída à terceira fase de deformação regional (N86W/18NW), medida em campo, o que atesta que o anastomosamento observado em S_2 é francamente resultante da fase de deformação D_2 , e não efeito de redobramento durante à fase de deformação D_3 (Figura 34).

A lineação mineral l_{min} (Figura 35) e de estiramento l_{est} (Figura 36) estão contidas no plano da foliação, sendo classificadas como L_2 . O fato de estarem contidas em S_2 também faz com que variem em termos de orientação e caimento; a atitude média calculada é N34E/32NE para a l_{min} , e N21E/32SW para a l_{est} .

Para as lineações de eixo l_{b2} (Figura 37) medidas em dobras D_2 , a orientação média calculada é N52E/18SW, e para as lineações de crenulação l_{cren} (Figura 38) obteve-se a orientação média N71W/26NW. A semelhança entre l_{cren} (que também configura um eixo de dobra) e l_{b3} sugere que ambas as lineações pertencem à mesma fase de deformação, o que confirma a observação de campo de que S_2 ocorre localmente crenulada, ou seja, deformada por uma fase posterior D_3 . Uma vez que as lineações de estiramento indicam a direção de cisalhamento, é possível inferir movimentação na direção NE-SW. Já o sentido do cisalhamento pode ser deduzido pela orientação dos indicadores cinemáticos observados em campo e em seção delgada (Figura 39) – a maioria cristais de plagioclásio, veios disruptos envelopados por biotita, e estruturas do tipo SC - que, nesse caso, indicam movimentação de topo predominante para NE.

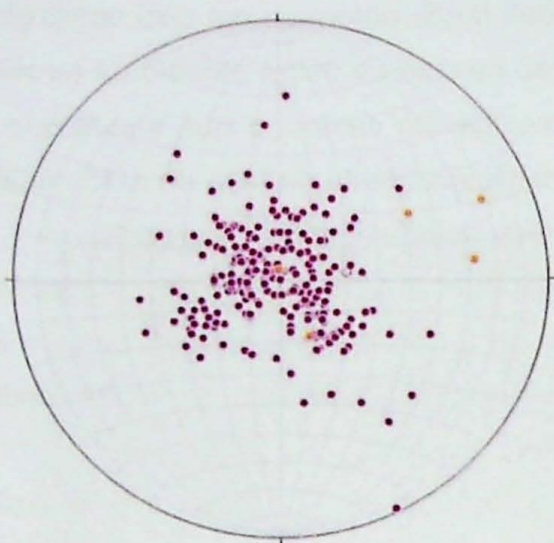


Figura 33. Foliação principal S_2 (roxo), e foliação S_3 (laranja). Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior.

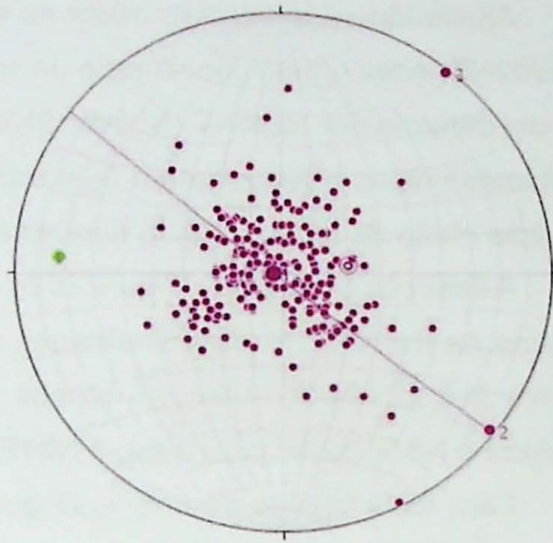


Figura 34. Foliação principal S_2 (roxo), com círculo maior ajustado e eixo construído. Lineação de eixo E_{D3} (verde). Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior.

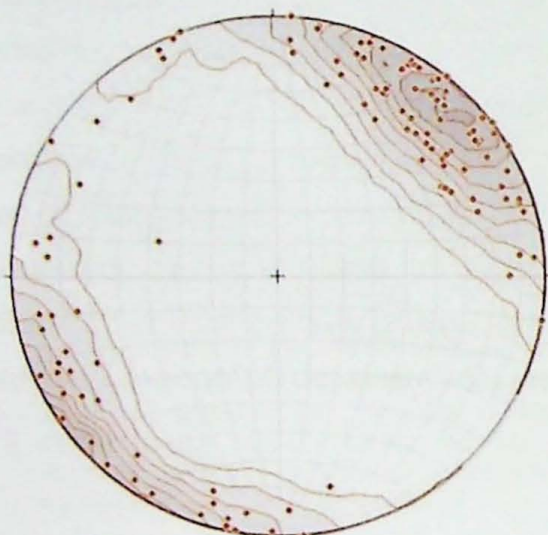


Figura 35. Lineação de crescimento mineral I_{min} . Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior, 120 dados.

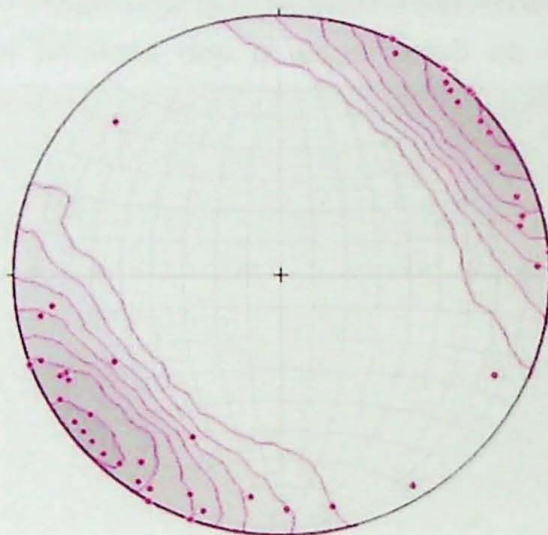


Figura 36. Lineação de estiramento I_{est} . Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior, 48 dados.

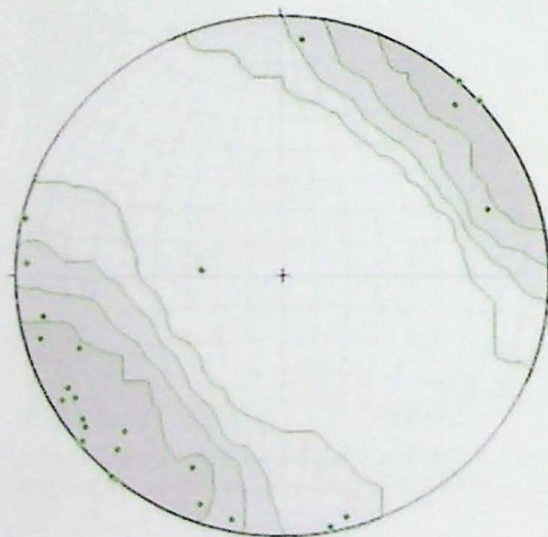


Figura 37. Lineação de eixo I_{b2} . Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior, 26 dados.

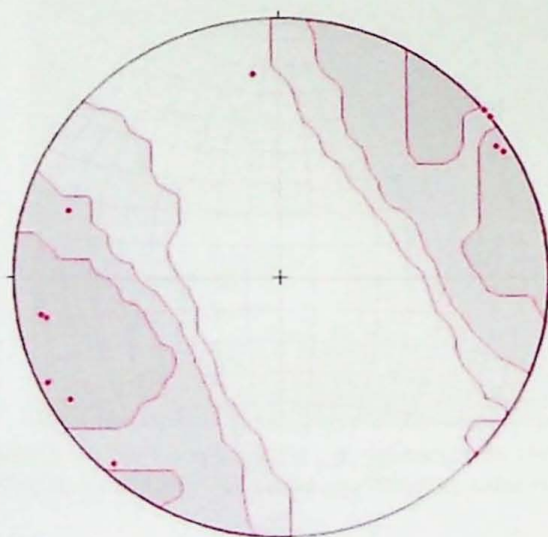


Figura 38. Lineação de crenulação I_{cren} . Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior, 12 dados.

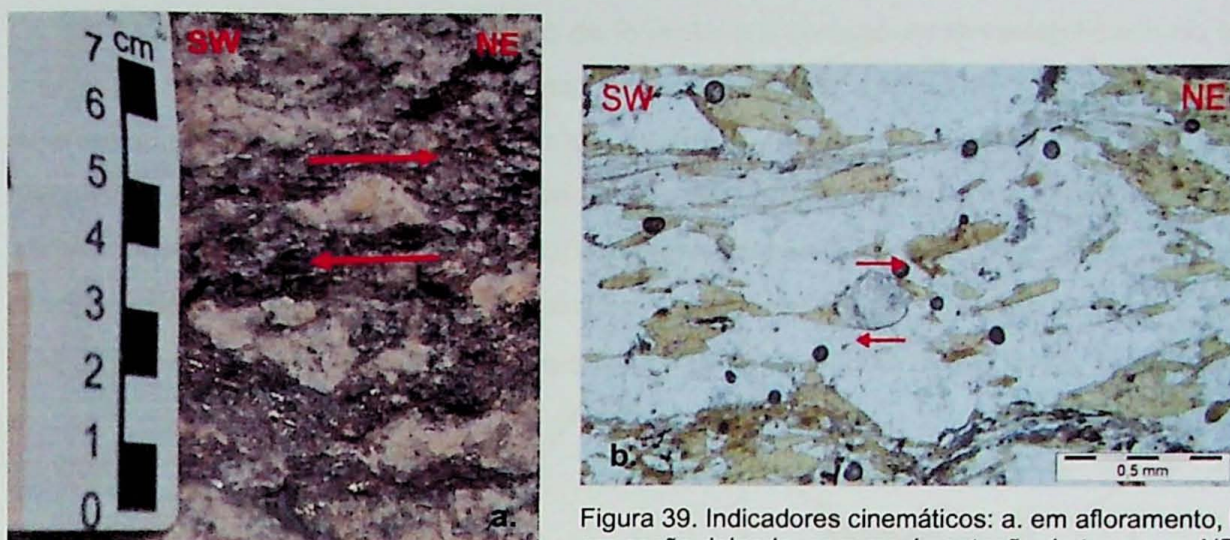


Figura 39. Indicadores cinemáticos: a. em afloramento, b. em seção delgada; com movimentação de topo para NE.

Foram analisados separadamente os dados coletados nas pedreiras dos pontos IC-01, IC-03 e IC-07 (Figuras 40, 41 e 42), dada sua maior representatividade em termos de exposições de rocha e volume de amostragem. Em IC-01 os planos de S_2 concentram-se em direções NE-SW, com mergulhos para NW, com plano médio calculado N49E/21NW. Em IC-03, as medidas também possuem orientação NE-SW, porém com mergulhos para SE, plano médio N27E/10SE, e em IC-07 observam-se duas populações de medidas, uma dominante, com direção NW-SE e mergulho para NE, e uma subordinada, de direção NE-SW e mergulho para SE, a última coincidente com as medidas coletadas em IC-03, o plano médio calculado para os pólos em IC-07 foi N15W/16NE. Além dessa mudança na direção da S_2 , a lineação mineral parece estar orientada cada vez mais a leste, e com ângulos de caimento maiores, de IC-01 para IC-07.

Além das medidas de foliação principal e lineações, foram coletadas medidas de orientação de veios de quartzo (Figura 43) e leucossoma (Figura 44), que ora coincidem com os planos da foliação, ora se apresentam oblíquos a estes, caracterizando pares SC. Os planos médios calculados para os veios de quartzo e leucossoma foram, respectivamente, N24W/03SW e N18W/13NE. Embora, neste caso, os mergulhos médios calculados variem em relação aos calculados para a foliação, estes ainda se encontram no intervalo dentro do qual variam os mergulhos da S_2 , entre 0 e 35°.

Analizando separadamente a projeção estereográfica das medidas dessas estruturas coletadas na pedreira IC-07 (Figura 45), onde a densidade de dados é maior, identifica-se tendência na disposição do leucossoma segundo mergulhos um pouco maiores do que os da média da foliação, enquanto que a orientação dos veios de quartzo apresenta mergulhos mais baixos em relação à média de S_2 .

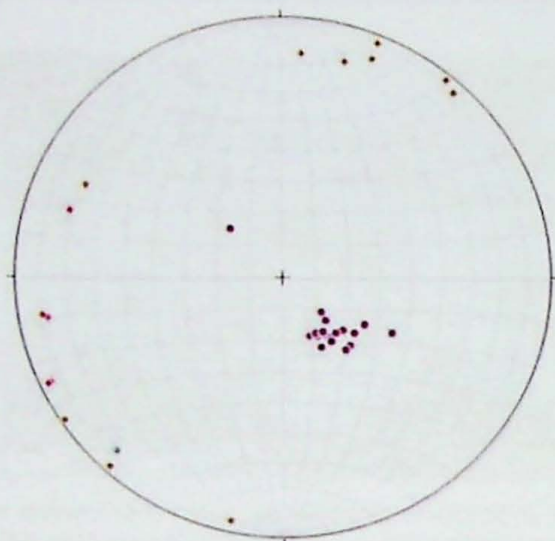


Figura 40. IC-01: S₂ (roxo), I_{min} (marrom), I_{ren} (rosa), lb₂ (verde). Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior.

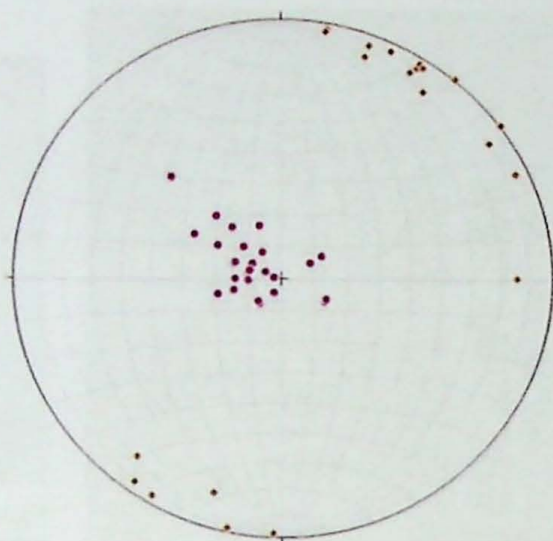


Figura 41. IC-03: S₂ (roxo), I_{min} (marrom). Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior.

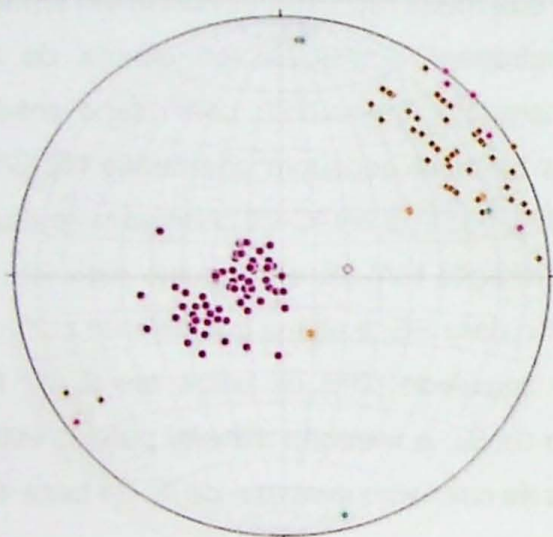


Figura 42. IC-07: S₂ (roxo), S₃ (laranja), I_{min} (marrom), I_{est} (lilás), lb₂ (verde). Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior.

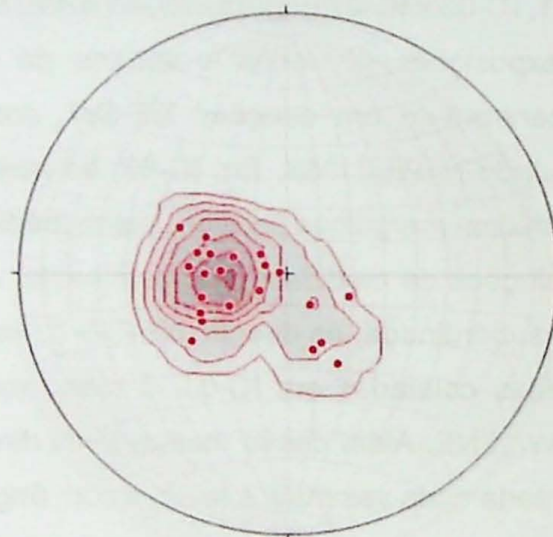


Figura 43. Medidas de orientação de veios de leucossoma. Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior, 22 dados.

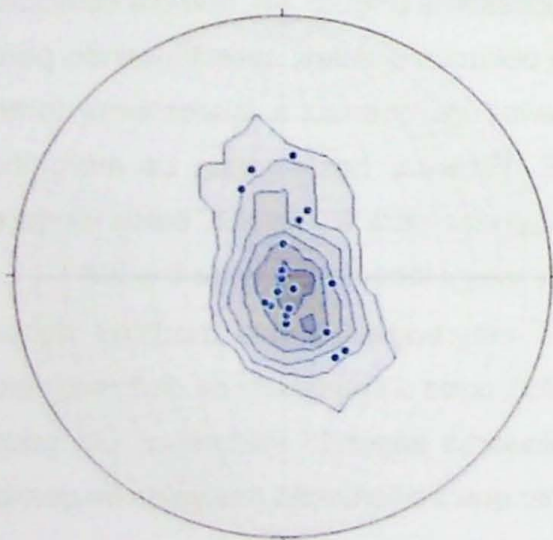


Figura 44. Medidas de orientação de veios de quartzo. Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior, 19 dados.

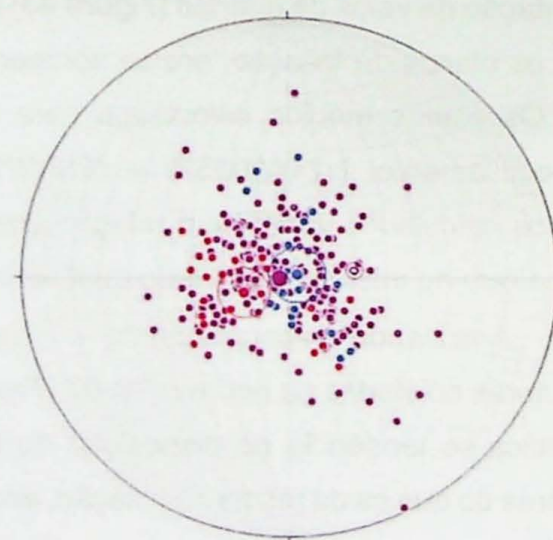


Figura 45. IC-07: S₂ (roxo), veios de quartzo (azul) e de leucossoma (vermelho). Diagrama de Schmidt, projeção no hemisfério inferior.

Dado o caráter anastomosado da foliação e a consequente variabilidade do seu mergulho foram confeccionados diagramas de frequência, tipo roseta (Figuras 46 a 48), apenas com o mergulho dos veios de quartzo, do leucossoma e da S_2 . Nesses diagramas é possível reconhecer que em S_2 predominam mergulhos entre 10° e 20° , assim como para os veios de quartzo, enquanto que no leucossoma a maior parte das medidas apresenta 20° e 30° ; ao analisar em separado diagramas do mesmo tipo para IC-03 (Figuras 49 e 50) e IC-07 (Figuras 51 a 53), vê-se que essa tendência permanece.

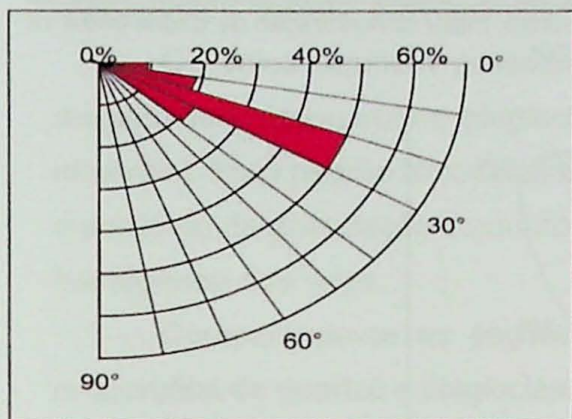


Figura 46. Diagramas de Mergulho: veios de leucossoma; maior concentração de dados entre 20° e 30° .

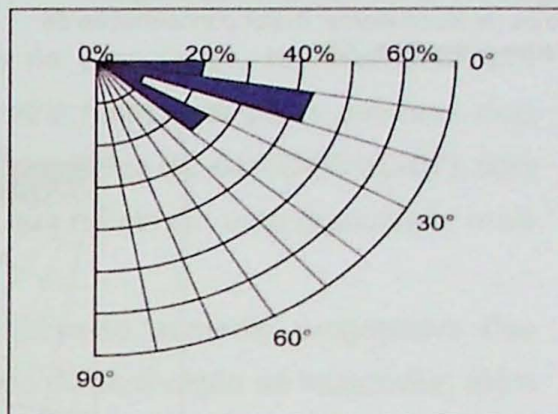


Figura 47. Diagramas de Mergulho: veios de quartzo; maior concentração de dados entre 10° e 20° .

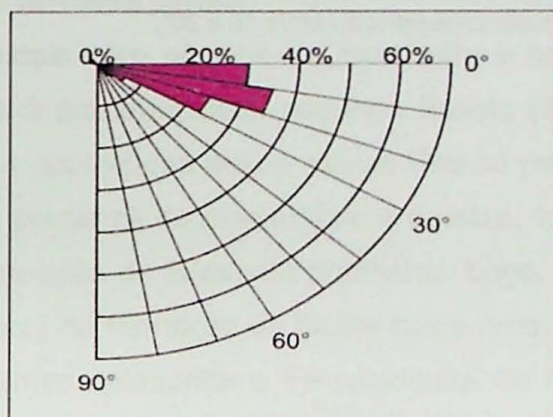


Figura 48. Diagramas de Mergulho: S_2 ; maior concentração entre 10° e 20° .

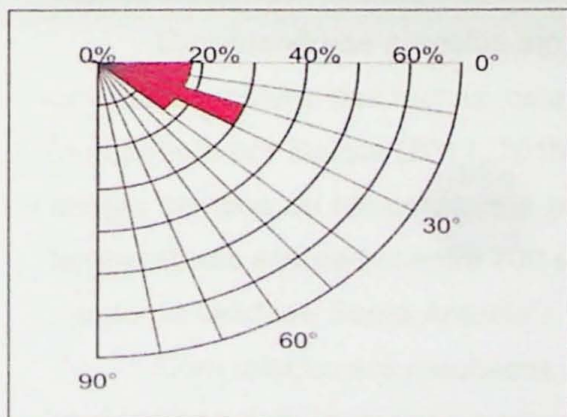


Figura 49. IC-03. Diagramas de Mergulho: veios de leucossoma; maior concentração de dados entre 20° e 30° .

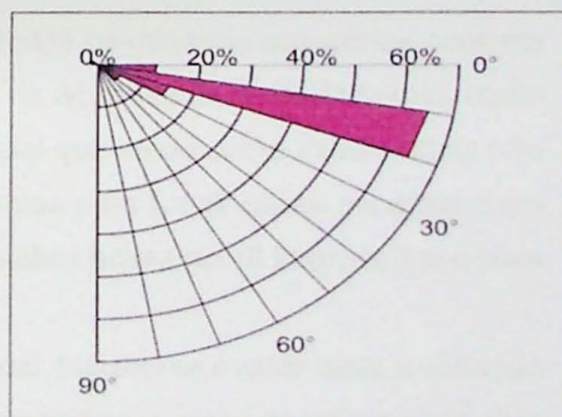


Figura 50. IC-03. Diagramas de Mergulho: S_2 ; maior concentração entre 10° e 20° .

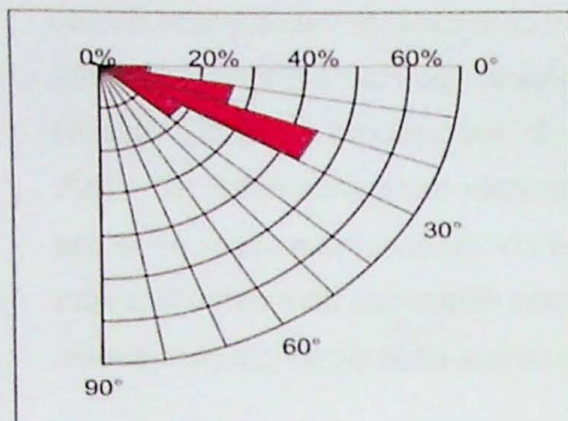


Figura 51. IC-07. Diagramas de Mergulho: veios de leucossoma; maior concentração de dados entre 20 e 30°.

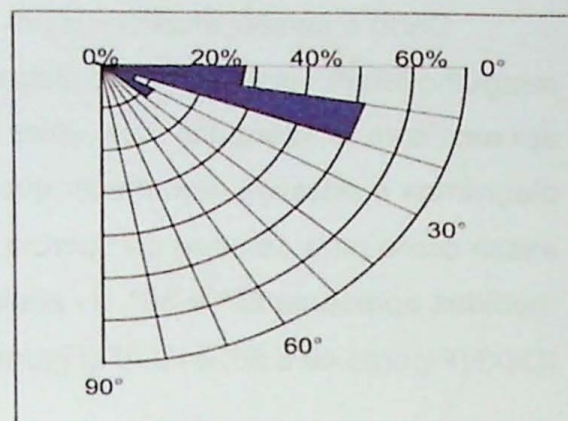


Figura 52. Diagramas de Mergulho: veios de quartzo; maior concentração de dados entre 10 e 20°.

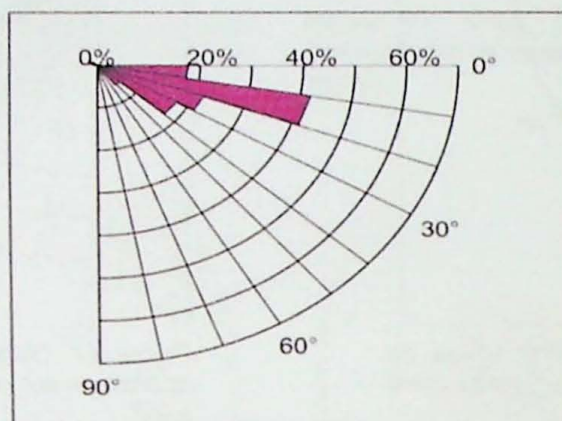


Figura 53. IC-07. Diagramas de Mergulho: S₂; maior concentração entre 10 e 20°.

8. DISCUSSÕES

8.1. Análise Petrográfica

De modo geral, as lâminas apresentam padrão granulométrico bastante distintivo entre resíduo, de menor granulação (1,0 - 2,0 mm, excetuando-se alguns fenocristais), e leucossoma, de granulação maior (0,2 - 8,0 mm). Esse padrão se mantém tanto nas amostras que possuem leucossoma mais segregado quanto nas amostras mais homogêneas. Tal ocorrência pode estar associada ao fato de o leucossoma ser constituído majoritariamente por cristais neoformados, enquanto que no resíduo predominam cristais provenientes do protolito.

Os veios também possuem duas modas de granulação, representadas por megacristais de quartzo e plagioclásio e pela matriz (composta pelos mesmos dois minerais). Esse padrão bimodal atenua-se progressivamente (IC-01<IC-03<IC-07), com o aumento da granulação do quartzo da matriz, o que reflete em uma granulação mais homogênea dos veios.

Comparando-se as seções delgadas, observa-se aumento progressivo das proporções de quartzo e plagioclásio, acompanhado da diminuição de muscovita, além do aumento progressivo da granulometria e da espessura e continuidade do veios quartzo-feldspáticos, feições igualmente já descritas e interpretadas por Batista (2011, 2015), como evidências de fusão parcial.

A textura de cristais com núcleos de muscovita e bordas de biotita também parece estar associada à anatexia, pois, segundo Batista (2011) a reação de fusão parcial à qual estiveram submetidas essas rochas deu-se pela quebra da muscovita, com excesso de H₂O e presença de plagioclásio e quartzo, formando biotita, cianita e fundido, porém sem formação de feldspato potássico. Logo, a textura observada em lâmina seria consequência da formação da biotita como produto da fusão parcial, com consumo dos componentes celadonita e Fe-celadonita da muscovita, gerados pela substituição inversa da molécula tschermakítica (Batista, 2011), e aproveitamento das bordas da muscovita para início da cristalização.

Excetuando-se a apatita em casos raros, todos os minerais acessórios ocorrem apenas no resíduo das rochas, estando ausentes no leucossoma, sugerindo que, como já apontado por Batista (2011, 2015), a fusão parcial que atuou sobre estas rochas não atingiu campos de temperatura e pressão suficientes para fundir esses minerais, com temperaturas estimadas entre 700 e 750 °C e pressões acima de 10 kbar, da base para o topo da Unidade Santo Antonio.

Com relação aos resultados da análise modal, buscou-se avaliar tanto a variação composicional do leucossoma em cada uma das pedreiras, quanto possíveis variações

de uma pedra para outra; porém, não foi possível identificar uma tendência bem definida, já que as composições variam bastante e de maneira não linear. Esse fato deve-se a quantidade de amostras utilizadas na análise talvez não tenha sido suficientemente representativa. Mesmo assim, comparando-se os dados obtidos em conjunto com a análise petrográfica, foi possível relacionar as composições com menos de 40% de plagioclásio a veios de quartzo, com ou sem nucleação de leucossoma, enquanto que as composições tonalíticas coincidiram com a ocorrência de leucossoma já segregado em veios ou bolsões.

No que diz respeito às evidências de recristalização dinâmica, em todas as lâminas observadas ocorrem indicadores cinemáticos do tipo sigma, a maioria definida por agregados quartzo-feldspáticos envoltos por faixas de biotita, que caracterizam também o anastomosamento da foliação principal S_2 ; além de mica "fish".

Nas seções delgadas, sobretudo as de IC-07, observam-se também que os cristais no leucossoma apresentam frequentemente contatos irregulares, lobados ou interdigitados, semelhantes a microestruturas de recristalização dinâmica descritas por Stipp et al. (2002). Porém, como trata-se de material proveniente de fusão, as texturas e estruturas observadas também, é difícil distinguir os aspectos texturais e microestruturas que estão relacionados de fato à recristalização e ao cisalhamento, daqueles relacionados aos processos de cristalização magmática do fundido (Figura 54).



Figura 54. Textura de leucossoma em IC-07-F1a, com contatos lobados, irregulares e interdigitados.

8.2. Análise Estrutural

A sobreposição de medidas de I_{b2} e I_{est} com orientações NE-SW pode indicar que: i. o regime de deformação ao qual a área de estudo esteve sujeita possuía intensa componente de cisalhamento simples, que pode ter rotacionado o eixo das dobras; ii. o padrão em comum na lineações em questão pode ser reflexo de uma sobreposição de dobramentos, relacionada à progressão da deformação. Em última análise, essa sobreposição também estaria relacionada ao caráter não-coaxial da deformação.

Esse caráter não coaxial e contínuo da deformação regional, implicando inclusive em possíveis redobramentos, é reiterado pela mudança progressiva da disposição espacial das estruturas observadas na projeção dos dados referentes às pedreiras, nos quais se observam mudanças nas direções da foliação principal, e nas direções e caimentos da lineação de crescimento mineral, que parece orientar-se mais a leste e com ângulos maiores de IC-01 para IC-07.

Quanto às relações estruturais entre a colocação dos veios de quartzo e leucossoma e a estrutura principal da rocha (S_2), tanto a análise por projeções estereográficas, quanto por diagramas de frequência de mergulho, revelaram a tendência dos veios de leucossoma a estarem dispostos segundo mergulhos maiores (20° a 30°) em relação a S_2 (10° a 20°), enquanto que a orientação dos veios de quartzo apresenta-se, predominantemente, subparalela em relação à foliação principal.

De posse desses dados, buscou-se modelos estruturais compatíveis com contextos de zona de cisalhamento em que se pudesse reconhecer um padrão angular semelhante ao observado na área de estudo.

Lister & Snoke (1984) descrevem a configuração de milonitos S-C tipo II como de ocorrência generalizada em rochas quartzo-micáceas sujeitas a intensa deformação não-coaxial. Segundo os autores, a superfície C está relacionada à zonas de cisalhamento estabelecidas dentro da rocha, com deformação relativamente alta, definidas por faixas comumente marcadas por grãos de filossilicatos muito pequenos, minerais opacos e ocasionalmente fragmentos de grãos de feldspatos, podendo apresentar, em grande parte dos casos, mica *fish*. Já a superfície S está relacionada à acumulação de deformação finita, definida por foliação oblíqua a C, adjacente a agregados de quartzo, formada como resultado de recristalização dinâmica. Ainda segundo o mesmo trabalho, a superfície C define a foliação mesoscópica dominante, enquanto que a superfície S nem sempre é claramente discernível.

Guernina e Sawyer (2003) tratam da extração de fundido em terrenos de facies granulito, cujo litotipo principal são metagrauvacas, assim como as rochas da área de estudo. Segundo os autores, as forças que condicionam a segregação do líquido

configuram-se como gradientes de pressão, estabelecidos quando rochas heterogêneas são submetidas a estresses deviatóricos por qualquer regime tectônico deformacional. Então, se durante a progressão da deformação se desenvolverem regiões de deformação preferencial em uma camada, ou conjunto de camadas, em particular, essa deformação irá gerar sítios dilatacionais, tais como boudinagens, fraturas ou bandas de cisalhamento, nessas camadas, e a direção do gradiente de pressão será ao longo desses planos. Desta forma, o líquido migrará pervasivamente ao longo das camadas para os sítios dilatacionais.

Baseando-se nesses modelos, são feitas as seguintes considerações à cerca da área de estudo:

- A Figura 55 compara os aspectos texturais e mineralógicos apresentados pelos referidos autores com feições observadas em seções delgadas da área de estudo

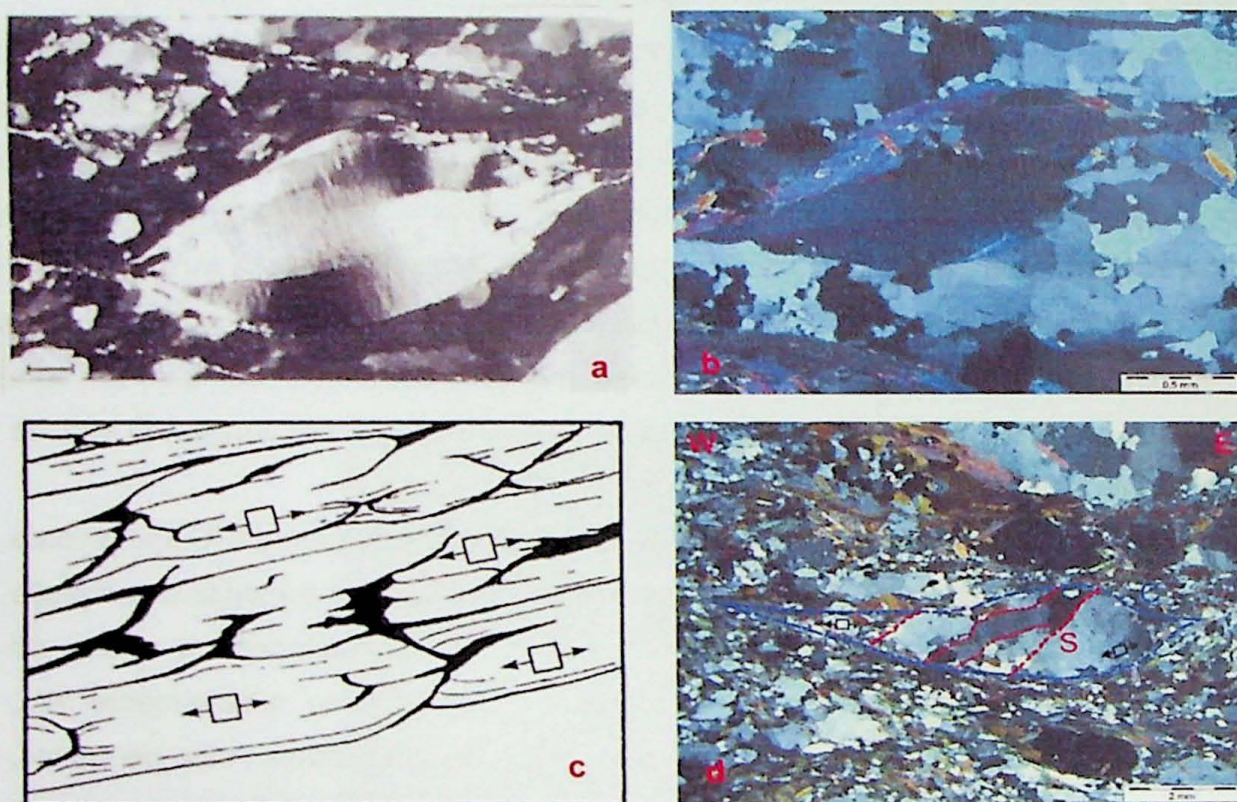


Figura 55. a. O mica "fish" é uma das feições minerais características de Milonitos S-C do tipo II, definidos por Lister & Snoke (1984); b. Mica "fish" em fotomicrografia de IC-01C2-5. Em consonância com a caracterização mineralógica e textural dos referidos autores, essas feições são recorrentes nas seções delgadas da área de estudo, sobretudo em IC-07; c. Modelo para a extração de material fundido a partir de granulitos (modificado de Guemina e Sawyer (2003). O esquema ilustra a geração de sítios dilatacionais (setas), oblíquos à estrutura principal, para onde o fundido poderá migrar por gradientes de pressão; d. Estrutura S-C em fotomicrografia de IC-07-JL28,2, segundo a definição de Lister & Snoke (1984). Analogamente ao proposto por Guemina e Sawyer (2003), o desenvolvimento das superfícies "S" em estruturas S-C presentes em vários afloramentos da área de estudos, configuraria possíveis sítios dilatacionais (setas) oblíquos a S_2 , para onde o fundido migraria. Essa hipótese justifica a colocação de parte dos veios de leucossoma em planos oblíquos à foliação principal.

- Na pedreira do ponto IC-01, a rocha se apresenta com granulação fina a média, grande quantidade de veios de quartzo, em sua maioria paralelizados à S_2 , e raras ocorrências de cristais de plagioclásio ígneo nas bordas dos veios ou de bolsões quartzo-feldspáticos, indicativos de que a rocha tenha atingido o campo $P-T$ de fusão parcial, porém não o suficiente para gerar um volume expressivo de líquido. Uma vez que a maioria dos veios de quartzo observados nas pedreiras está orientada em superfícies paralelas ou subparalelas a S_2 , estima-se que sua formação tenha ocorrido em conjunto com o desenvolvimento da foliação principal durante o segundo evento de deformação regional (D_2).

- Já nas pedreiras correspondentes aos pontos IC-03 e IC-07, a rocha passa a apresentar granulação média a grossa, indicativa de temperaturas mais elevadas do que a que se pressupõe para IC-01. É bastante provável que esse aumento da granulação tenha propiciado também um aumento relativo do grau de anastomosamento da foliação S_2 , o que facilitou a configuração/desenvolvimento das estruturas SC, mais pervasivas em IC-03 e IC-07 do que em IC-01.

- Segundo Batista (2011, 2015), concomitante a esse aumento da granulação e da expressividade das feições anastomosadas, deu-se a entrada de fluidos em planos preferenciais formados pelo contato entre os veios de quartzo e a S_2 , baixando o ponto de fusão das rochas e iniciando a geração de fundido nas bordas desses veios. A progressão da fusão parcial e o aumento da quantidade de fundido teriam então influenciado a reologia das rochas, o que também pode ter propiciado o desenvolvimento de estruturas SC.

Uma vez que, segundo o modelo de Guernina e Sawyer (2003), a superfície S das estruturas SC pode ser interpretada como um sítio de alívio de pressão entre as superfícies principais C, é plausível que, com a progressão da fusão, aliada ao aumento da deformação, o líquido formado tenha migrado para esses sítios, cristalizando-se então em planos S, obliquamente à foliação principal e aos veios de quartzo, que orientam-se segundo planos C.

9. CONCLUSÕES

9.1. Análise Petrográfica

A análise petrográfica permitiu estabelecer um padrão granulométrico bastante distintivo entre resíduo, de menor granulação, e leucossoma, de granulação maior; ao qual atribui-se a influência da deformação, que teria atuado de maneira muito mais intensa nos cristais do resíduo do que do leucossoma.

Identificou-se também um padrão granulométrico bimodal dos veios de leucossoma, que atenua-se progressivamente ($IC-01 < IC-03 < IC-07$), refletindo o crescimento dos cristais do leucossoma. Observa-se ainda aumento, também progressivo, da granulometria, da espessura e continuidade do veios quartzo-feldpáticos, e das proporções de quartzo e plagioclásio das lâminas como um todo, acompanhados da diminuição de muscovita (feições descritas e interpretadas também por Batista, 2011 e 2015). Estes aspectos, somados à presença de uma textura de reação constituída por cristais com núcleos de muscovita e bordas de biotita (também observados durante a petrografia preliminar), constituem importantes evidências da fusão parcial.

A grande maioria dos minerais acessórios ocorrem apenas no resíduo das rochas, estando ausentes no leucossoma, sugerindo que, como já apontado por Batista (2011, 2015), a fusão parcial que atuou sobre estas rochas não atingiu campos de temperatura e pressão suficientes para fundir esses minerais.

9.2. Análise Estrutural

Analogamente ao apresentado por Lister & Snoke (1984), nas rochas da área de estudo os veios de leucossoma se orientam em planos que possuem a mesma direção e sentido de deslocamento que a estrutura de cisalhamento principal (C) de S_2 , porém apresentam-se oblíquos a esta, com mergulhos maiores, em torno de 10° , condizentes com a disposição de superfícies S. Uma vez que regimes de cisalhamento progressivos tendem a paralelizar as estruturas afetadas, e que a grande maioria dos veios de quartzo foi gerada anteriormente ao leucossoma, tendo sido submetidos por mais tempo à deformação cisalhante, sugere-se que estejam orientados segundo as superfícies C, aproximadamente paralelos à foliação principal S_2 . Ainda segundo tal hipótese, o efeito do cisalhamento teria sido ainda mais intenso em IC-01, onde se observa a maior quantidade de veios de quartzo paralelizados à S_2 , já que o volume de fundido gerado não foi suficiente para influenciar a reologia da rocha e acomodar a deformação de maneira mais plástica.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, L. A. 2011. Investigação do início da fusão em rochas semi-pelíticas da fácies anfibolito superior. Trabalho de Formatura, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 59 p.
- Batista, L. A. 2015. Geração e transporte de fundidos em semipelitos: modelagem com dados de campo e pseudossessões. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 129 p.
- Brown, M. 1994. The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma: The migmatite-to-crustally-derived granite connection in thickened orogens. *Earth-Science Reviews*, **36**, 83-130.
- Brown, M. 2016. Granite: From genesis to emplacement. *Geological Society of America Bulletin* 2013; **125**, 7-8: 1079-1113.
- Brown, M., Korhonen, F. J., Siddoway, C. S. 2011. Organizing Melt Flow through the Crust. *Elements*, **7**: 261-266.
- Campos Neto M.C. & Caby R. 1999. Tectonic constrain on Neoproterozoic high-pressure metamorphism and nappe system south of São Francisco craton, southeast Brazil. *Precambrian Res.*, **97**:3-26.
- Campos Neto M.C. & Caby R. 2000. Lower crust extrusion and terrane accretion in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil. *Tectonics*, **19**:669-687.
- Campos Neto, M. C.; Basei, M. A. S.; Janasi, V. A.; Moraes, R. 2011. Orogen migration and tectonic setting of the Andrelândia nappe system: an Ediacaran western Gondwana collage, south of São Francisco craton. *Journal of South American Earth Sciences*, **32**: 393-406.
- Campos Neto, M. C.; Basei, M. A. S.; Vlach, S. R. F.; Caby, R.; Szabo, G. A. J.; Vasconcelos, P. 2004a. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: Um esboço da colagem Brasileira no Sul do cráton São Francisco, SE – Brasil. *Revista do Instituto de Geociências – USP, Geologia USP, Série Científica*, **4**: 13-40.
- Campos Neto, M. C.; Janasi, V. A.; Basei, M. A.; Siga Junior, O. 2007. Sistema de Nappes Andrelândia, setor oriental: Litoestratigrafia e posição estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, **37** (4-suplemento): 47-60.
- Guernina, S., Sawyer, E. W. 2003. Large-scale melt-depletion in granulite terranes: an example from the Archean Ashuanipi Subprovince of Quebec. *Journal of Metamorphic Geology*, **21**: 181-201.
- Hobbs, B. E., Means, W. D., Williams, P. F. 1976. An outline of structural geology: John Wiley & Sons, Inc., New York, New York. 571 p.

- Jardim de Sá, E. F.; Hackspacher, P. C. 1982. Revisão sobre análise estrutural. Parte I: Conceituação básica e métodos. *Ciências da Terra*, **5**: 24-36.
- Lister, G. S., Snoke, A. W. 1984. S-C Mylonites. *Journal of Structural Geology*, **6**: 617-638.
- Mehnert, K. R. 1968. Migmatites and the origin of granitic rocks. Amsterdam. 391 p.
- Morales, N. 1986. Análise estrutural em áreas de dobramentos polifásicos. Exame de Qualificação para obtenção de Título de Mestre, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 48p.
- Paciullo, F. V. P.; Trouw, R. A. J.; Ribeiro, A. 2003. Geologia da Folha Andrelândia. In: Pedrosa-Soares, A. C. (Coord.) *et al.* Projeto Sul Minas: Geologia e Recursos Minerais do Mineiro. Belo Horizonte: CPRM. v.1.
- Santos L.P., Campos Neto M.C. & Carvalho C.H.G. 2004. Metamorphic path constrained by metapelitic rocks from the inner Aiuruoca-Andrelândia Nappe, Southern of the São Francisco craton, SE Brazil. *J. South Am. Earth Sci.*, **16**:725-741.
- Sawyer, E. W. 2000. Melt segregation in the continental crust: distribution and movement of melt in anatectic rocks. *Journal of metamorphic geology*, **19**: 291-309.
- Sawyer, E. W. 2008. Atlas of Migmatites. *NRC Research Press*, Canadá, 372 p.
- Sawyer, E. W. 2014. The inception and growth of leucosomes: microstructure at the start of melt segregation in migmatites. *Journal of Metamorphic Geology*, **32**: 695-712.
- Stipp, M., Stünitz, H., Heilbronner, R., Schmid, S. 2002. The eastern Tonale fault zone: a 'nature laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700° C. *Journal of Structural Geology*, **24**: 1861-1884.
- Streckeisen, A. L. 1973. Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. *Geotimes*, **18**: 26-30.
- Trouw, R. A. J.; Ribeiro, A.; Paciullo, F. V. P.; Heilbron, M. 2000. Interference between the Neoproterozoic Brasília and Ribeira Belts, with Special Emphasis on High Pressure Granulites. 31st International Geological Congress. Field Trip Guide. Rio de Janeiro. Brazil, 45 p.
- Yakymchuk, C., Brown, M., Ivanic, T. J., Korhonen, F.J. 2013. Leucosome distribution in migmatitic paragneisses and orthogneisses: A record of self-organized melt migration and entrapment in a heterogeneous partially-molten crust. *Tectonophysics*, **603**: 136-154.

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Afloramento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	Ln qtz dir	Ln qtz dip	Lx dir	Lx dip	P.A. dir	P.A. dip
27/07/15	IC-03	473569	7594306	887	Pedreira INCOPE	ky-grt-bt-plg-metaxisto	com leucossoma pouco segregado	foliação proto-milonítica	Santo Antônio	145	10	32	5						
28/07/15	JL-01	473511	7593872	900	corte de estrada pouco alterado	grt-bt-plg-xisto	c/ muscovita		Santo Antônio	84	16	90	14						
28/07/15	JL-02	475922	7593047	972	blocos rolados	grt-bt-plg-xisto	c/ muscovita		Santo Antônio	97	5	100	0						
28/07/15	JL-03	476089	7592975	949	blocos e saprolito em corte de estrada	grt-bt-plg-xisto	mais muscovita, plagioclásio menor		Santo Antônio	198	2								
28/07/15	JL-04	476242	7592881	950	saprolito em corte de estrada	grt-mu-qtz-xisto + qtz-mu-xisto	c/ lentes de quartzo. 50m a S observa-se um anfibolito (boudin? dobra?)	dobras decimétrica s, fechadas (flancos de $\approx 50^\circ$), s/ espessamento de charneira, inclinadas, A $\approx 4,0$ cm	Arantina	317	10					192	5		
28/07/15	JL-05	477085	7593274	868		grt-mu-qtz-xisto + qtz-mu-xisto	veio de quartzo	par SC com topo p/ NE	Arantina	136	13	245	15						
										178	20								
										178	20								
										146	16								

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Afloramento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	Ln qtz dir	Ln qtz dip	Lx dir	Lx dip	P.A. dir	P.A. dip
28/07/15	JL-06	477460	7593048	829	lajedo no Rio Verde	grt-bt-plg-xisto	s/ leucossoma evidente		Santo Antônio	276	15	260	15						
28/07/15	JL-07	478635	7592205	860	lajedo em trigal	grt-bt-plg-xisto	s/ (ou quase) leucossoma evidente		Santo Antônio	294	15			238	14				
28/07/15	JL-08	478896	7592096	860	corte de estrada bastante alterado	grt-bt-plg-xisto	c/ ky		Santo Antônio	174	10								
28/07/15	JL-09	479131	7591901	875	lajedo na estrada	grt-bt-plg-xisto	leucossoma muito restrito ($\pm 5\%$)		Santo Antônio										
28/07/15	JL-10	480078	7590473	900		mu-qtz-xisto			Arantina	200	10	196	10						
28/07/15	JL-11	479980	7590275	940	lajedo próx a uma porteira	grt-bt-plg-xisto	granulação média a grossa; $\pm 10\%$ de leucossoma		Santo Antônio	254	10			178	11				
28/07/15	JL-12	477236	7591711	880	valeta e corte de estrada	mu-qtz-xisto + qtz-mu-xisto	c/ veios de quartzito		Arantina	312	16	246	10						
29/07/15	JL-13	473897	7590681	933	valeta na estrada que leva para a Fazenda 3L	qtz-mu-xisto			Arantina	296	10	278	10						

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Afloramento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	Ln qtz dir	Ln qtz dip	Lx dir	Lx dip	P.A. dir	P.A. dip
29/07/15	JL-14	474707	7591339	963	bloco rolado na estrada	ky-grt-bt-plg-xisto metatexitico	granulação grossa, leucossoma pouco evidente; veios de qtz deformados (1-3 cm)		Santo Antônio										
29/07/15	JL-15	474495	7592358	1002	corte de estrada	mu-qtz-xisto + grt-qtz-mu-xisto		Sn dobrada; dobras abertas, quase sem espessamento de charneira, A $\approx 50\text{cm}$, flancos inclinados ($\approx 30^\circ$), pares SC; padrão de interferência em laço	Arantina	34 122 54 190 144 68	5 5 25 2 20 25	38 334 167 192 46	5 4 18 2 22						
29/07/15	JL-16	474222	7592896	970	corte de estrada \pm alterado	mu-quartzito	veios de quartzo $\approx 3\text{ cm}$; 50 m a E predomina qtz-mu-xisto dobrado com veios de quartzo boudinados		Arantina	291 319 290 324 144	50 15 30 14 35	198	4			274	65	95	65

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Afloramento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	Ln qtz dir	Ln qtz dip	Lx dir	Lx dip	P.A. dir	P.A. dip
29/07/15	JL-17	474134	7593051	953	lajedos no pasto	ky-grt-bt-qtz-plg-xisto	metatextito com fundido segregado (5-10%); predomina granulação grossa		Santo Antônio	80	12								
29/07/15	JL-18	476701	7590846	951	blocos <i>in situ</i> no pasto	grt-bt-plg-qtz-xisto metatextítico	granulação fina; s/ leucossoma expressivo		Santo Antônio	12	5								
29/07/15	JL-19	476675	7590805	980	saprolito no pasto	mu-qtz-xisto	c/ granada		Arantina										
29/07/15	JL-20	477355	7590517	914	chão de estrada no trítal	ky-grt-bt-xisto metatextítico	granulação fina; pouco fundido (< 5%)		Santo Antônio										
29/07/15	JL-21	476522	7590231	886	lajedos no pasto	ky-grt-bt-qtz-xisto metatextítico	granulação fina; pouco fundido (< 5%), segregado		Santo Antônio	295	12								
29/07/15	JL-22	477683	7588456		lajedo no Córrego do Palmital (em baixo da ponte)	grt-bt-xisto metatextítico	s/ ky, um pouco mais de muscovita; acumula-ções dispersas de plg bem grande (< 5% de fundido)		Santo Antônio	322	5	4	0						
29/07/15	JL-23	477835	7588514	882	saprolito em corte de estrada	st-grt-bt-xisto			Arantina?										

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Afloramento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	Ln qtz dir	Ln qtz dip	Lx dir	Lx dip	P.A. dir	P.A. dip
29/07/15	JL-24	478524	7588289	929	lajedos no pasto	ky-grt-bt-plg- xisto metatexitico	granulação média; leucossoma "patch", ≈ 15% de fundido; veios de quartzo e de leucossoma deformados / dobrados	sentido do cisalhament os p/ N	Santo Antônio	346	12	334	8						
29/07/15	JL-25	478917	7588263		lajedos no pasto	ky-grt-bt-plg- xisto metatexitico	5-10% de fundido		Santo Antônio	312 322 332	12 10 10	322 340	15 0						

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Aflora- mento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	leuco dir	leuco dip	veio dir	veio dip
								Veios envelopados por bt, núcleo de qtz e borda de plg, espessura < 5 mm. SC em veios de qtz, espessura 2 cm. Dobras até 10 cm, muito fechadas c/ charneiras espessadas. Muitos porfiroclastos como indicadores cinemáticos, topo p/ E.		335	20	33	11	334	24	323	22
										324	22	36	15	291	20	328	30
										313	16	37	4			321	30
										312	25	38	5				
										309	28	39	3				
13/04/16	IC-01	472797	7579249	854	Pedreira desativada	ky-grt-bl- plg-qtz- xisto			Santo Antônio	330	21	39	3				
										322	24	40	5				
										316	30	40	2				
										301	29	40	3				
										298	38	41	10				
										316	19	42	3				

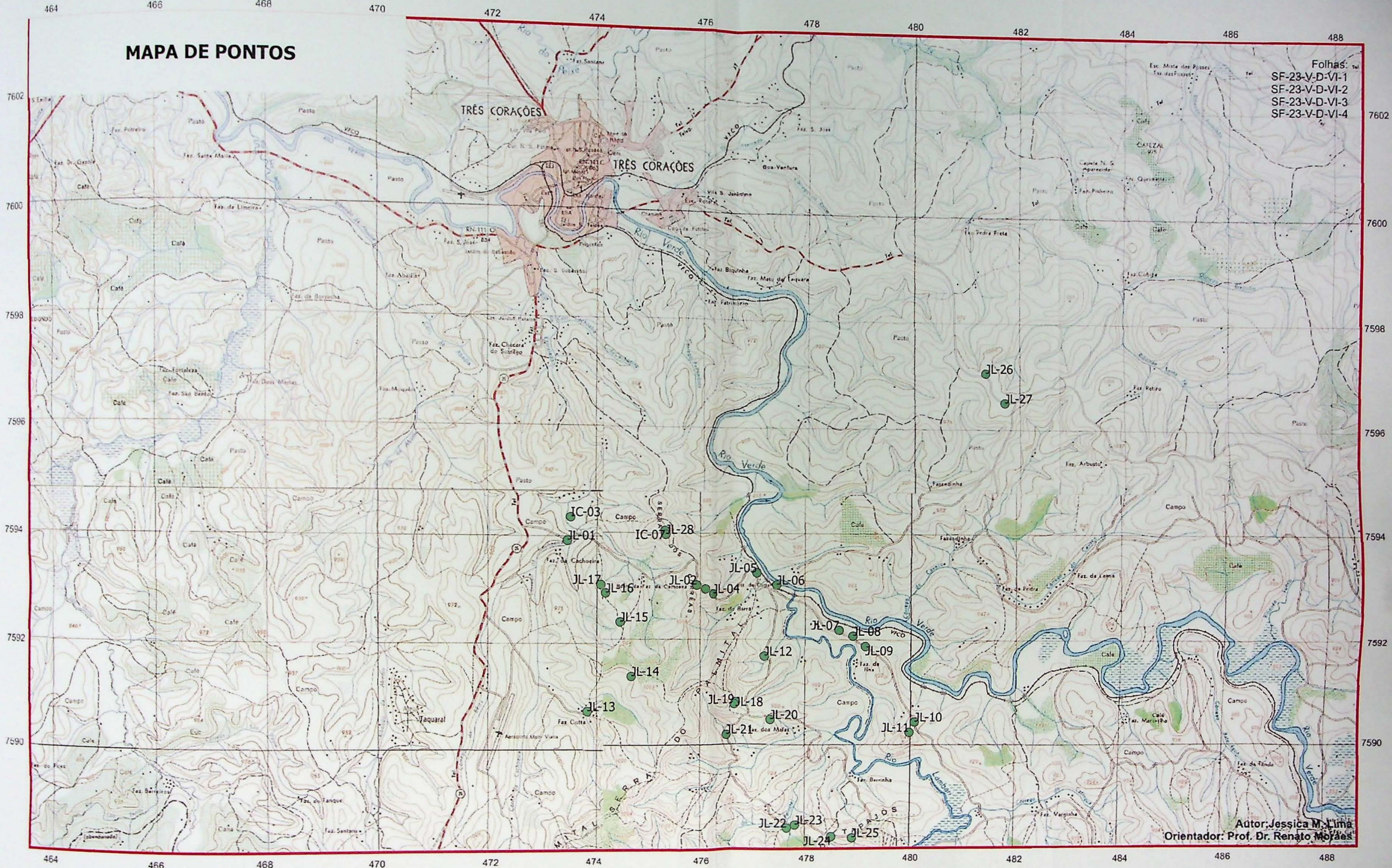
Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Aflora- mento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	leuco dir	leuco dip	veio dir	veio dip
14/04/16	IC-03	473569	7594306	887	Pedreira INCOPE	ky-grt-bi- plg-qtz- metatexito	Amostra orientada: IC-03-JL (132/15)	Pares SC	Santo Antônio	145	10	4	5	94	30	155	30
										90	14	42	3	90	25		
										300	15	44	5	128	10		
										295	15	44	3	112	7		
										240	14	46	4	115	27		
										40	10	46	0	105	24		
										240	10	48	8	114	36		
										76	15	50	8				
										100	10	51	10				
										45	10	53	5				
										28	5	53	4				
										135	28	53	15				
										108	15	54	4				
										76	20	54	12				
										118	10	54	14				
										158	18	54	4				
										114	5	55	2				
										138	22	56	0				
										118	30	56	2				
										119	22	56	5				
										110	15						
										98	2						
										88	10						
										104	10						
										132	15						

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Aflora- mento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	leuco		veio	
														dir	dip	dir	dip
14/04/16	IC-07	475317	7594065	1029	Pedreira desativada do Sr. Lelé	ky-grt-bt- plg-qtz- metatexito	Amostra orientada: IC-07-JL-a (358/05); b (355/10) e c1-c2 (048/05)	Dobras mais abertas que na IC- 01. Pares SC e veios de quartzo escalonados.	Santo Antônio	115	10	60	8	324	12	164	35
										83	10	60	10	58	10	200	22
										92	20	61	10	60	30	278	15
										113	15	62	10	92	20	20	5
										114	15	64	10	60	20	179	10
										114	5	65	0			196	18
										142	4	65	8			185	38
										129	16	68	10			356	15
										69	10	68	4			24	10
										40	10	71	10			324	5
										355	10	72	6			356	12
										48	5	73	5			351	10
										94	18	75	20			34	10
										100	9	86	10			167	2
										140	6	90	10			34	1
										358	5	100	10				
										17	5	167	5				
										22	5	182	8				
										3	25	60	20				
										112	15						
										59	12						
										88	12						
										84	15						
										112	9						
										80	10						
										117	15						
										50	22						
										60	32						
										82	44						
										68	35						
										45	35						
										72	12						
										78	16						
										96	15						
										67	30						
										132	15						
										355	5						

Dia	Ponto	X	Y	Cota (m)	Aflora-mento	Litotipo	Obs	Estruturas	Unidade	Sn dir	Sn dip	Ln mica dir	Ln mica dip	leuco dir	leuco dip	S veio dir	S veio dip
15/04/16	JL-26	481383	7597049	142	blobo <i>in situ</i> no chão da estrada	ky-grt-bi-plg-qlz-metalexito	Sem leucossoma evidente		Santo Antônio	228	18	192	18				
15/04/16	JL-27	481747	7596491	104	bloco rolado na estrada	ky-grt-bi-plg-qlz-metalexito			Santo Antônio								
16/04/16	JL-28	475333	7593990	1011	Pedreira desativada do Sr. Lelé	ky-grt-bi-plg-qlz-metalexito	IC-07 - palamar inferior. Aumenta a proporção de grandes veios de leucossoma. Amostra orientada: IC-07-JL-28-1,2 e 3 (07/5/20)			55	24	192	15	104	28		
										88	20	192	10	74	27		
										72	32	196	25	108	17		
										58	27	197	30	54	36		
										64	25	198	25	100	2		
										52	30	210	26	65	29		
										84	200	215	30				
										58	32	218	20				
										70	28	222	29				
										26	25	222	30				
										80	30	235	20				
										54	36	236	22				
										62	22	241	22				
										44	15	245	22				
										56	15	246	25				
										40	27	250	27				
										72	32	261	24				
										62	25	278	25				
										66	30	322	20				
										62	30	334	22				
										75	25	334	28				
										84	33	340	22				
										111	40						
16/04/16	JL-29	472797	7579249	854	Pedreira desativada	ky-grt-bi-plg-xisto	Amostra orientada: IC-01-JL-29 (134/22)										

ANEXO II: MAPA DE PONTOS

MAPA DE PONTOS



Folhas:
SF-23-V-D-VI-1
SF-23-V-D-VI-2
SF-23-V-D-VI-3
SF-23-V-D-VI-4

Autor: Jessica M. Lima
Orientador: Prof. Dr. Renato Moyses

- LOCALIDADES**
- Mais de 100 000 habitantes
 - De 50 000 a 100 000 habitantes
 - De 20 000 a 50 000 habitantes
 - De 5 000 a 20 000 habitantes
 - Até 5 000 habitantes
 - Vila
 - Povoado
 - Núcleo ou propriedade rural
- LIMITES**
- Internacional
 - Interestadual
 - Intermunicipal
 - Áreas especiais

- ESTRADAS DE RODAGEM**
- Auto-estrada
 - Pavimentada
 - Sem pavimentação
 - Caminho, Trilha
 - Identificação de rodovias
- ESTRADAS DE FERRO**
- Bitola normal ou larga
 - Bitola estreita
 - Caminho aéreo (cabo)
 - Linha de bonde
 - Linha telefônica e telegráfica
 - Linha de energia elétrica
- Pontos de controle**
- Altitudes**

ABRIGAMENTO NA ILHA

Rapido	Três Corações	Lançamento
Canal	Canção de Rio Verde	Casimiro
Cidade	São Lourenço	Prós Rio

ESCALA 1:50 000

Equidistância das curvas de nível 50 metros

Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 45° W. Gr. acrescidas as constantes 10 000 km e 500 km, respectivamente.

Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC

Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Levantamento estereofotogramétrico topográfico regular.

Aerofotografias de 1964, recombinação 1965 e restituição 1970

Triangulação Especial

Esta ilha foi preparada e impressa em decorrência do Convênio entre a FUNDAÇÃO IBGE e o Departamento Geográfico do Estado de Minas Gerais

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA

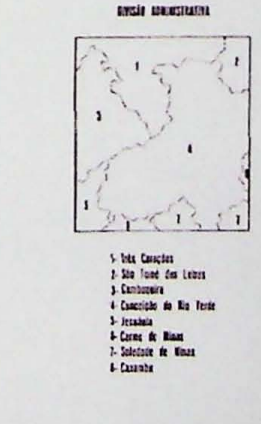
PRIMEIRA EDIÇÃO - 1971

DIREITOS DE REPRODUÇÃO RESERVADOS

Impressa no Serviço Gráfico da FUNDAÇÃO IBGE

O INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA agradece a gentileza da comunicação de falhas ou omissões verificadas nesta ilha.

- HIDROGRAFIA**
- Mangue, Salina
 - Curso d'água Intermitente
 - Lago ou lagoa Intermitente
 - Terreno sujeito a inundação
 - Brejo ou pântano
 - Poço (lago), Nascente
 - Salto, cascata ou catarata
 - Cachoeira
 - Corredeira, rápido, travessão
 - Barragem: terra, alvenaria
 - Fundeadouro
 - Areia
 - Campo de emergência. Farol
 - Igreja. Escola. Mina
- VEGETAÇÃO**
- Mata, floresta, cerrado, macega, caatinga
 - Culturas: permanente, temporária



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1971 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA

16° 07' N
0° 02' E

A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 7" ANUALMENTE

Usar exclusivamente os dados numéricos

