



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

**ASPECTOS GEOQUÍMICOS E PETROLÓGICOS DAS
MINERALIZAÇÕES TIPO GREISEN ASSOCIADAS ÀS FÁCIES
MAIS EVOLUÍDAS DOS GRANITOS NA “ZONA DA BACIA” DO
MACIÇO PEDRA BRANCA, GOIÁS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 506

VIVIAN MARJORIE BRAGA BANDEIRA

Brasília-DF

Junho/ 2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA

**ASPECTOS GEOQUÍMICOS E PETROLÓGICOS DAS
MINERALIZAÇÕES TIPO GREISEN ASSOCIADAS ÀS FÁCIES MAIS
EVOLUÍDAS DOS GRANITOS NA “ZONA DA BACIA” DO MACIÇO
PEDRA BRANCA, GOIÁS.**

VIVIAN MARJORIE BRAGA BANDEIRA

Orientador:

Prof. Dr. Federico Alberto Cuadros Jiménez

Banca examinadora:

Prof. Dr. Federico Alberto Cuadros Jiménez (UnB)

Prof. Dr. Valmir da Silva Souza (UnB)

Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Júnior (UNESP)

Brasília-DF

Junho/2023

Ficha catalográfica

BB 214a Bandeira , Vivian
Aspectos geoquímicos e petrológicos das mineralizações tipogreisen
associadas às fácies mais evoluídas dos granitos na "Zona da Bacia" do
maciço Pedra Branca, Goiás. / Vivian Bandeira ; orientador Federico
Alberto Cuadros Jiménez. -- Brasília, 2023.
94 p.

Dissertação (Mestrado em Geologia) -- Universidade de Brasília,
2023.

1. Greisens. 2. Zona da Bacia. 3. Alteração hidrotermal .
4. Província estanífera de Goiás. I. Alberto Cuadros Jiménez, Federico ,
orient. II. Título.

*Aos meus pais
José Cláudio (in memoriam) e France.*

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação contou com o apoio de algumas pessoas, empresa e entidade de fomento à pesquisa para que fosse realizada. Expresso aqui meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente, agradeço ao Professor Federico Cuadros, pela oportunidade de orientar-me nesse trabalho. Agradeço todo o conhecimento transmitido nos últimos 2 anos, a compreensão, paciência e aos ensinamentos em cada etapa desse trabalho.

Ao Professor Nilson Botelho, por ceder as lâminas petrográficas e as análises químicas utilizadas no seu doutorado, e também por todas as vezes em que foi solícito ao atender minhas dúvidas e questionamentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

A Universidade de Brasília por toda estrutura que permite a produção de uma pesquisa, e pela oportunidade de ingressar no Programa de pós-graduação em geologia. Estendo esse agradecimento a todos os técnicos e funcionários do laboratório de microsonda eletrônica, que me auxiliaram em uma das etapas desse trabalho.

A EDEM projetos, que é a empresa de mineração que atua na região de pesquisa desse trabalho, e concedeu permissão para os estudos na região, além de serem muito receptivos e solícitos durante nossa passagem para atividade de campo, em setembro de 2021. Agradeço a todos os funcionários, cozinheira, mateiro e ao geólogo Marcos, que nos auxiliaram e foram muito gentis na semana em que estivemos lá.

Aos amigos da graduação e pós, pela amizade, incentivo, ajuda e contribuições na elaboração dessa dissertação.

Aos meus familiares e companheiro, por todo o apoio emocional e suporte financeiro cedido a mim, para que eu conseguisse concluir mais essa etapa na minha vida.

Obrigada!

RESUMO

O depósito da Zona da Bacia está localizado no Maciço Pedra Branca, ao nordeste do estado de Goiás. A área de estudo está inserida na porção norte da Província estanífera de Goiás, e é caracterizado por hospedar mineralizações de Sn associadas a rochas de composição granítica. Essas mineralizações ocorrem em greisens e em granitos greisenizados, formados a partir de eventos metassomáticos responsáveis por alterar quimicamente e mineralogicamente a rocha granítica original. Este trabalho aborda a caracterização mineralógica, geoquímica e petrológica das rochas da Zona da Bacia, com o objetivo de determinar as fases minerais, assembleia mineralógica e evolução de cada zona de alteração hidrotermal do depósito. Análises petrográficas permitiram classificar 4 fácies de alteração hidrotermal: alteração 1, alteração 2, alteração 3 e greisens, constituídos principalmente por quartzo, albita, feldspato potássico, e em estágios com processo hidrotermal mais avançado, por micas de alteração, topázio, cassiterita e fluorita. Dados de química mineral em micas, obtidos a partir de microsonda eletrônica (EPMA), mostram que processo de evolução metassomática do biotita albita granito até o greisen, gera como produto micas ricas em Fe, que transiciona para uma mica enriquecida em Al, Li e K. O balanço geoquímico de massa realizado através da litogeoquímica de rocha total, foi capaz de analisar o comportamento dos elementos em cada fácies de alteração, mostrando quais elementos entraram e saíram do sistema durante o hidrotermalismo. Os estudos de mobilidade química mostraram que no decorrer do processo de greisenização, grande parte da mineralogia do biotita albita granito foi substituída pela mineralogia dos greisens. Observou-se que os elementos que adquiriram massa ao longo do processo foram Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO , MnO , Rb, Sn, Cs, Ba, Ta, Nb e Ga enquanto os elementos SiO_2 , Na_2O , Zr, Y e W tiveram as perdas mais expressivas no decorrer da alteração. Os resultados apresentados juntamente com a literatura existente, nos leva a conclusão de que o depósito da Zona da Bacia é de associação granítica do tipo A, de origem tardi/pós magmática, com mineralizações hospedadas em greisens mineralizados a Sn. Trata-se de um sistema Li-F, e sua mineralização ocorre dentro da própria cúpula granítica, através da atividade magmática do granito Pb2d, que é considerado mais evoluído e diferenciado do Maciço, conduzindo os fluídos enriquecidos em metais raros e Sn até a zona de cúpula, gerando a mineralização com zonas de intensa concentração de cassiterita variando para zonas disseminadas e estéreis. Os estudos constatarem que as mineralizações tipo greisen da Zona da Bacia têm gênese e características químicas e mineralógicas próximas daquelas já descritas na literatura para outros depósitos, como os greisens da Província estanífera de Pitinga e os dos depósitos estaníferos nigerianos.

Palavras-chave: Zona da Bacia; greisens; alteração hidrotermal; Província estanífera de Goiás.

ABSTRACT

The Basin Zone deposit is located in the Pedra Branca Massif, northeast of the state of Goiás. The study area is inserted in the northern portion of the Tin Province of Goiás, and is characterized by hosting Sn mineralizations associated with rocks of granitic composition. These mineralizations occur in greisens and greisenized granites, formed from metasomatic events responsible for chemically and mineralogically altering the original granitic rock. This work deals with the mineralogical, geochemical and petrological characterization of the rocks of the Basin Zone, with the objective of determining the mineral phases, mineralogical assemblage and evolution of each zone of hydrothermal alteration of the deposit. Petrographic analyzes allowed classifying 4 facies of hydrothermal alteration: alteration 1, alteration 2, alteration 3 and greisens, constituted mainly by quartz, albite, potassium feldspar, and in stages with more advanced hydrothermal process, by alteration micas, topaz, cassiterite and fluorite. Mineral chemistry data in micas, obtained from electron microprobe (EPMA), show that the process of metasomatic evolution of biotite albite granite to greisen generates Fe-rich micas as a product, which transitions to a mica enriched in Al, Li and K. The geochemical mass balance performed through whole rock lithogeochemistry was able to analyze the behavior of the elements in each alteration facies, showing which elements entered and left the system during hydrothermalism. The chemical mobility studies showed that during the greisenization process, a large part of the mineralogy of the granite albite biotite was replaced by the mineralogy of the greisens. It was observed that the elements that acquired mass during the process were Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO , MnO , Rb, Sn, Cs, Ba, Ta, Nb and Ga while the elements SiO_2 , Na_2O , Zr, Y and W had the most expressive losses during the alteration. The results presented together with the existing literature, lead us to the conclusion that the deposit of the Basin Zone is of type A granitic association, of late/post magmatic origin, with mineralizations hosted in greisens mineralized to Sn. It is a Li-F system, and its mineralization occurs within the granitic dome itself, through the magmatic activity of the Pb2d granite, which is considered the most evolved and differentiated of the Massif, leading the fluids enriched in rare metals and Sn to the dome zone, generating mineralization with zones of intense concentration of cassiterite varying to disseminated and sterile zones. The studies confirm that the greisen-type mineralizations of the Basin Zone have genesis and chemical and mineralogical characteristics similar to those already described in the literature for other deposits, such as the greisens of the Pitinga Tin Province and the Nigerian tin deposits.

Keywords: Basin Zone; greisens; hydrothermal alteration; Tin Province of Goiás.

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	11
1.1 Apresentação e justificativa	11
1.2 Objetivos	12
1.3 Localização e acesso.....	13
Capítulo 2 - Contexto geológico.....	14
2.1 Geologia Regional	14
2.2 Depósito ‘‘Zona da Bacia’’	16
Capítulo 3 – Materiais e métodos.....	18
3.1 Microsonda eletrônica (EPMA)	18
3.2 Geoquímica de elementos maiores e traços.....	19
Capítulo 4 – Artigo	20
1. Introdução	21
2. Contexto Geológico	23
2.1 Geologia Regional	23
2.2 Depósito ‘‘Zona da Bacia’’	25
3. Materiais e métodos	26
3.1 Microsonda eletrônica (EPMA)	26
3.2 Geoquímica de elementos maiores e traços.....	26
4. Resultados.....	27
4.1 Análise petrográfica.....	28
4.1.1 Alteração 1	28
4.1.2 Alteração 2	31
4.1.3 Alteração 3	33
4.1.4 Greisens.....	35
4.2 Química mineral	39
4.2.1 Micas	39
4.3 Caracterização geoquímica	46
4.3.1 Balanço de massa.....	46
4.3.1.1 Par alteração 1-2	47
4.3.1.2 Par alteração 1-3	49
4.3.1.3 Par alteração 1- Greisens	51
5. Discussões	54
6. Conclusões	61
Referências bibliográficas.....	62
APÊNDICES	67

ÍNDICE DE FIGURAS

DISSERTAÇÃO:

Fig. 1. Localização da área de estudo com o principal acesso.	13
Fig. 2. Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília. Modificado de Pimentel et al. (2004) com ajuda das cartas geológicas ao milionésimo do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM: http://geosgb.cprm.gov.br/). A área de estudo está localizada no contexto do retângulo localizado na porção NE da faixa, o qual é detalhado na figura 3.	14
Fig. 3. Mapa geológico e localização de garimpos de cassiterita da sub-província Paranã. Baseado nas folhas SD.23, SD.23-V-C-III, SD.23-VC-V e SD.23-V-C-VI da CPRM (http://geosgb.cprm.gov.br/) e em Marini e Botelho (1986). O quadro amarelo no centro da figura destaca o Maciço Pedra Branca e indica a posição da área representada na figura 4.	16
Fig. 4. Mapa geológico do Maciço Pedra Branca, com destaque para as diferentes fases das suítes g1 e g2 e as zonas greisenizadas geradas pelos pulsos mais tardios da Suíte g2 (pbg2d). Modificado de Botelho et al. (2005).	17

ARTIGO:

Fig. 5. Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília. Modificado de Pimentel et al. (2004) com ajuda das cartas geológicas ao milionésimo do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM: http://geosgb.cprm.gov.br/). A área de estudo está localizada no contexto do retângulo localizado na porção NE da faixa, o qual é detalhado na figura 6.	23
Fig. 6. Mapa geológico e localização de garimpos de cassiterita da sub-província Paranã. Baseado nas folhas SD.23, SD.23-V-C-III, SD.23-VC-V e SD.23-V-C-VI da CPRM (http://geosgb.cprm.gov.br/) e em Marini e Botelho (1986). O quadro amarelo no centro da figura destaca o Maciço Pedra Branca e indica a posição da área representada na figura 7.	24
Fig. 7. Mapa geológico do Maciço Pedra Branca, com destaque para as diferentes fases das suítes g1 e g2 e as zonas greisenizadas geradas pelos pulsos mais tardios da Suíte g2 (pbg2d). Modificado de Botelho et al. (2005).	25
Fig. 8. Mapa geológico do Maciço Pedra Branca, com ênfase na Zona da Bacia, mostrando a localização das amostras coletadas durante o mapeamento geológico. Adaptado de Botelho et al. (2005).	28
Fig. 9. Fotomicrografias da biotita albita granito (pbg2d) menos alterado. A: agredados de cristais prismáticos de albita (Ab) envolvidos pela matriz fina de micas de alteração (Mi). B: Aspecto geral da rocha evidenciando a relação dos minerais. Cristal prismático de muscovita (Ms) de origem magmática parcialmente preservado com o início da substituição por matriz de mica fina (Mi). Feldspato potássico (Kfs) com pertitas na forma de manchas, devido a processo de exsolução da fase albitica. C: Resto esquelético de biotita (Bt) envolto por cristais de quartzo (Qz), processo de corrosão e substituição de biotita (Bt) por muscovita (Ms). D: Intercrescimento de cristais de albita (Ab) com inclusão por mica de alteração (Mi) mostrando o início do processo metassomático. E: Cristal de cassiterita (Cst) precoce, em contato com quartzo (Qz), albita (Ab) fraturada, muscovita (Ms) e matriz de mica (Mi) fina. F: Micas de alteração (Mi) substituindo os minerais essenciais da rocha, o que irá culminar na desestabilização dos feldspatos nas fases mais tardias.	30

Fig. 10. Fotomicrografias da fácies de alteração 2 do biotita albita granito (pbg2d). **A:** Cristais de microclínio (Mic) intercrescidos e geminados, representando os maiores cristais da rocha. Observa-se geminação xadrez bem definida e inclusões de biotita (Bt) primária e quartzo (Qz). Os minerais estão com processo de sericitização moderado. **B:** Cristais de albita (Ab) imersos na matriz fina, com visíveis bordas corroídas e inclusões dessa matriz com mica (Mi) de alteração. **C:** Cristal de muscovita (Ms) preservado, imerso na matriz fina, bordado por cristais de quartzo, mostrando a evolução do processo hidrotermal, com o preenchimento de espaços vazios. **D:** Restos de albita (Ab) bastante fraturados, sendo consumidos pelas micas de alteração (Mic). Observa-se biotita (Bt) primária inclusa em quartzo. **E:** Cristais associados de microclínio (Mic), feldspato potássico (Kfs) pertítico, e quartzo (Qz), com matriz fina com crescimento intergranular. **F:** Cristal parcialmente preservado de muscovita (Ms) e agregados de micro cristais de fengita, envoltos por cristais de quartzo (Qz). 32

Fig. 11. Fotomicrografias da fase de alteração 3 do biotita albita granito (pbg2d). **A:** Cristais de quartzo, com extinção ondulante, imersos na matriz fina constituída de micas (Mi) de alteração. **B:** Resquícios de cristal de muscovita (Ms) primária, quase que totalmente substituído pela mica (Mi) de alteração. **C:** Matriz fina de mica (Mi) preenchendo o espaço intergranular de quartzo. **D:** Cristais alongados e estirados de quartzo (Qz) neoformados, seguindo a orientação da foliação das micas (Mi). **E:** Cristais de quartzo (Qz) imersos na matriz fina, e em contato com microlamelas de muscovita (Ms). **F:** Cristais pequenos de muscovita (Ms) em lamelas, imersos na matriz fina, associados a quartzo (Qz). 34

Fig. 12. Diagrama com a classificação dos greisens identificados na Zona da Bacia Kühne et al. (1972, em Stemprok, 1987). 36

Fig. 13. Fotomicrografias dos greisens da Zona da Bacia. **A:** Aspecto geral do topázio-muscovita-mica greisen, com topázio (Tpz) e lamelas de muscovita (Ms) imersos na matriz de microcristais de micas (Mi) hidrotermais foliadas e orientadas. A lâmina possui uma espessura maior de 30 µm, causando cores de interferência mais altas do que as esperadas nos minerais. **B:** Aspecto da matriz da rocha com estrutura ultramilonítica, formada por micas (Mi) hidrotermais. **C:** Clorita-quartzo-mica-greisen com cristal de Muscovita (Ms) primário sendo consumido por clorita (Chl) e outras micas (Mi) de alteração. **D:** Cristais de topázio (Tpz) com forma subarredondada imerso na matriz de mica (Mi) e muscovita (Ms). **E:** Greisen mineralizado a cassiterita (Cst) associada aos minerais de origem hidrotermal. **F:** Muscovitas (Ms) apresentando corrosão e deformação, sendo consumida pela matriz muito fina da rocha 37

Fig. 14. Diagrama de classificação das micas da Zona da Bacia, baseado no esquema de Tischendorf et al (2007). **Tab. 1.** Quadro paragenético com as fases minerais por alteração do pbg2d e greisens da Zona da Bacia. 39

Fig. 15. Diagrama de isocon baseado na Eq.1 com o par de amostra original Ci^O (PB188- alteração 1) e Ci^A PBFC-011-01(alteração 2). Todos os elementos estão em porcentagem. 47

Fig. 16. Gráfico com perdas e ganhos em porcentagem de elementos maiores, calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC-011-01(alteração 2). 48

Fig. 17. Gráfico com perdas e ganhos em ppm de elementos traços e ETrs calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC-011-01(alteração 2). 48

Fig. 18. Diagrama de isocon baseado na Eq. 1 com o par de amostra original Ci^O PB188 (alteração 1) e Ci^A PBFC009-03 (alteração 3). Todos os elementos estão em porcentagem. 49

Fig. 19. Gráfico com perdas e ganhos em porcentagem de elementos maiores, calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC009-03 (alteração 3). 50

Fig. 20. Gráfico com perdas e ganhos em ppm de elementos traços e ETrs calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC009-03 (alteração 3). 50

Fig. 21. Diagrama de isocon baseado na Eq. 1 com o par de amostra original Ci^O PB188 (alteração 1) e Ci^A PBFC008-02 (Greisens). Todos os elementos estão em porcentagem. 51

Fig. 22. Gráfico com perdas e ganhos em porcentagem de elementos maiores calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC008-02 (Greisens).....	52
Fig. 23. Gráfico com perdas e ganhos em ppm de elementos traços e ETrs calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC008-02 (Greisens)	52
Fig. 24. Perfil esquemático das zonas mineralizadas primárias do Maciço Pedra Branca, com ênfase para o depósito da Zona da Bacia e depósitos adjacentes do Maciço Pedra Branca. Adaptado de Botelho e Rossi (1988).....	57
Fig. 25. Distribuição dos greisens associados ao Granito Água Boa no diagrama triangular de Kühne et al. (1972, modificado). Gs1: greisen 1; Gs2: greisen 2; ZS: zona rica em siderofilita; ZT: zona rica em topázio; ZF: zona rica em fengita; ZC: zona rica em clorita (Borges et al., 2003). Círculos vermelhos apresentam em plotagem aproximada os greisens da Zona da Bacia descritos nesse trabalho.....	58
Fig. 26. Os complexos de anéis anorogênicos mesozoicos da Nigéria, onde ocorrem os depósitos de Sn (Kinnaird, 2016)	60

ÍNDICE DE TABELAS

ARTIGO:

Tab. 1. Quadro paragenético com as fases minerais por alteração do pbg2d e greisens da Zona da Bacia.	38
Tab. 2. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas da alteração 1 do pbg2d da Zona da Bacia	41
Tab. 3. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas da alteração 2 do pbg2d da Zona da Bacia	42
Tab. 4. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas da alteração 3 do pbg2d da Zona da Bacia	44
Tab. 5. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas dos greisens da Zona da Bacia	45

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Apresentação e justificativa

O Maciço Pedra Branca está localizado no setor norte da zona externa da Faixa Brasília, e é caracterizado por hospedar mineralizações de estanho associadas a rochas de composição granítica. As mineralizações de cassiterita, o principal minério de estanho, ocorrem predominantemente em granitos greisenizados das suítes Pedra Branca g1 e g2, constituindo dois principais depósitos no maciço, denominados de “Faixa Placha” e “Zona da Bacia” (Botelho, 1984; Marini e Botelho, 1986; Botelho, 1992).

Apesar da importância econômica e geológica, visto a ocorrência do minério de estanho que levou a uma ativa exploração mineral na região nas décadas de 1970 e 1980, e da interessante gênese e variação geoquímica dessas mineralizações, há poucos estudos que tenham se dedicado a uma melhor caracterização do depósito da Zona da Bacia, deixando, portanto, lacunas no conhecimento relacionadas às características em escala de detalhe, das paragéneses hidrotermais, química mineral e química de rocha total.

A Zona da Bacia já foi brevemente caracterizada em trabalhos anteriores, sendo descrita por Botelho e Rossi (1988) como um setor com área aproximada de 10 km², com ocorrência de muscovita greisens mineralizados como corpos lenticulares alongados em sentido NNE, enriquecidos em cassiterita e fluorita, acompanhadas por vezes de quartzo, topázio, magnetita e hematita.

Os sistemas do tipo greisen são caracterizados por mineralogias abundantes e diversificadas, e têm uma grande significância nos estudos de exploração mineral. Essas assembleias minerais são registros de uma intensa atividade hidrotermal, responsável pelas acumulações de Sn, W, Mo, Ta, Nb, ETR e Zr distribuídos no mundo todo. A origem das mineralizações de greisen parte de um cenário onde tem-se o alojamento de corpos ígneos graníticos tipo S (Chappell & White, 1974), ou tipo A, anorogênicos. Os granitos de assinatura tipo A, foram classificados por Loiselle & Wones (1979) como rochas composicionalmente alcalinas, com baixos teores de CaO e Al₂O₃, altos teores de Fe / Fe + Mg e K₂O/Na₂O, e K₂O absoluto, são granitos enriquecidos em elementos traços incompatíveis (ETRs, Zr, Nb, Ta), caracterizados pelas altas concentrações de zircão e monazita, altos teores de Nb, Ga, Y e, presença de fluorita na matriz e anomalias em Zn e Sn. São granitos particularmente férteis e geram os depósitos de cassiterita..

O enriquecimento em B, F e em Li, é comum nos magmas graníticos evoluídos e é

frequentemente considerado um dos principais fatores na formação dos depósitos de estanho. Minerais como topázio, fluorita, turmalina e micas litiníferas são diagnósticos dos granitos evoluídos portadores de metais raros. Portanto, as províncias estaníferas podem ser distinguidas quanto ao enriquecimento dos sistemas em boro ou flúor (Pollard *et al.*, 1987).

No Brasil há a ocorrência de depósitos estaníferos em greisens em diversas regiões, com destaque para Província estanífera de Pitinga, um depósito de classe mundial, com até 363 milhões de toneladas de minério disseminado (Bastos Neto, *et al.*, 2009). No cenário internacional, os depósitos nigerianos descritos por Kinnaird (1985; 2016) possuem características similares com a Província estanífera de Góias.

No depósito da Zona da Bacia essas mineralizações estão associadas ao magmatismo de granitos anorogênicos, com um sistema rico em F-Li. Diante do que já se encontra na literatura, é de interesse a elaboração de um modelo descritivo e conceitual, capaz de proporcionar informação a respeito da geoquímica e os processos que formaram este depósito. Com o intuito de contribuir para um melhor conhecimento dos greisens que hospedam mineralizações estaníferas em granitos evoluídos, este estudo irá detalhar a mineralogia e química mineral dos greisens da Zona da Bacia, aprofundando-se na discussão do processo e evolução da alteração hidrotermal, baseado, na química mineral das micas e da química de rocha total dos constituintes desse depósito. Dessa forma, serão aprimorados os modelos metalogenéticos já formulados, contribuindo para o avanço de modelos prospectivos que possam ser aplicados não só na região de estudo, mas também em outras regiões de características geológicas e metalogenéticas semelhantes.

1.2 Objetivos

O trabalho aqui proposto visa, de forma geral, caracterizar do ponto de vista mineralógico, geoquímico e petrológico as rochas greisenizadas e mineralizadas da Zona da Bacia do Maciço Pedra Branca. Especificamente, os objetivos desenvolvidos na realização desse trabalho consistiram em:

- Determinar as principais paragêneses minerais das rochas greisenizadas e dos greisens.
- Determinar as composições químicas das rochas greisenizadas mediante análises de rocha total, a fim de realizar uma comparação com as rochas encaixantes não alteradas e determinar assim quais foram as espécies químicas introduzidas e retiradas durante o hidrotermalismo.

- Determinar as composições químicas das principais fases minerais das rochas greisenizadas mediante análises de química mineral, a fim de determinar os padrões de zonação química existentes no sistema hidrotermalizado.

- Integrar os dados obtidos para estabelecer a história evolutiva de formação do sistema hidrotermal, e refinar seu modelo metalogenético associado.

1.3 Localização e acesso

A área de estudo está localizada no nordeste do estado de Goiás, nos arredores do Município de Nova Roma. O acesso se dá, partindo de Brasília, através da rodovia BR-010 até a cidade de Teresina de Goiás, daí segue-se pela GO-241, passando por Aurominas. O percurso total é de aproximadamente 400 km (Fig. 1).

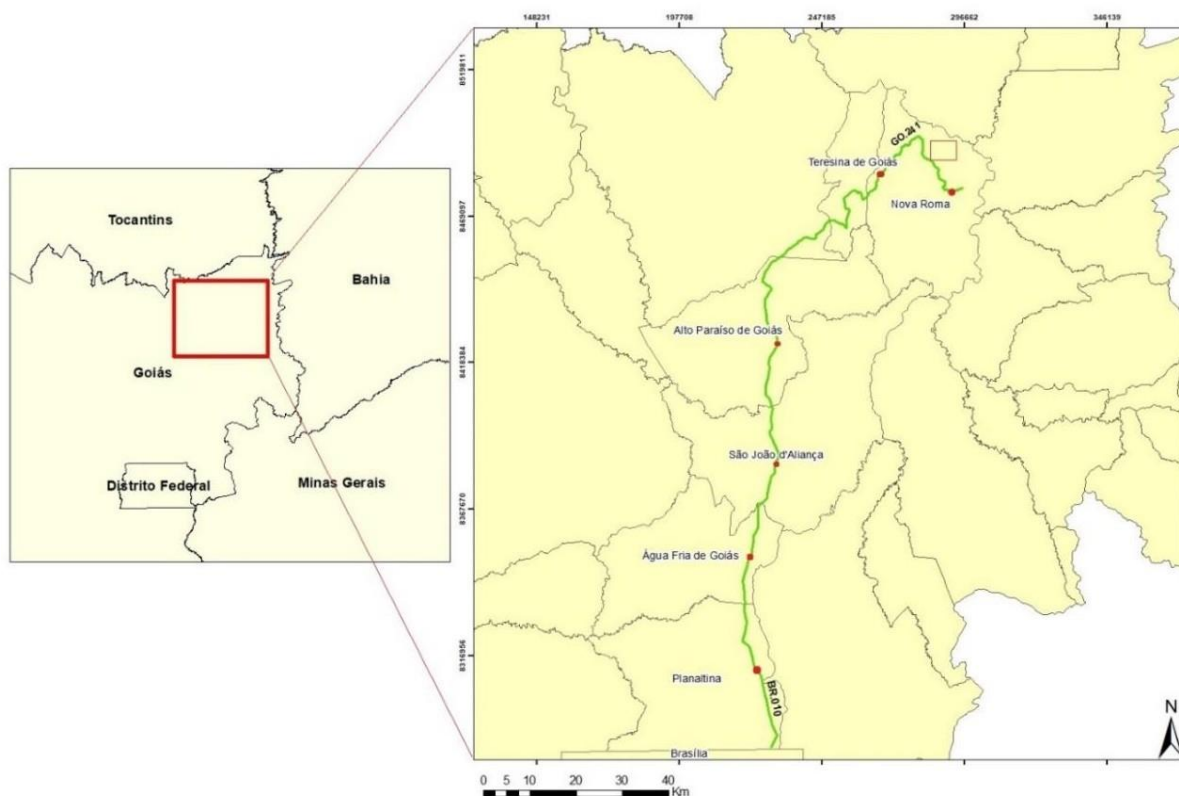


Fig. 1. Localização da área de estudo com o principal acesso.

A Província estanífera do Goiás é composta por quatro subprovíncias Proterozóicas: Rio Paranã, Rio Tocantins, Pirénopolis-Goianésia e Ipameri (Marini e Botelho, 1986). Nas subprovíncias Paranã e Rio Tocantins há ocorrência de granitos do Paleo/Neoproterozóico, de alta importância econômica. A subprovíncia Paranã (Fig. 3) é constituída majoritariamente pelos Maciços Soledade, Pedra Branca, Mocambo, Mangabeira, Mendes e Sucuri (plútons pertencentes à Suíte Pedra Branca), dispostos em serras isoladas ao longo do nordeste de Goiás, onde as mineralizações de cassiterita, o principal minério de estanho, ocorrem associadas tanto a granitos greissenizados das suítes Pedra Branca g1 e g2, quanto a granitos e pegmatitos pertencentes às fases magmáticas tardias da Suíte Aurumina (Botelho, 1984; Marini e Botelho, 1986; Botelho, 1992; Botelho et al., 1999).

O Maciço Pedra Branca corresponde à área tipo da Suíte Pedra Branca, constituída por dois grupos de rochas graníticas denominados de suítes g1 e g2, que compreendem granitos tipo A, com características geoquímicas distintas (Alvarenga *et al.*, 2007). Ambas as suítes são intrusivas tanto em paragneisses e xistos da Formação Ticunzal, com idade de 2.16 a 2.19 Ga (Cuadros *et al.*, 2017b), quanto em granitos e tonalitos peraluminosos da Suíte Aurumina, com idade de 2.12 a 2.15 Ga (Cuadros *et al.*, 2017a). Os granitos da Suíte g1 foram datados em ~1.78 Ga mediante TIMS U-Pb em zircão (Pimentel *et al.*, 1991). Para a Suíte g2, embora mais jovem do que a Suíte g1 pelas relações de campo, ainda não foi obtida uma datação robusta que permita conhecer sua idade.

O Maciço Pedra Branca possui importantes zonas mineralizadas em estanho, e é considerado um dos maciços graníticos com alto potencial econômico dentro da Província estanífera de Goiás. As principais mineralizações estão hospedadas no setor de cúpula (hoje parcialmente erodida), denominado de Zona da Bacia, constituído pelo granito mais evoluído e mineralizador do maciço (pbg2d), que compreende granitos albitizados e greissenizados, e greisens com mica verde. Ocorre também mineralizações hospedadas em zonas de fratura, que é o caso da Faixa Placha, com granitos greissenizados e greisens com siderofilita e topázio. Essas áreas contêm altas concentrações de cassiterita, sendo talvez a mais rica da região (Botelho, 1992).

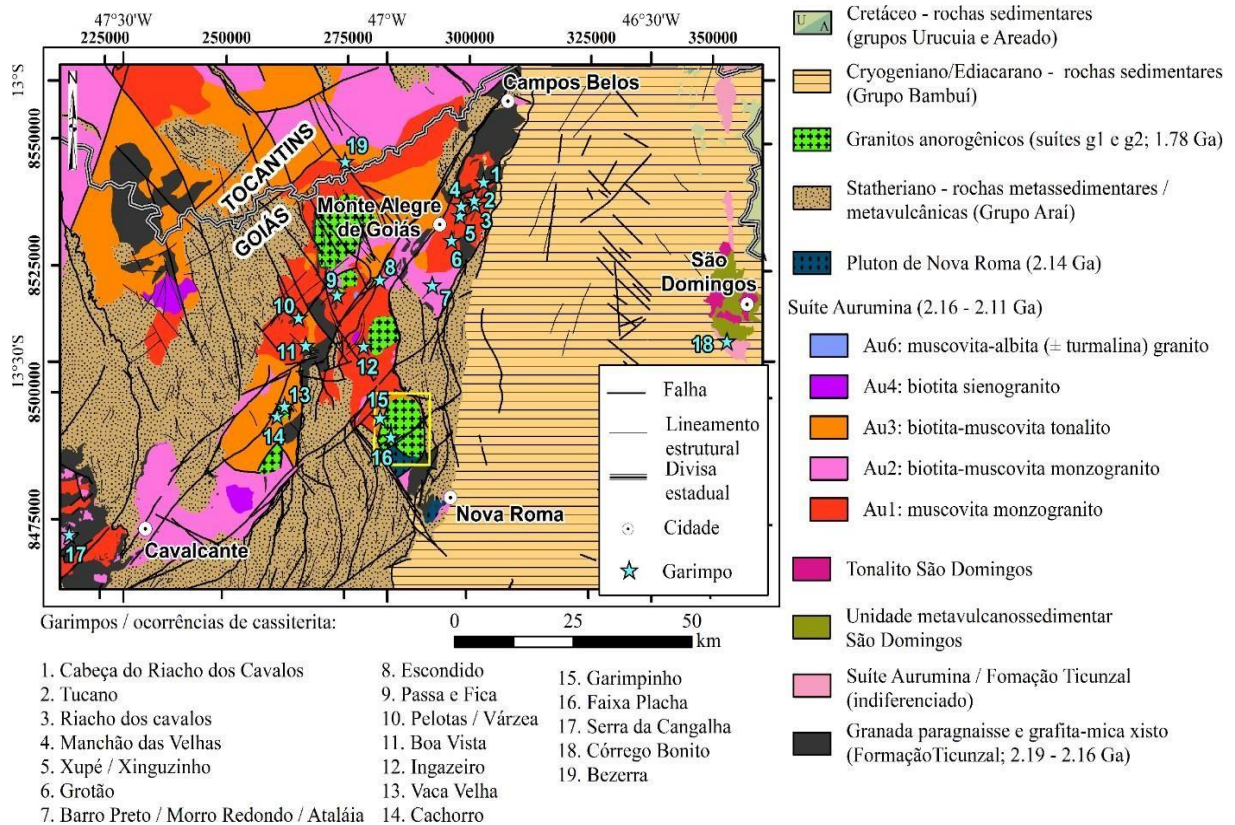


Fig. 3. Mapa geológico e localização de garimpos de cassiterita da sub-província Paranã. Baseado nas folhas SD.23, SD.23-V-C-III, SD.23-VC-V e SD.23-V-C-VI da CPRM (<http://geosgb.cprm.gov.br/>) e em Marini e Botelho (1986). O quadro amarelo no centro da figura destaca o Maciço Pedra Branca e indica a posição da área representada na figura 4.

2.2 Depósito ‘Zona da Bacia’

O depósito de estanho da Zona da Bacia (Fig. 4), área foco investigada nesse estudo, é caracterizado por possuir uma das mais importantes zonas mineralizadas do Maciço Pedra Branca. É constituído pelo granito da família g2, classificado por Botelho (1984) em fácies pbg2d, considerado o granito mais evoluído, e o responsável pelo processo de mineralização.

Essa região consiste em um setor com área aproximada de 10 km², caracterizada por muscovita greisens mineralizados com corpos lenticulares alongados em sentido NNE, enriquecidos em cassiterita e fluorita acompanhadas por vezes de quartzo, topázio, magnetita e hematita (Botelho e Rossi, 1988). É possível, ainda, encontrar veios de espessura e continuidade métricas, compostos de quartzo e fluorita. Localmente, a cassiterita ocorre de forma mais disseminada em granitos albitizados e greisenizados junto a quartzo e fluorita, com ou sem a presença de mica litínifera e magnetita. A cassiterita da Zona da Bacia apresenta comumente coloração castanha escura e granulometria média a fina, com frequentes

exsoluções de columbita/tantalita e inclusões de ilmenita, magnetita e rutilo (Botelho, 1984; Botelho e Rossi, 1988; Botelho, 1992).

Em um dos primeiros estudos realizados na região, Botelho (1984) deixa claro a dificuldade de encontrar um padrão controlador das mineralizações, visto que estas estão dispostas de forma caótica e heterogênea, apresentando relações não sistemática ao longo do depósito, dificultando também o avanço nos trabalhos de prospecção. Botelho (1984) sugere ainda, de forma hipotética, a partir de relações de campo, que estas mineralizações estejam controladas estruturalmente, onde foliações NNE foram interpretadas como produto do último evento regional de deformação, posterior à formação das mineralizações, o que teria resultado em uma reorientação local dos sistemas mineralizados mais antigos NE e NW dentro da Zona da Bacia.

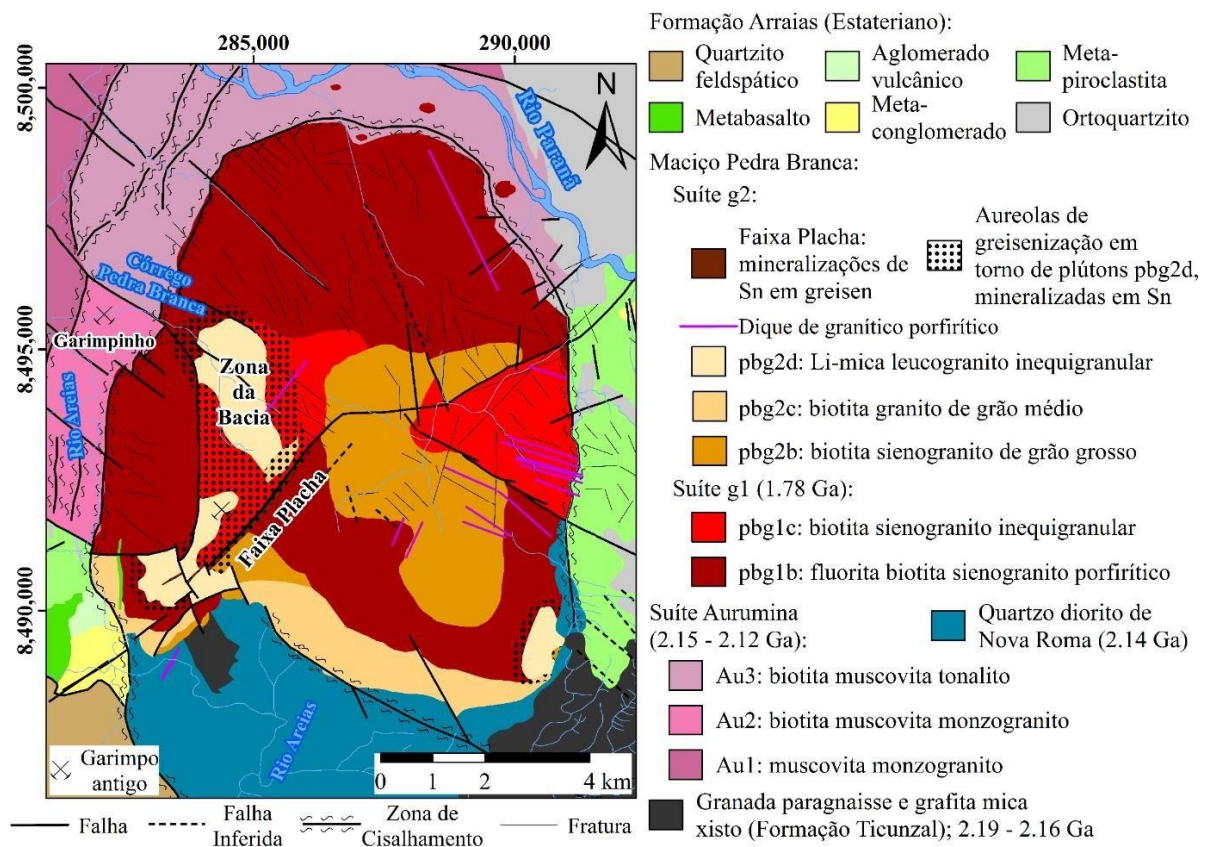


Fig. 4. Mapa geológico do Maciço Pedra Branca, com destaque para as diferentes fases das suítes g1 e g2 e as zonas greisenizadas geradas pelos pulsos mais tardios da Suíte g2 (pbg2d). Modificado de Botelho et al. (2005).

Capítulo 3 – Materiais e métodos

Para este estudo, foram amostrados de forma sistemática granitos greisenizados e greisens de antigas cavas de garimpo, a fim de selecionar rochas com diferentes graus e assembleias de alteração. Para compor essa pesquisa, foram utilizadas 42 lâminas delgadas polidas para análises petrográficas, sendo selecionadas 11 para análise de química mineral por meio de microsonda eletrônica (EPMA), e 13 amostras de rocha total para análise litogeoquímica de elementos maiores e traços. Todas as análises foram realizadas nos laboratórios da Universidade de Brasília, com exceção das análises de litogeoquímica que foram realizadas no laboratório *ALS ltd*, e de análises inéditas cedidas da tese de doutorado de Botelho (1992), realizadas na Universidade de Paris VI, e no Laboratório de geologia da École des Mines de Saint-Étienne, na França.

3.1 Microsonda eletrônica (EPMA)

As análises de química mineral foram realizadas no Laboratório de Microsonda eletrônica da Universidade de Brasília, com a finalidade de determinar de forma quantitativa as principais composições elementares de micas. Para isso utilizou-se microsonda eletrônica JEOL JXA-8230, que possui 5 espectrômetros WDS. As condições analíticas consistiram em 15,0 kV de tensão de aceleração, 10 nA de corrente de feixe sob pressão de vácuo de 4×10^{-4} MPa., e diâmetro do feixe de 5 μm para cristais de micas médias a grossas, e 10 μm para micas na matriz fina. Os tempos de contagem de todos os elementos foi de 10 segundos no pico, e 5 segundos nas posições para leitura do *background*. Por meio da calibração de um programa analítico, foram obtidos dados quantitativos dos elementos: Na, Mg, F, Al, Si, Cl, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ba e Rb. O Li, não detectado pela microsonda, foi calculado a partir das equações propostas por Tischendorf *et al.*, (2004), onde $\text{Li}_2\text{O} = (0.289 \cdot \text{SiO}_2) - 9.658$ para micas com $\text{Al}_2\text{O}_3 < 26$ e $\text{F} > 4$, e $\text{Li}_2\text{O} = 0.3935 \times \text{F}^{1,326}$ para micas com $\text{Al}_2\text{O}_3 > 26$ e $\text{F} < 4$. Correções de interferência foram executadas em todos os casos necessários. Para as micas analisadas, as fórmulas foram calculadas e normalizadas na base de 22 cargas de cátions.

Análises inéditas de química mineral realizadas durante a tese de doutorado de Botelho (1992), e cedidas pelo mesmo, foram utilizadas nesta pesquisa. Essas análises foram realizadas na Universidade de Paris VI, utilizando-se uma microsonda eletrônica CAMECA SX50, com

15,0 kV de tensão de aceleração e tempo de contagem de 10 segundos nos picos para os elementos principais. F, Zn, Sn e Rb foram contados por 15 segundos. Os padrões para esses elementos traços foram: flúor-CaF₂; zinco-ZnS; estanho-SnO₂; rubídio-CaAl₂ (SiO₃)₄ com 4% de Rb.

3.2 Geoquímica de elementos maiores e traços

As amostras para análise litogeoquímica de rocha total foram pulverizadas em panela de ágata e enviadas para o Laboratório ALS GLOBAL Ltd. No total 13 amostras entre granitos greisenizados e greisens foram selecionadas, e seguiram a rotina analítica ME-MS81d. Os conteúdos de elementos maiores e menores foram determinados por meio de ICP-AES em 2 g de amostra moída e homogeneizada após fusão com metaborato/tetraborato de lítio e digestão em HNO₃ diluído. As perdas por ignição foram medidas por diferença em peso após combustão a 1000°C. As concentrações dos ETR e dos elementos traço foram determinadas com ICP-MS aplicando a mesma preparação usada na rotina de elementos maiores e menores. Os resultados foram reportados como porcentagens em peso dos óxidos com limites médios de detecção (LMD) de 0.01 %. Todo o ferro nas amostras foi reportado como Fe₂O₃. Os LMD para as análises de elementos traço foram de 0.01 ppm (Cs, Tb, Ho, Tm e Lu), 0.02 ppm (Pr e Eu), 0.03 ppm (Sm, Er e Yb), 0.05 ppm (Gd, Dy, Th e U), 0.1 ppm (La, Ce, Nd, Hf, Nb, Ta, Sr e Y), 0.2 ppm (Rb), 0.3 ppm (Nd), 0.5 ppm (Ba) e 2 ppm (Zr). Neste trabalho também constam dados de litogeoquímica de rocha total obtidos a partir de análises realizadas no Laboratório ACME, onde a rotina analítica e padrões definidos se assemelham ao descrito acima.

Os demais dados aqui usados, foram obtidos a partir de Botelho (1992), os quais foram levantados no Laboratório de geologia da École des Mines de Saint-Étienne, na França. Essas análises foram desenvolvidas utilizando técnicas de ICP-AES e XRF. As análises por fluorescência de raios-x (XRF) consistiram na utilização de um espectrômetro PHILIPS PW1404. Os conteúdos de elementos principais foram determinados após fusão em tetraborato de lítio, e os elementos traços foram analisados em pastilhas de pó prensadas, com correção feita a partir de medidas de intensidade do pico de Compton. As análises de ICP-AES foram realizadas utilizando um Espectrômetro duplo JOBIN-YVON JY70, e os teores dos elementos principais foram medidos a partir de solução gerada por decomposição de triácidos (HCL, HNO₃, HF) em Savillex.

Capítulo 4 – Artigo

ASPECTOS GEOQUÍMICOS E PETROLÓGICOS DAS MINERALIZAÇÕES TIPO GREISEN ASSOCIADAS ÀS FÁCIES MAIS EVOLUÍDAS DOS GRANITOS NA “ZONA DA BACIA” DO MACIÇO PEDRA BRANCA, GOIÁS.

Vivian M. Bandeira¹, Federico A. Cuadros¹, Nilson F. Botelho¹

¹ Instituto de Geociências, Universidade de Brasília (IG-UnB).

Abstract

The Basin Zone deposit is located in the Pedra Branca Massif, northeast of the state of Goiás. The study area is inserted in the northern portion of the Tin Province of Goiás, and is characterized by hosting Sn mineralizations associated with rocks of granitic composition. These mineralizations occur in greisens and greisenized granites, formed from metasomatic events responsible for chemically and mineralogically altering the original granitic rock. This work deals with the mineralogical, geochemical and petrological characterization of the rocks of the Basin Zone, with the objective of determining the mineral phases, mineralogical assemblage and evolution of each zone of hydrothermal alteration of the deposit. Petrographic analyzes allowed classifying 4 facies of hydrothermal alteration: alteration 1, alteration 2, alteration 3 and greisens, constituted mainly by quartz, albite, potassium feldspar, and in stages with more advanced hydrothermal process, by alteration micas, topaz, cassiterite and fluorite. Mineral chemistry data in micas, obtained from electron microprobe (EPMA), show that the process of metasomatic evolution of biotite albite granite to greisen generates Fe-rich micas as a product, which transitions to a mica enriched in Al, Li and K. The geochemical mass balance performed through whole rock litho-geochemistry was able to analyze the behavior of the elements in each alteration facies, showing which elements entered and left the system during hydrothermalism. The chemical mobility studies showed that during the greisenization process, a large part of the mineralogy of the granite albite biotite was replaced by the mineralogy of the greisens. It was observed that the elements that acquired mass during the process were Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO , MnO , Rb, Sn, Cs, Ba, Ta, Nb and Ga while the elements SiO_2 , Na_2O , Zr, Y and W had the most expressive losses during the alteration. The results presented together with the existing literature, lead us to the conclusion that the deposit of the Basin Zone is of type A granitic association, of late/post magmatic origin, with mineralizations hosted in greisens mineralized to Sn. It is a Li-F system, and its mineralization occurs within the granitic dome itself, through the magmatic activity of the Pb2d granite, which is considered the most evolved and differentiated of the Massif, leading the fluids enriched in rare metals and Sn to the dome zone, generating mineralization with zones of intense concentration of cassiterite varying to disseminated and sterile zones. The studies confirm that the greisen-type mineralizations of the Basin Zone have genesis and chemical

and mineralogical characteristics similar to those already described in the literature for other deposits, such as the greisens of the Pitinga Tin Province and the Nigerian tin deposits.

Keywords: Basin Zone; greisens; hydrothermal alteration; Tin Province of Goiás.

1. Introdução

O Maciço Pedra Branca está localizado no setor norte da zona externa da Faixa Brasília, e é caracterizado por hospedar mineralizações de estanho associadas a rochas de composição granítica. As mineralizações de cassiterita, o principal minério de estanho, ocorrem predominantemente em granitos greisenizados das suítes Pedra Branca g1 e g2, constituindo dois principais depósitos no maciço, denominados de “Faixa Placha” e “Zona da Bacia” (Botelho, 1984; Marini e Botelho, 1986; Botelho, 1992).

Apesar da importância econômica e geológica, visto a ocorrência do minério de estanho que levou a uma ativa exploração mineral na região nas décadas de 1970 e 1980, e da interessante gênese e variação geoquímica dessas mineralizações, há poucos estudos que tenham se dedicado a uma melhor caracterização do depósito da Zona da Bacia, deixando, portanto, lacunas no conhecimento relacionadas às características em escala de detalhe, das paragêneses hidrotermais, química mineral e química de rocha total.

A Zona da Bacia já foi brevemente caracterizada em trabalhos anteriores, sendo descrita por Botelho e Rossi (1988) como um setor com área aproximada de 10 km², com ocorrência de muscovita greisens mineralizados como corpos lenticulares alongados em sentido NNE, enriquecidos em cassiterita e fluorita, acompanhadas por vezes de quartzo, topázio, magnetita e hematita.

Os sistemas do tipo greisen são caracterizados por mineralogias abundantes e diversificadas, e têm uma grande significância nos estudos de exploração mineral. Essas assembleias minerais são registros de uma intensa atividade hidrotermal, responsável pelas acumulações de Sn, W, Mo, Ta, Nb, ETR e Zr distribuídos no mundo todo. A origem das mineralizações de greisen parte de um cenário onde tem-se o alojamento de corpos ígneos graníticos tipo S (Chappell & White, 1974), ou tipo A, anorogênicos. Os granitos de assinatura tipo A, foram classificados por Loiselle & Wones (1979) como rochas composicionalmente alcalinas, com baixos teores de CaO e Al₂O₃, altos teores de Fe / Fe + Mg e K₂O/Na₂O, e K₂O absoluto, são granitos enriquecidos em elementos traços incompatíveis (ETRs, Zr, Nb, Ta),

caracterizados pelas altas concentrações de zircão e monazita, altos teores de Nb, Ga, Y e ETRs, presença de fluorita na matriz e anomalias em Zn e Sn. São granitos particularmente férteis e geram os depósitos de cassiterita..

O enriquecimento em B, F e em Li, é comum nos magmas graníticos evoluídos e é frequentemente considerado um dos principais fatores na formação dos depósitos de estanho. Minerais como topázio, fluorita, turmalina e micas litíferas são diagnósticos dos granitos evoluídos portadores de metais raros. Portanto, as províncias estaníferas podem ser distinguidas quanto ao enriquecimento dos sistemas em boro ou flúor (Pollard *et al.*, 1987).

No Brasil há a ocorrência de depósitos estaníferos em greisens em diversas regiões, com destaque para Província estanífera de Pitinga, um depósito de classe mundial, com até 363 milhões de toneladas de minério disseminado (Bastos Neto, *et al.*, 2009). No cenário internacional, os depósitos nigerianos descritos por Kinnaird (1985; 2016) possuem características similares com a Província estanífera de Góias.

No depósito da Zona da Bacia essas mineralizações estão associadas ao magmatismo de granitos anorogênicos, com um sistema rico em F-Li. Diante do que já se encontra na literatura, é de interesse a elaboração de um modelo descritivo e conceitual, capaz de proporcionar informação a respeito da geoquímica e os processos que formaram este depósito. Com o intuito de contribuir para um melhor conhecimento dos greisens que hospedam mineralizações estaníferas em granitos evoluídos, este estudo irá detalhar a mineralogia e química mineral dos greisens da Zona da Bacia, aprofundando-se na discussão do processo e evolução da alteração hidrotermal, baseado, na química mineral das micas e da química de rocha total dos constituintes desse depósito. Dessa forma, serão aprimorados os modelos metalogenéticos já formulados, contribuindo para o avanço de modelos prospectivos que possam ser aplicados não só na região de estudo, mas também em outras regiões de características geológicas e metalogenéticas semelhantes.

2. Contexto Geológico

2.1 Geologia Regional

O Maciço Pedra Branca localiza-se nos arredores do Município de Nova Roma, ao nordeste do estado de Goiás. A área de estudo está inserida na porção norte da Província estanífera de Goiás, situada no contexto geológico da Província Tocantins (Fig. 5). Essa região é composta por um bloco crustal de embasamento paleoproterozoico coberto parcialmente por seqüências de rift levemente dobradas (Grupo Araí; ~ 1.77 Ga), as quais são por sua vez cobertas por rochas sedimentares neoproterozoicas do Grupo Paranoá que na parte leste são empurradas sobre o Grupo Bambuí (Fuck *et al.*, 1994; Dardenne, 2000; Pimentel *et al.*, 2004; Valeriano *et al.*, 2008).

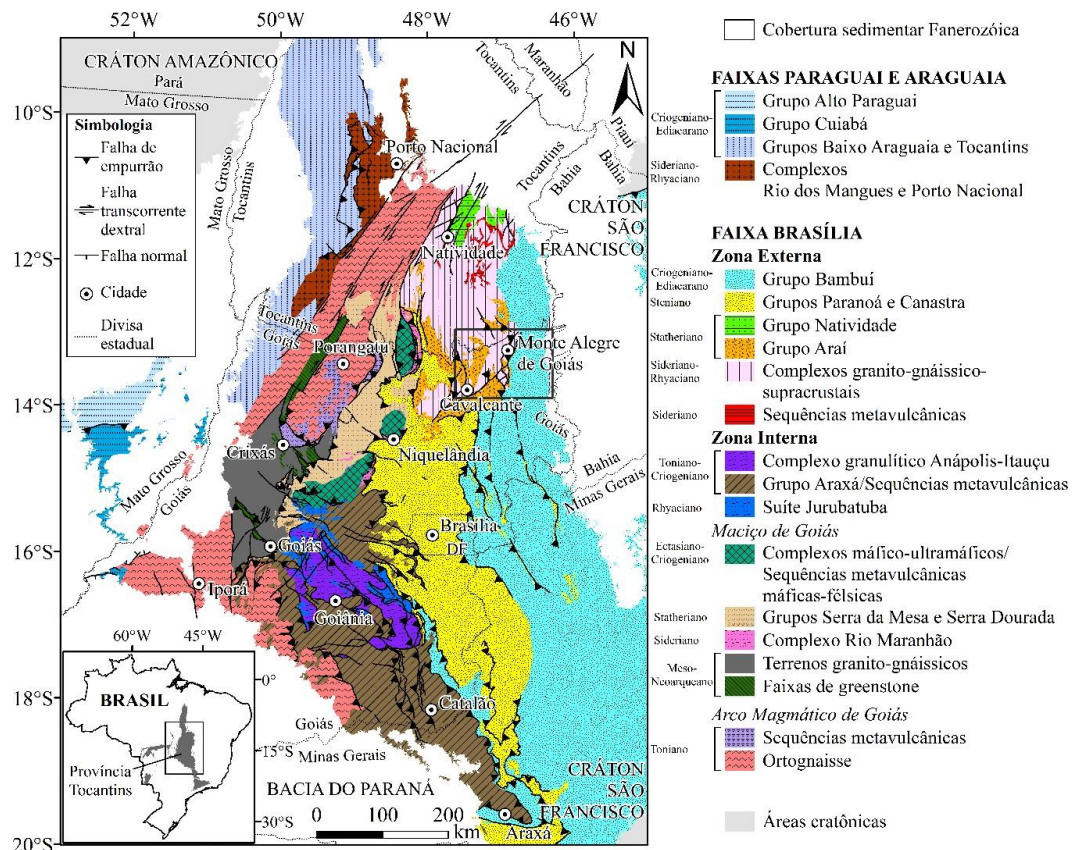


Fig. 5. Mapa geológico simplificado da Faixa Brasília. Modificado de Pimentel *et al.* (2004) com ajuda das cartas geológicas ao milionésimo do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM: <http://geosgb.cprm.gov.br/>). A área de estudo está localizada no contexto do retângulo localizado na porção NE da faixa, o qual é detalhado na figura 6.

A Província estanífera do Goiás é composta por quatro subprovíncias Proterozóicas: Rio Paranã, Rio Tocantins, Pirénopolis-Goianésia e Ipameri (Marini e Botelho, 1986). Nas subprovíncias Paranã e Rio Tocantins há ocorrência de granitos do Paleo/Neoproterozóico, de alta importância econômica. A subprovíncia Paranã (Fig. 6) é constituída majoritariamente pelos Maciços Soledade, Pedra Branca, Mocambo, Mangabeira, Mendes e Sucuri (plútons pertencentes à Suíte Pedra Branca), dispostos em serras isoladas ao longo do nordeste de Goiás, onde as mineralizações de cassiterita, o principal minério de estanho, ocorrem associadas tanto

a granitos greissenizados das suítes Pedra Branca g1 e g2, quanto a granitos e pegmatitos pertencentes às fases magmáticas tardias da Suíte Aurumina (Botelho, 1984; Marini e Botelho, 1986; Botelho, 1992; Botelho *et al.*, 1999).

O Maciço Pedra Branca corresponde à área tipo da Suíte Pedra Branca, constituída por dois grupos de rochas graníticas denominados de suítes g1 e g2, que compreendem granitos tipo A, com características geoquímicas distintas (Alvarenga *et al.*, 2007). Ambas as suítes são intrusivas tanto em paragneisses e xistos da Formação Ticunzal, com idade de 2.16 a 2.19 Ga (Cuadros *et al.*, 2017b), quanto em granitos e tonalitos peraluminosos da Suíte Aurumina, com idade de 2.12 a 2.15 Ga (Cuadros *et al.*, 2017a). Os granitos da Suíte g1 foram datados em ~1.78 Ga mediante TIMS U-Pb em zircão (Pimentel *et al.*, 1991). Para a Suíte g2, embora mais jovem do que a Suíte g1 pelas relações de campo, ainda não foi obtida uma datação robusta que permita conhecer sua idade. O Maciço Pedra Branca possui importantes zonas mineralizadas em estanho, e é considerado um dos maciços graníticos com alto potencial econômico dentro da Província estanífera de Goiás. As principais mineralizações estão hospedadas no setor de cúpula (hoje parcialmente erodida), denominado de Zona da Bacia, constituído pelo granito mais evoluído e mineralizador do maciço (pbg2d), que compreende granitos albitizados e greisenizados, e greisens com mica verde. Ocorre também mineralizações hospedadas em zonas de fratura, que é o caso da Faixa Placha, com granitos greisenizados e greisens com siderofilita e topázio. Essas áreas contêm altas concentrações de cassiterita, sendo talvez a mais rica da região (Botelho, 1992).

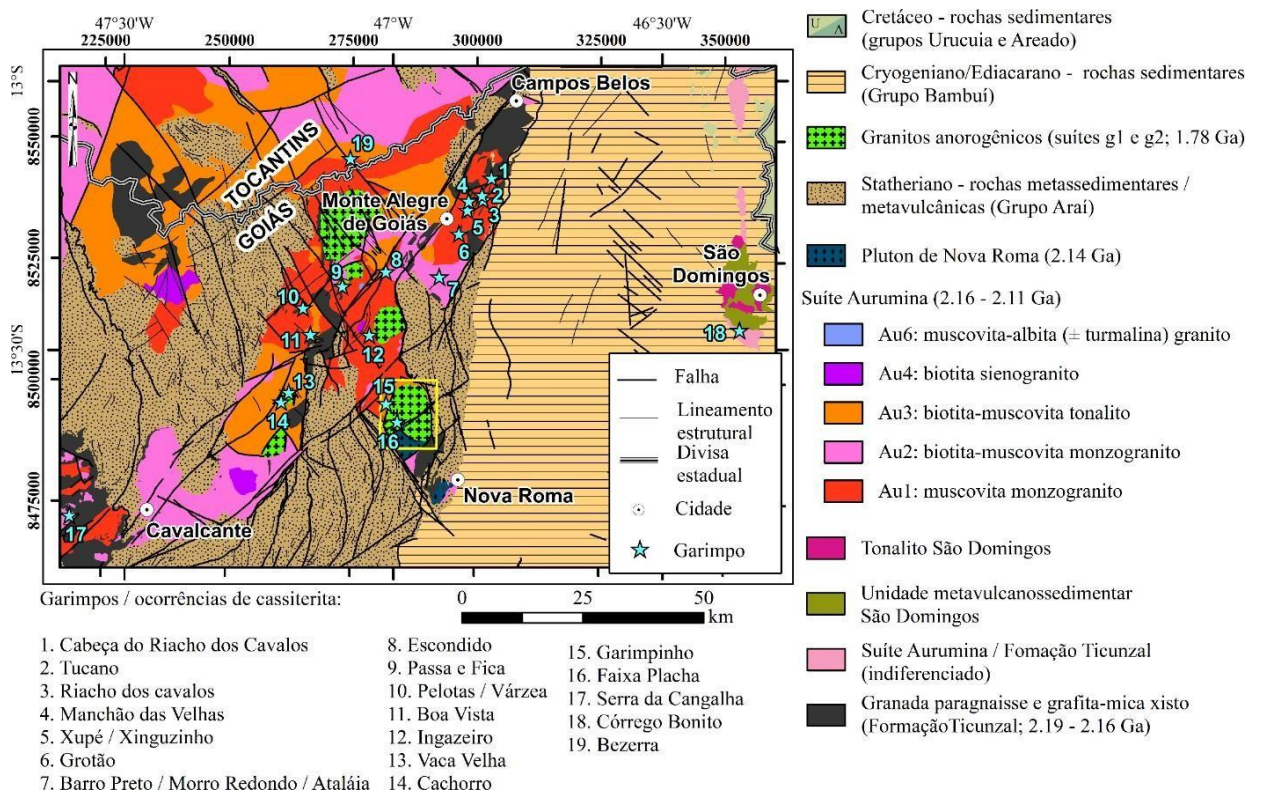


Fig. 6. Mapa geológico e localização de garimpos de cassiterita da sub-província Paranã. Baseado nas folhas SD.23, SD.23-V-C-III, SD.23-V-C-V e SD.23-V-C-VI da CPRM (<http://geosgb.cprm.gov.br/>) e em Marini e Botelho (1986). O quadro amarelo no centro da figura destaca o Maciço Pedra Branca e indica a posição da área representada na figura 7.

2.2 Depósito “Zona da Bacia”

O depósito de estanho da Zona da Bacia (Fig. 7), área foco investigada nesse estudo, é caracterizado por possuir uma das mais importantes zonas mineralizadas do Maciço Pedra Branca. É constituído pelo granito da família g2, classificado por Botelho (1984) em fácies pbg2d, considerado o granito mais evoluído, e o responsável pelo processo de mineralização.

Essa região consiste em um setor com área aproximada de 10 km², caracterizada por muscovita greisens mineralizados com corpos lenticulares alongados em sentido NNE, enriquecidos em cassiterita e fluorita acompanhadas por vezes de quartzo, topázio, magnetita e hematita (Botelho e Rossi, 1988). É possível, ainda, encontrar veios de espessura e continuidade métricas, compostos de quartzo e fluorita. Localmente, a cassiterita ocorre de forma mais disseminada em granitos albitizados e greisenizados junto a quartzo e fluorita, com ou sem a presença de mica litínifera e magnetita. A cassiterita da Zona da Bacia apresenta comumente coloração castanha escura e granulometria média a fina, com frequentes exsoluções de columbita/tantalita e inclusões de ilmenita, magnetita e rutilo (Botelho, 1984; Botelho e Rossi, 1988; Botelho 1992).

Em um dos primeiros estudos realizados na região, Botelho (1984) deixa claro a dificuldade de encontrar um padrão controlador das mineralizações, visto que estas estão dispostas de forma caótica e heterogênea, apresentando relações não sistemática ao longo do depósito, dificultando também o avanço nos trabalhos de prospecção. Botelho (1984) sugere ainda, de forma hipotética, a partir de relações de campo, que estas mineralizações estejam controladas estruturalmente, onde foliações NNE foram interpretadas como produto do último evento regional de deformação, posterior à formação das mineralizações, o que teria resultado em uma reorientação local dos sistemas mineralizados mais antigos NE e NW dentro da Zona da Bacia.

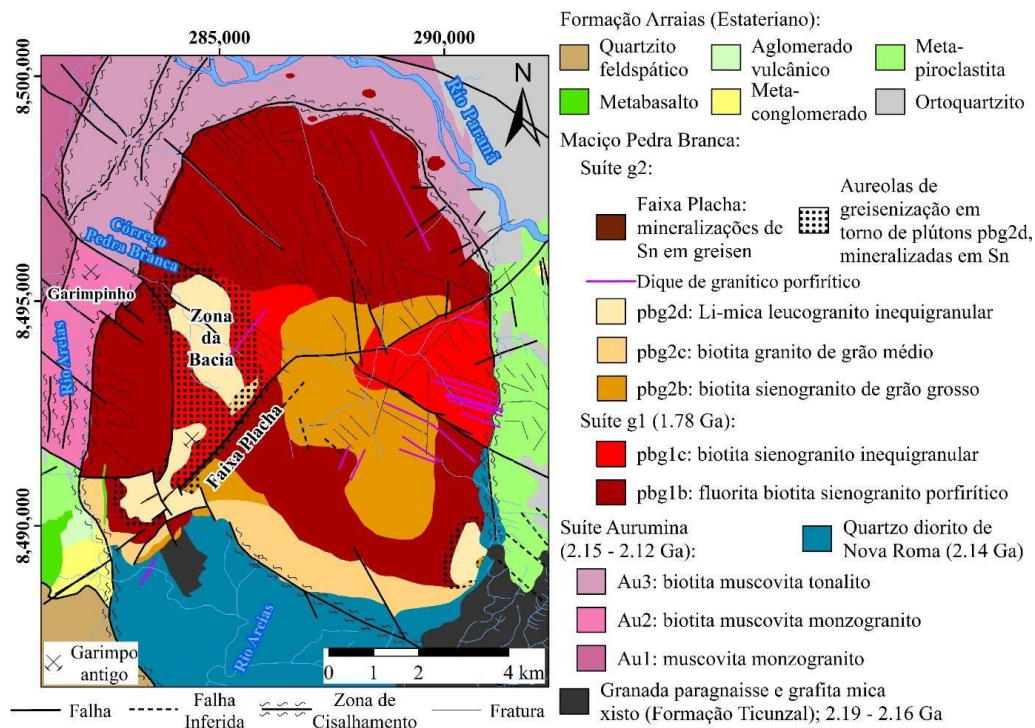


Fig. 7. Mapa geológico do Maciço Pedra Branca, com destaque para as diferentes fases das suítes g1 e g2 e as zonas greisenizadas geradas pelos pulsos mais tardios da Suíte g2 (pbg2d). Modificado de Botelho et al. (2005).

3. Materiais e métodos

Para este estudo, foram amostrados de forma sistemática granitos greisenizados e greisens de antigas cavas de garimpo, a fim de selecionar rochas com diferentes graus e assembleias de alteração. Para compor essa pesquisa, foram utilizadas 42 lâminas delgadas polidas para análises petrográficas, sendo selecionadas 11 para análise de química mineral por meio de microsonda eletrônica (EPMA), e 13 amostras de rocha total para análise litogeoquímica de elementos maiores e traços. Todas as análises foram realizadas nos laboratórios da Universidade de Brasília, com exceção das análises de litogeoquímica que foram realizadas no laboratório *ALS ltd*, e de análises inéditas cedidas da tese de doutorado de Botelho (1992), realizadas na Universidade de Paris VI, e no Laboratório de geologia da École des Mines de Saint-Étienne, na França.

3.1 Microsonda eletrônica (EPMA)

As análises de química mineral foram realizadas no Laboratório de Microsonda eletrônica da Universidade de Brasília, com a finalidade de determinar de forma quantitativa as principais composições elementares de micas. Para isso utilizou-se microsonda eletrônica JEOL JXA-8230, que possui 5 espectrômetros WDS. As condições analíticas consistiram em 15,0 kV de tensão de aceleração, 10 nA de corrente de feixe sob uma pressão de vácuo de 4×10^{-4} MPa., e diâmetro do feixe de 5 μm para cristais de micas médias a grossas, e 10 μm para micas na matriz fina. Os tempos de contagem de todos os elementos foi de 10 segundos no pico, e 5 segundos nas posições para leitura do *background*. Por meio da calibração de um programa analítico, foram obtidos dados quantitativos dos elementos: Na, Mg, F, Al, Si, Cl, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ba e Rb. O Li, não detectado pela microsonda, foi calculado a partir das equações propostas por Tischendorf *et al.*, (2004), onde $\text{Li}_2\text{O} = (0.289 \cdot \text{SiO}_2) - 9.658$ para micas com $\text{Al}_2\text{O}_3 < 26$ e $\text{F} > 4$, e $\text{Li}_2\text{O} = 0.3935 \times \text{F}^{1,326}$ para micas com $\text{Al}_2\text{O}_3 > 26$ e $\text{F} < 4$. Correções de interferência foram executadas em todos os casos necessários. Para as micas analisadas, as fórmulas foram calculadas e normalizadas na base de 22 cargas de cátions.

Análises inéditas de química mineral realizadas durante a tese de doutorado de Botelho (1992), e cedidas pelo mesmo, foram utilizadas nesta pesquisa. Essas análises foram realizadas na Universidade de Paris VI, utilizando-se uma microsonda eletrônica CAMECA SX50, com 15,0 kV de tensão de aceleração e tempo de contagem de 10 segundos nos picos para os elementos principais. F, Zn, Sn e Rb foram contados por 15 segundos. Os padrões para esses elementos traços foram: flúor- CaF_2 ; zinco- ZnS ; estanho- SnO_2 ; rubídio- $\text{CaAl}_2(\text{SiO}_3)_4$ com 4% de Rb.

3.2 Geoquímica de elementos maiores e traços

As amostras para análise litogeoquímica de rocha total foram pulverizadas em panela de ágata e enviadas para o Laboratório ALS GLOBAL Ltd. No total 13 amostras entre granitos greisenizados e greisens foram selecionadas, e seguiram a rotina analítica ME-MS81d. Os conteúdos de elementos maiores e menores foram determinados por meio de ICP-AES em 2 g de amostra moída e homogeneizada após fusão com metaborato/tetraborato de lítio e digestão

em HNO_3 diluído. As perdas por ignição foram medidas por diferença em peso após combustão a 1000°C . As concentrações dos ETR e dos elementos traço foram determinadas com ICP-MS aplicando a mesma preparação usada na rotina de elementos maiores e menores. Os resultados foram reportados como porcentagens em peso dos óxidos com limites médios de detecção (LMD) de 0.01 %. Todo o ferro nas amostras foi reportado como Fe_2O_3 . Os LMD para as análises de elementos traço foram de 0.01 ppm (Cs, Tb, Ho, Tm e Lu), 0.02 ppm (Pr e Eu), 0.03 ppm (Sm, Er e Yb), 0.05 ppm (Gd, Dy, Th e U), 0.1 ppm (La, Ce, Nd, Hf, Nb, Ta, Sr e Y), 0.2 ppm (Rb), 0.3 ppm (Nd), 0.5 ppm (Ba) e 2 ppm (Zr). Neste trabalho constam também dados de litogeoquímica de rocha total obtidos a partir de análises realizadas no Laboratório ACME, onde a rotina analítica e padrões definidos se assemelham aos descritos acima.

Os demais dados aqui usados, foram obtidos a partir de Botelho (1992), os quais foram levantados no Laboratório de geologia da École des Mines de Saint-Étienne, na França. Essas análises foram desenvolvidas utilizando técnicas de ICP-AES e XRF. As análises por fluorescência de raios-x (XRF) consistiram na utilização de um espectrômetro PHILIPS PW1404. Os conteúdos de elementos principais foram determinados após fusão em tetraborato de lítio. Elementos traços foram analisados em pastilhas de pó prensadas, com correção feita a partir de medidas de intensidade do pico de Compton. As análises de ICP-AES foram realizadas utilizando um Espectrômetro duplo JOBIN-YVON JY70, e os teores dos elementos principais foram medidos a partir de solução gerada por decomposição de triácidos (HCL , HNO_3 , HF) em Savillex.

4. Resultados

Durante as atividades de mapeamento geológico foram estudadas e coletadas amostras de cavas de garimpo e afloramentos que contemplam, principalmente o granito pbg2d, além de amostras das unidades pbg2c e pbg1c, que ocorrem em contato com o granito mineralizador da Zona da Bacia (Fig. 8). A área desse depósito é de interesse singular, com exposição de alterações hidrotermais que não seguem um padrão pré-determinado, caracterizadas por apresentarem os fenômenos metassomáticos atuantes em rochas graníticas. Os métodos utilizados nesse estudo, associados com a revisão da literatura, apoiaram a classificação de 4 estágios de alteração hidrotermal, que mostram a evolução e transição do processo de greisenização que se dá a partir de granitos menos alterados até o greisen mineralizado a estanho, podendo ser observado na Tab.1, a evolução paragenética com as fases minerais dessas rochas.

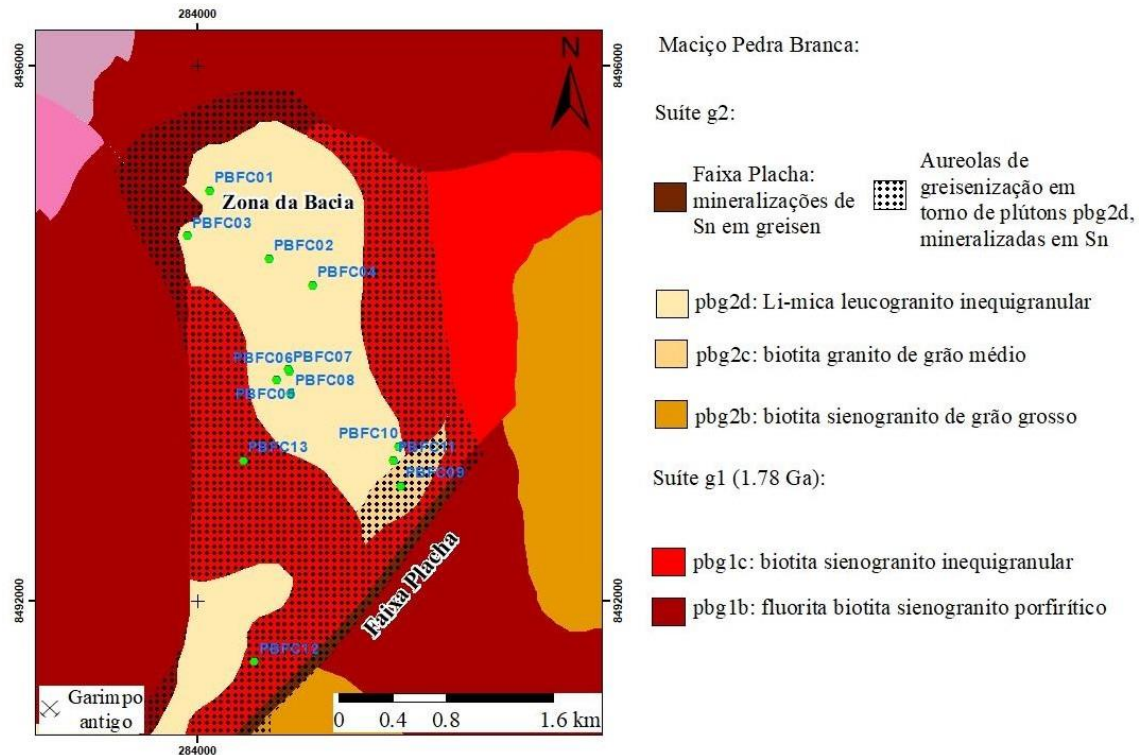


Fig. 8. Mapa geológico do Maciço Pedra Branca, com ênfase na Zona da Bacia, mostrando a localização das amostras coletadas durante o mapeamento geológico. Adaptado de Botelho et al. (2005).

4.1 Análise petrográfica

4.1.1 Alteração 1

A fase inicial do processo de alteração é constituída pela rocha menos alterada por eventos metassomáticos. Classificada em biotita albita granito de fácies pbg2d, é uma rocha leucocrática, com granulação média a grossa, com cristais subhédrais, e texturalmente holocristalina porfirítica, com fenocristais que destacam da matriz. Compõe-se essencialmente por quartzo ($\cong 33$ a 35%), albita ($\cong 26$ a 28%), feldspato potássico ($\cong 23$ a 25%), biotita ($\cong 5$ a 7%) e micas brancas ($\cong 3$ a 5%), e tem fluorita, cassiterita, zircão e minerais opacos como minerais acessórios.

O quartzo ocorre na forma de cristais anédricos, sendo alguns policristalinos, com microcristais medindo menos de 1 mm até cristais maiores com 14 mm, apresenta extinção ondulante característica em quase todos os cristais, ocorre pouco fraturado e está em contatos irregulares com cristais de plagioclásio, feldspatos e algumas micas (Fig. 9B e F). Observa-se também a inclusão de pequenos cristais de biotita e albita, além do crescimento de uma matriz muito fina, contendo micas muito fraturadas, que se desenvolve nas bordas dos cristais de quartzo, e ocupa espaços vazios entre os demais constituintes dessa rocha.

O plagioclásio com composição albitica ocorre de forma predominante comparada a outras fases de alteração desse depósito, o que marcou a fase precoce da atividade hidrotermal. Apresenta-se em sua maioria, bem preservado, na forma de cristais prismáticos alongados, ripiformes, com intercrescimento, medindo até 8 mm, com maclas polissintéticas bem definidas, caracterizando a geminação lei da albita (Fig.9D), e ocorrendo também em agregados de cristais menores e fraturados, imersos junto a matriz de micas finas (Fig.9A). Em cristais

maiores e bem definidos é possível ver a inclusão de microcristais micáceos. Sugere-se que esses cristais de albita estejam sendo consumidos pelo processo de alteração atuante, dando lugar a cristais de micas de composição variada, principalmente litiníferas.

O feldspato potássico é representado pelo microclínio e ortoclásio, e estão dispostos na forma de cristais tabulares euédricos a subédricos. Ocorre também em proporções menores e fraturados junto a matriz fina dessa rocha, variando de 0.6 mm a cristais maiores de 5 mm. Estes cristais estão em contatos difusos e irregulares, principalmente com cristais de albita. O microclínio ocorre em pequenas proporções, é bem definido pela suas maclas em xadrez, com as bordas de aspecto irregular devido a processos de exsolução. Observa-se também cristais de feldspato potássico com textura peritítica bem marcada na forma de manchas e veios, resultante da fase albítica exsolvida (Fig.9B). A sericitização ocorre em alguns cristais, gerando a transformação parcial para mica branca (Fig.9F).

A biotita varia de siderofilita a annita, possui coloração marrom acastanhado, e pleocroísmo marrom a amarelo claro, sendo mais presente do que no caso das demais alterações. Os cristais são anédrais, medindo até 8 mm, dispostos em lamelas ao longo da rocha, ocorrendo também como inclusões em feldspato e quartzo, além de constituir a matriz fina da rocha. Observa-se cristais em formas esqueletais e corroídas, intercrescidos em quartzo e feldspato (Fig.9C). A biotita nesta fase de alteração, constitui uma mica de origem primária, que provavelmente se alterou para muscovita nas fases de alteração mais tardias, como evidenciado pela rápida diminuição desse mineral em rochas com processo de greisenização mais avançado.

As micas brancas que ocorrem nessa fase variam entre muscovita e fengita e são características da atividade hidrotermal, marcando a zona de alteração micácea, e representando os minerais em maior volume na formação dos greisens. Ocorrem em cristais muito finos que constituem principalmente a matriz da rocha, em disposições foliadas e orientadas de agregados de cristais medindo menos de 1 mm, e junto com quartzo e feldspato fraturados, preenchendo espaços intergranulares. É comum encontrar essas micas inclusas em cristais de feldspatos potássicos e plagioclásios, evidenciando o processo de substituição parcial desses minerais. Observou-se também cristais de até 4 mm com forma prismática bem definida, tanto de muscovita como fengita, sendo consumidos pela matriz fina, o que sugere duas gerações desse mineral; uma de origem magmática e outra de origem hidrotermal (Fig.9B).

A fluorita ocorre em pequenos cristais medindo até 2 mm, com forma arredondada, subhédrica, em tons levemente lilás. Observou-se também de uma forma disseminada, associada à matriz fina da rocha, e preenchendo cavidades.

A cassiterita ocorre de forma rara nessa fácies, apresentando-se em cristais euédricos imersos na matriz fina da rocha, com coloração marrom-escuro e zonados. Sugere-se que seja uma cassiterita de origem magmática, devido a que sua ocorrência geralmente se dá em fácies tardias, ora no granito com alto grau de greisenização, ora no greisen propriamente dito (Fig. 9E).

O zircão ocorre em pequenos cristais de 2 mm, são anédricos, e ocorrem imersos na matriz da rocha, bastante fraturados. Observou-se efeitos de metamictização nesse mineral.

Os minerais opacos ocorrem na forma de óxidos e hidróxidos, principalmente hematita, e estão preenchendo cavidades entre grãos e espaços vazios.

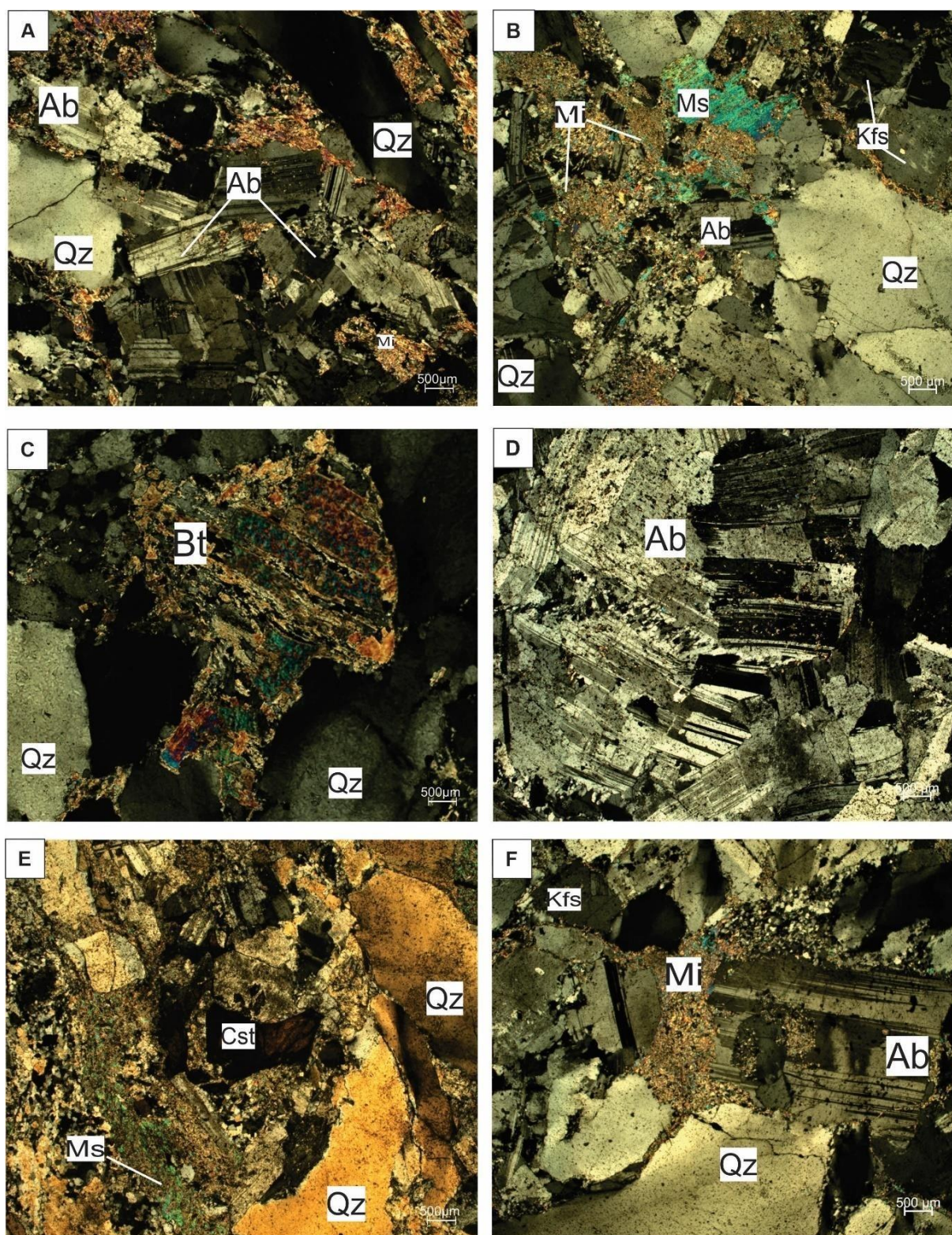


Fig. 9. Fotomicrografias da biotita albita granito (pbg2d) menos alterado. **A:** agredados de cristais prismáticos de albita (Ab) envolvidos pela matriz fina de micas de alteração (Mi). **B:** Aspecto geral da rocha evidenciando a relação dos minerais. Cristal prismático de muscovita (Ms) de origem magmática parcialmente preservado com o início da substituição por matriz de mica fina (Mi). Feldspato potássico (Kfs) com pertitas na forma de manchas, devido a processo de exsolução da fase albítica. **C:** Resto esquelético de biotita (Bt) envolto por cristais de quartzo (Qz), processo de corrosão e substituição de biotita (Bt) por muscovita (Ms). **D:** Intercrescimento de cristais de albita (Ab) com inclusão por mica de alteração (Mi) mostrando o início do processo metassomático. **E:** Cristal de cassiterita (Cst) precoce, em contato com quartzo (Qz), albita (Ab) fraturada, muscovita (Ms) e matriz de mica (Mi) fina. **F:** Micas de alteração (Mi) substituindo os minerais essenciais da rocha, o que irá culminar na desestabilização dos feldspatos nas fases mais tardias.

4.1.2 Alteração 2

A alteração do biotita albita granito é marcada pela diminuição parcial de albita e aumento gradativo de microclínio e micas. Esta fase é considerada o estágio mais significativo do início do processo de greisenização, devido a substituição de plagioclásio por microclínio e mica branca. Nesse estágio, a rocha apresenta um aspecto leucocrático, com granulação média a grossa, sendo composta essencialmente por quartzo ($\cong 35$ a 37%), feldspato potássico ($\cong 31$ a 33%) e albita (18 a 20%). Como minerais de alteração tem micas brancas ($\cong 6$ a 8%) e biotita ($<2\%$), e como minerais acessórios fluorita, e minerais opacos.

O quartzo ocorre como cristais anédricos, de tamanhos variados, medindo até 10 mm, está em contato irregular e intercrescido com cristais de microclínio e albita (Fig.10E). Observa-se bordas corroídas, associados a matriz fina constituída de minerais micáceos, além de inclusões de pequenos cristais de biotita.

O microclínio é o feldspato potássico mais expressivo nesta fácies, e apresenta os cristais com maiores dimensões da rocha, medindo até 18 mm. É anédrico, podendo ser tabular, com maclas em xadrez bem definidas, e alguns cristais intercrescidos e geminados (Fig. 10A). As bordas são corroídas e irregulares, e o mineral associa-se a cristais de albita, quartzo e ortoclásio. Pontualmente foi observado a inclusão de pequenos cristais de albita. O processo de sericitização é intenso, com alguns cristais sendo quase totalmente consumidos pela matriz fina formada por micas brancas (Fig. 10A). Em alguns cristais observa-se pertitas em forma de manchas, feição recorrente nessas rochas.

O plagioclásio de composição albitica é bem menos frequente nesta fácies, ocorrendo em pequenos dimensões, com tamanho de até 4 mm. Se dispõem em agregados de cristais prismáticos, bastante fraturados, com maclas polissintéticas bem definidas (Fig.10D). É comum a associação com o microclínio, seja em inclusões ou como intercrescimento dos cristais, evidenciando a relação do processo de substituição entre esses dois minerais.

As micas brancas variam de muscovita a fengita, e em sua maioria estão constituindo a matriz dessa rocha. Ocorrem em microcristais menores que 1 mm, encontram-se foliadas e por vezes orientadas, dispostas por toda rocha, preenchendo espaços intergranulares e fraturas, ou aparecendo como inclusões em cristais (Fig. 10E). Pontualmente, ocorrem cristais bem formados de muscovita de até 3 mm, os quais estão bordeados principalmente por quartzo e feldspato (Fig. 10C e 10F). Essas micas estão associadas a todos os minerais essenciais que constituem a rocha, e são provenientes da muscovitização de cristais de biotita, e também da alteração hidrotermal de outros minerais.

A biotita ocorre em proporções bem menores quando comparado à fácies de alteração 1. São cristais anédricos, lamelares, e que medem menos de 2 mm. Os cristais encontrados nessa rocha só ocorrem na forma de inclusões em cristais de quartzo e microclínio (Fig.10A). Estes cristais que chegam até esta etapa do processo de greisenização, correspondem provavelmente a resíduos de biotita primária que ainda não passou pela alteração para muscovita.

Os minerais opacos ocorrem de forma pontual, preenchendo espaços vazios entre critais maiores de quartzo e microclínio.

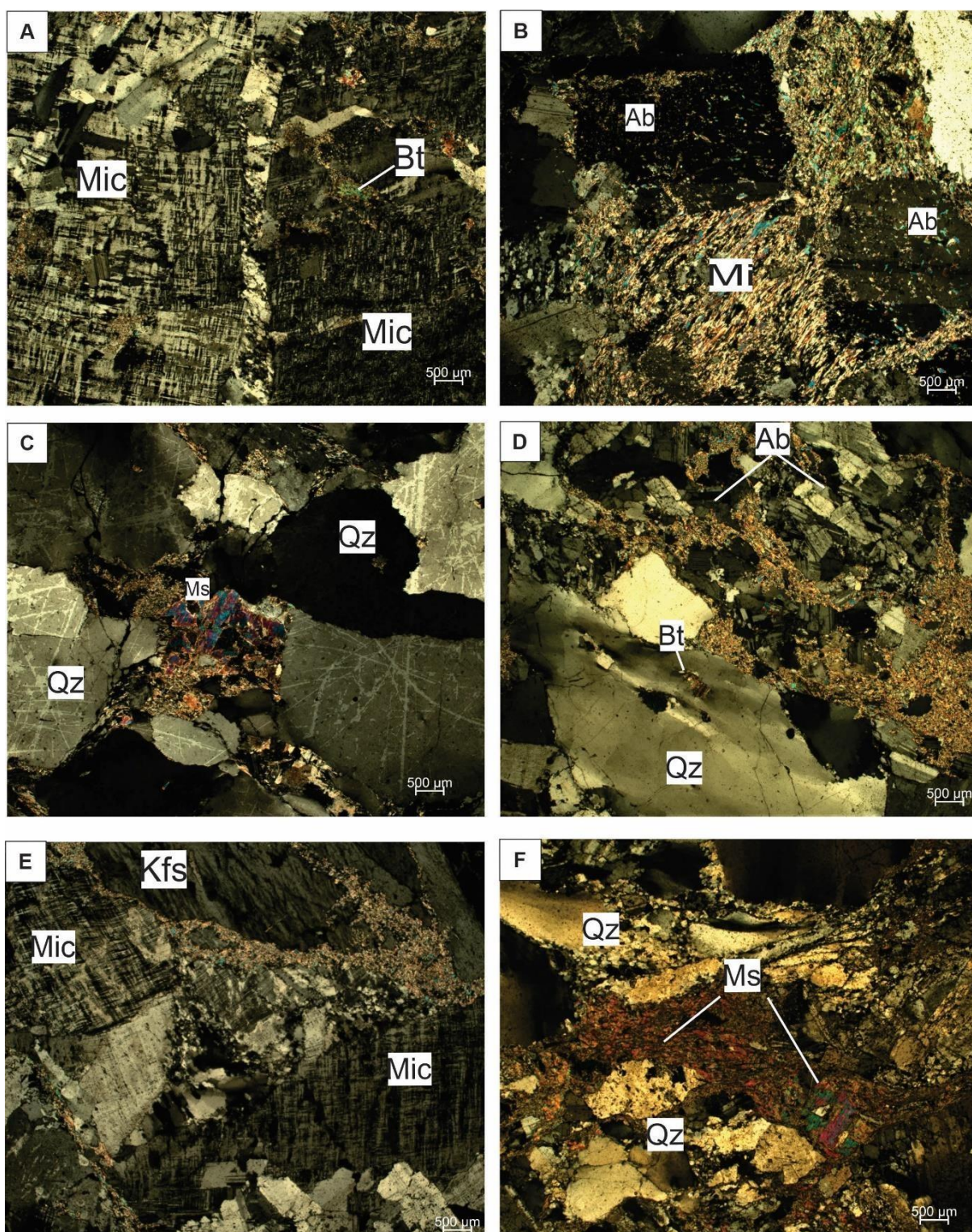


Fig. 10. Fotomicrografias da fácies de alteração 2 do biotita albita granito (pbg2d). **A:** Cristais de microclínio (Mic) intercrescidos e geminados, representando os maiores cristais da rocha. Observa-se geminação xadrez bem definida e inclusões de biotita (Bt) primária e quartzo (Qz). Os minerais estão com processo de sericitização moderado. **B:** Cristais de albita (Ab) imersos na matriz fina, com visíveis bordas corroídas e inclusões dessa matriz com mica (Mi) de alteração. **C:** Cristal de muscovita (Ms) preservado, imerso na matriz fina, bordado por cristais de quartzo, mostrando a evolução do processo hidrotermal, com o preenchimento de espaços vazios. **D:** Restos de albita (Ab) bastante fraturados, sendo consumidos pelas micas de alteração (Mi). Observa-se biotita (Bt) primária incluída em quartzo. **E:** Cristais associados de microclínio (Mic), feldspato potássico (Kfs) peritítico, e quartzo (Qz), com matriz fina com crescimento intergranular. **F:** Cristal parcialmente preservado de muscovita (Ms) e agregados de micro cristais de fengita, envoltos por cristais de quartzo (Qz).

4.1.3 Alteração 3

Essa fácies do processo de alteração marca o estágio mais avançado da greisenização da rocha original antes de serem formados os greisens mineralizados. Nesse momento, com o progresso da atividade metassomática, a maioria dos feldspatos já foram desestabilizados e a mineralogia da rocha é constituída essencialmente por quartzo ($\cong 44$ a 46%), muscovita e micas de alteração ($\cong 42$ a 44%), podendo ter localmente cassiterita, fluorita e minerais opacos como minerais acessórios. Em geral, a rocha é foliada, leucocrática, de textura média a fina, inequigranular, e com cristais medindo até 12 mm.

O quartzo ocorre tanto na forma de fenocristais que destacam da matriz fina, quanto em agregados de pequenos cristais. Os fenocristais são bem característicos nessa fase, estão por toda rocha e medem entre 4 e 12 mm, são anédricos, possuem extinção ondulante característica, e ocorrem bordeando cristais parcialmente preservados de muscovita, associados a matriz fina da rocha (Fig.11A e F). É observado também, cristais na forma de agregados medindo até 2 mm; esses cristais em sua maioria estão estirados e seguindo a orientação principal da foliação, sendo possivelmente grãos recristalizados e neoformados, durante o processo de silicificação da rocha (Fig.11D).

A muscovita ocorre na forma de cristais prismáticos, lamelares, podendo medir até 6 mm, e também como cristais anédricos, aparentemente de muscovita magmática que está sendo substituída pela mica fina (Fig.11B). Observa-se estes cristais em sua maioria em contato com fenocristais de quartzo. A muscovita da matriz é uma mica muito fina, de alteração, bastante fraturada, com resquícios lamelares de muscovita primária (Fig.11E e F).

As micas formadas a partir do processo de alteração são muscovita, fengita, siderofilita e clorita. Estas micas ocorrem como microcristais em agregados foliados, e constituem a matriz muito fina do granito greisenizado, com coloração variando entre cinza e verde claro, e em contato com os demais cristais da rocha. As relações de contato mostram parcial substituição de cristais de quartzo e muscovita, evidenciando o processo de alteração dos minerais de origem magmática para dar lugar aos minerais de alteração (Fig.11C).

A cassiterita ocorre como pequenos cristais de até 2 mm, disseminados, associados a cristais de mica.

A fluorita ocorre disseminada em locais pontuais da rocha e também inclusas em cristais de quartzo. É uma fluorita de tonalidade lilás moderado, medindo menos que 1 mm, e associada a micas.

Os minerais opacos correspondem a hematita, preenchendo espaços vazios e fraturas, bordeando ocasionalmente os cristais da rocha.

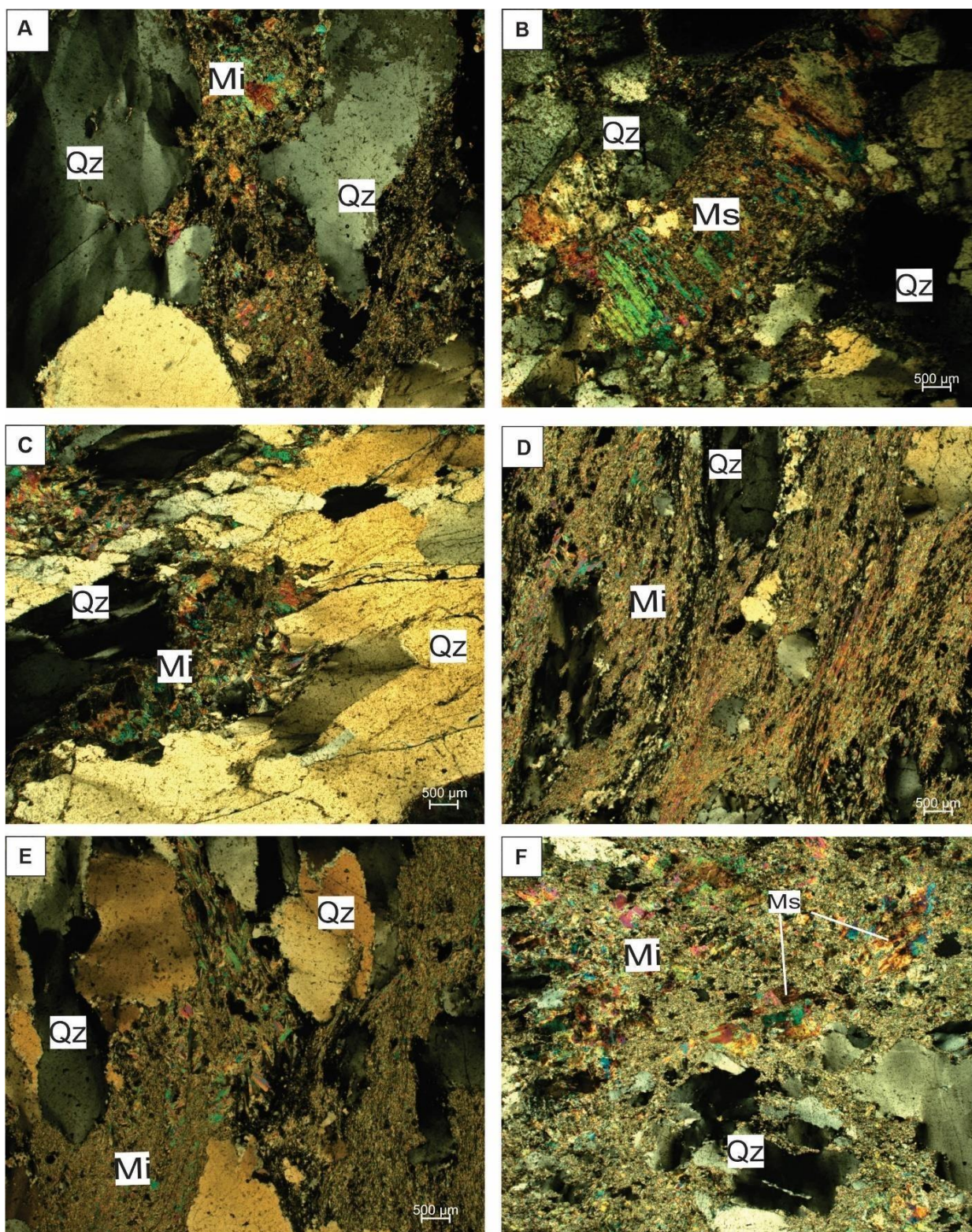


Fig. 11. Fotomicrografias da fase de alteração 3 do biotita albita granito (pbg2d). **A:** Cristais de quartzo, com extinção ondulante, imersos na matriz fina constituída de micas (Mi) de alteração. **B:** Resquícios de cristal de muscovita (Ms) primária, quase que totalmente substituído pela mica (Mi) de alteração. **C:** Matriz fina de mica (Mi) preenchendo o espaço intergranular de quartzo. **D:** Cristais alongados e estirados de quartzo (Qz) neoformados, seguindo a orientação da foliação das micas (Mi). **E:** Cristais de quartzo (Qz) imersos na matriz fina, e em contato com microlamelas de muscovita (Ms). **F:** Cristais pequenos de muscovita (Ms) em lamelas, imersos na matriz fina, associados a quartzo (Qz).

4.1.4 Greisens

Os greisens representam o estágio final do processo de greisenização, com a mineralogia da rocha formada essencialmente por minerais hidrotermais, produtos da alteração metassomática atuantes na rocha original.

Baseado nos aspectos petrográficos e na análise modal, os greisens foram classificados baseados em Kühne et al. (1972, *apud* Stempok, 1987) em: topázio-muscovita-mica greisen, muscovita-quartzo greisen, quartzo-muscovita greisen, quartzo-mica greisen, clorita-quartzo-mica-greisen e muscovita greisen (Fig. 12).

A assembleia dos greisens é constituída essencialmente de quartzo ($\cong$ 40 a 55%), muscovita, micas de composição variada: fengita, polilitionita, clorita e biotita ($\cong$ 35 a 60%) e topázio ($\cong$ 2 a 15%), podendo ter em quantidades variáveis os minerais acessórios de cassiterita e fluorita. Em geral os greisens são leucocráticos, com textura granular média a fina, e matriz da rocha formada por agregados de microcristais de mica $\pm$ quartzo, numa trama de foliação milonítica a ultramilonítica (Fig.13B), que pode ter cristais maiores de até 9 mm de muscovita, e ainda quartzo e topázio se destacando da matriz.

O quartzo ocorre em cristais estirados de até 3 mm, ou em agregados de pequenos cristais de até 2 mm, apresentando contatos irregulares entre si ou pontualmente com cristais de muscovita. Juntamente com as micas, compõe a matriz da rocha.

A muscovita é o mineral mais abundante das paragêneses dos litotipos dos greisens. Ocorre na forma de cristais bem desenvolvidos e preservados, e em agregados foliados de microcristais que formam a matriz da rocha (Fig.13A). Os cristais bem desenvolvidos são lamelares, anédricos, e medem até 9 mm, ocorrem imersos na matriz e em contatos pontuais com cristais de topázio. Em alguns casos a muscovita possui hábitos radiais e apresenta estiramentos, evidenciando feições de deformação (Fig.13F). Observou-se também sinal de corrosão desses cristais nos contatos com microcristais da matriz, indicando processo de substituição dos cristais mais preservados (Fig.13C). Sugere-se a ocorrência de duas gerações de muscovita; a de origem magmática e as de alteração.

As micas que ocorrem nos greisens são resultantes da atividade hidrotermal, produto do processo de greisenização que ocorreu na rocha original até gerar os greisens mineralizados. As micas ocorrem na forma de agregados de microcristais que formam a matriz da rocha, é de textura muito fina, seguindo uma foliação e orientação principal (Fig.13A), muitas vezes preenchendo espaços vazios e fraturas, e substituindo os demais cristais da rocha. Em sua maioria não podem ter sua identificação definida ao microscópio. Essas micas são de alteração, o que evidencia o processo de entrada e saída de elementos químicos ao longo do processo. Pontualmente, em poucas amostras desse estudo petrográfico de greisens foram encontrados cristais pequenos de menos de 2 mm de biotita, tanto inclusa em quartzo quanto de forma isolada, em meio a matriz micácea. Provavelmente trata-se de uma biotita primária que foi preservada, em vista que o mineral ocorre em fases precoces do processo de greisenização.

O topázio se dispõe em cristais subédricos a euédricos de até 4 mm, com forma subarredondada e bastante fraturados. Ocorre associado a cristais bem desenvolvidos de muscovita, e está imerso na matriz fina (Fig. 13D).

A cassiterita é de coloração amarronzada, e ocorre em cristais isolados medindo 4mm ou em agregados de cristais de até 1 mm de cristais euédricos a subédricos, bastante fraturados e,

em alguns casos, zonados. Apresenta contato com topázio, muscovita, quartzo e, ocasionalmente, com fluorita (Fig.13E).

A fluorita ocorre em proporções variáveis nos litotipos, apresentando cor lilás típica, e medindo aproximadamente 1 mm. Ocorre tanto em agregados isolados como preenchimento de interstícios entre grãos. A hematita é recorrente nos greisens, e caracteriza a lixiviação de ferro que percola espaços vazios e fraturas nessas rochas.

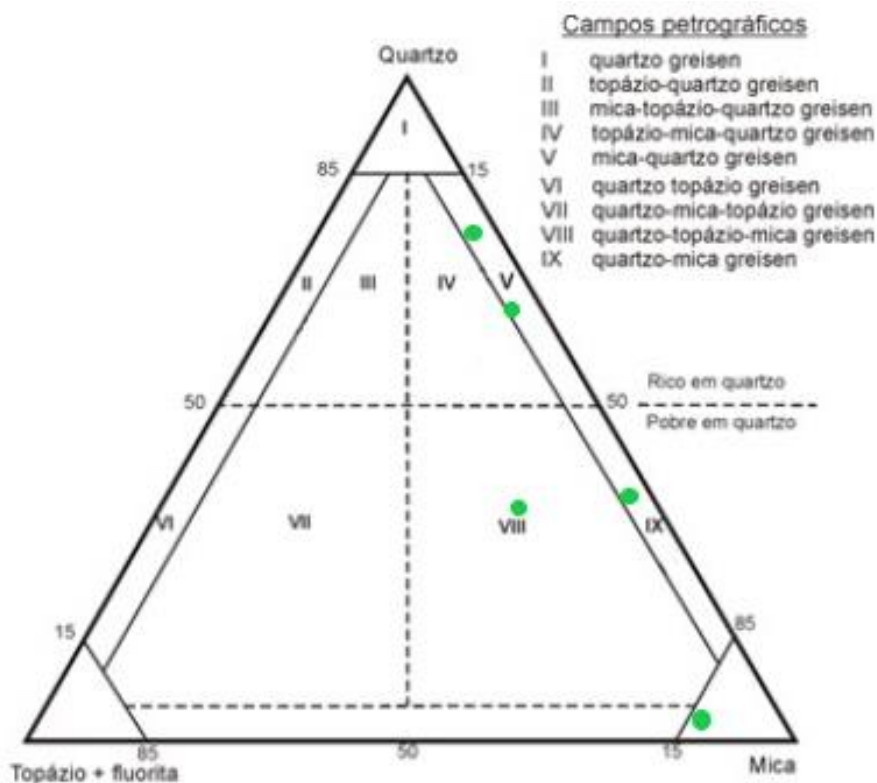


Fig.12. Diagrama com a classificação dos greisens identificados na Zona da Bacia Kühne et al. (1972, *apud* Stemprok, 1987).

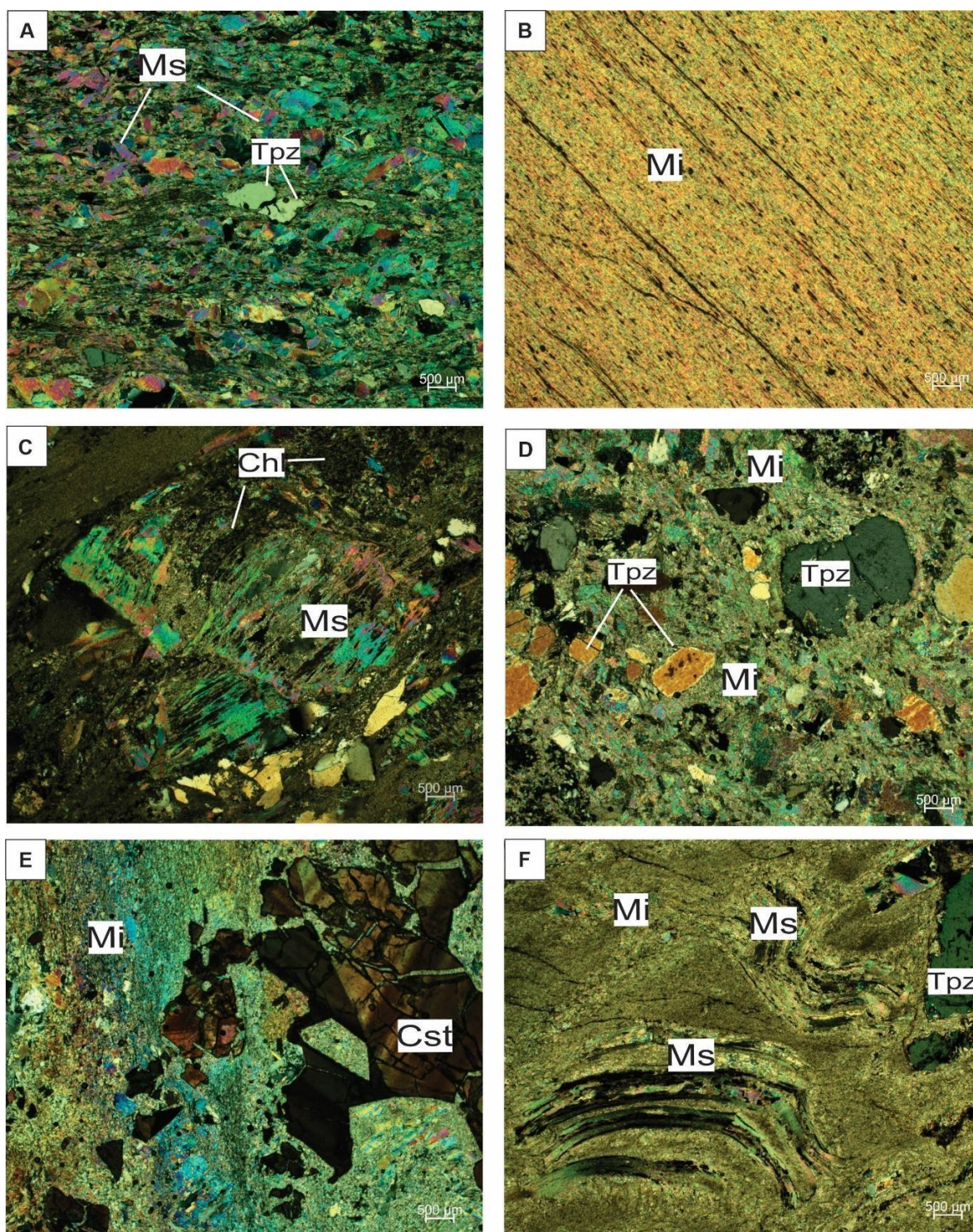


Fig. 13. Fotomicrografias dos greisens da Zona da Bacia. **A:** Aspecto geral do topázio-muscovita-mica greisen, com topázio (Tpz) e lamelas de muscovita (Ms) imersos na matriz de microcristais de micas (Mi) hidrotermais foliadas e orientadas. A lâmina possui uma espessura maior de 30 μm , causando cores de interferência mais altas do que as esperadas nos minerais. **B:** Aspecto da matriz da rocha com estrutura ultramilonítica, formada por micas (Mi) hidrotermais. **C:** Clorita-quartzo-mica-greisen com cristal de Muscovita (Ms) primário sendo consumido por clorita (Chl) e outras micas (Mi) de alteração. **D:** Cristais de topázio (Tpz) com forma subarredondada imerso na matriz de mica (Mi) e muscovita (Ms). **E:** Greisen mineralizado a cassiterita (Cst) associada aos minerais de origem hidrotermal. **F:** Muscovitas (Ms) apresentando corrosão e deformação, sendo consumida pela matriz muito fina da rocha.

Tab. 1. Quadro paragenético com as fases minerais por alteração do pbg2d e greisens da Zona da Bacia.

Rocha/ fases de alteração	Biotita albita granito (Pbg2d) menos alterado Alteração 1	Pbg2d greisenizado Alteração 2	Pbg2d greisenizado Alteração 3	Greisen
Quartzo	—————	—————	—————	—————
Albita	—————	-----	-----	-----
Microclínio	-----	—————	-----	-----
Ortoclásio	—————	—————	-----	-----
Biotita	—————	—————	-----	-----
Muscovita I (magmática)	—————	—————	—————	-----
Muscovita II (alteração)	—————	-----	—————	—————
Micas hidrotermais	-----	—————	—————	-----
Topázio	-----	-----	-----	—————
Fluorita	-----	-----	-----	—————
Cassiterita	-----	-----	—————	—————
Zircão	-----	-----	-----	-----
Hematita	-----	-----	-----	—————

4.2 Química mineral

4.2.1 Micas

A composição química dos minerais de mica associados a granitos evoluídos é um importante indicador do processo de evolução magmática, já que esses minerais apresentam uma geoquímica vasta e variada para diferentes estágios de evolução e de alteração nas rochas. Para esse estudo foram realizadas 316 análises de microsonda eletrônica em cristais de micas que compreendem os 3 estágios de alteração do granito de fácies pbg2d, e os greisens mineralizados.

Utilizando a classificação proposta por Tischendorf *et al.*, (2007), que se baseia nos quatro principais cátions de coordenação octaédrica (Mg, Fe, Al, Li), obteve-se a composição química das micas da Zona da Bacia. As fórmulas foram calculadas na base de 22 cargas de cátions, e para a representação das composições dos membros finais foi utilizado o gráfico FeAl (Fe+Mn+Ti-Al) x MgLi (Mg-Li) (Fig.14).

É importante pontuar que a microsonda eletrônica não é capaz de detectar o estado de oxidação do Ferro, a água, e nem o lítio presente nos minerais. Baseado nisso, assumiu-se FeO para o ferro total das análises, para o H₂O foi feito o cálculo da água estequiométrica, e para estimar o Lítio foram utilizadas equações empíricas para micas potássicas, propostas por Tischendorf *et al.*, (2004), onde $Li_2O = (0.289 * SiO_2) - 9.658$ para micas com $Al_2O_3 < 26$ e $F > 4$, e $Li_2O = 0.3935 \times F^{1,326}$ para micas com $Al_2O_3 > 26$ e $F < 4$. Os dados com os parâmetros mais representativos estão nas Tabelas. 2, 3, 4 e 5, e as análises completas suas respectivas fórmulas, encontram-se tabeladas nos apêndices 1 a 25.

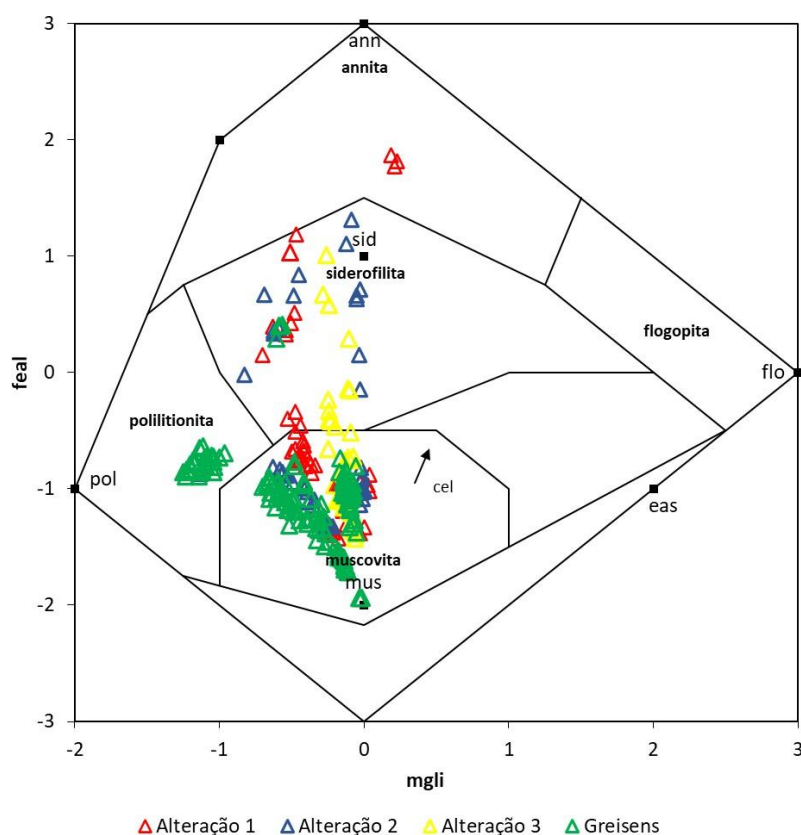


Fig. 14. Diagrama de classificação das micas da Zona da Bacia, baseado no esquema de Tischendorf et al (2007).

Os resultados obtidos mostram que o processo de evolução metassomática do biotita albita granito até o greisen, gerou como produtos micas caracterizadas pela transição de uma composição rica em Fe, para uma mais enriquecida em Al, Li e K.

As micas que ocorrem no estágio de alteração 1 do granito pb2gd se concentram no campo das micas de biotita que variam de annita a siderofilita ($MgLi = -0,7$ a $0,18$ e $FeAl = -0,45$ a $1,86$), e no campo de muscovita com variação para fengita ($MgLi = -0,49$ a $0,39$ e $FeAl = -1,42$ a $-0,50$). A annita, variedade de biotita enriquecida em ferro, ocorre em amostras no extremo da série, com os maiores teores de FeO que variam de $30,2$ a $30,7\%$. Observa-se também dentre todas as análises químicas dessa pesquisa, as maiores variações de TiO_2 e MnO , que vão de $1,5$ a $1,9\%$ e de $0,2$ a $0,4\%$, respectivamente. Esses teores contrastam com a presença de Al_2O_3 , K_2O e Li_2O , que apresentam a menor variação em peso, com teores de Al_2O_3 entre $17,2$ a $17,3\%$, de K_2O entre $9,0$ a $9,5\%$, e teores de $Li_2O < 1\%$. A siderofilita, que faz uma solução sólida com annita, é a variação de biotita que predomina nas micas da alteração 1, sendo caracterizada por possuir os valores intermediários de FeO da série, que variam de $12,0$ a $26,5\%$, com um aumento gradativo dos teores de Al_2O_3 e K_2O que variam de $19,8$ a $27,7\%$, e de $9,4$ a $10,9\%$, respectivamente. O Li_2O apresenta teores de até $2,3\%$. A composição predominante das micas presentes nas rochas da alteração 1, é de muscovita, com muitas análises com variação para uma composição fengítica, onde ocorre a substituição do Mg e Fe por Al^{VI} no sítio octaédrico, e o aumento de Si no sítio tetraédrico. Os teores dessas micas mostram valores entre $3,9$ a $12,5\%$ para FeO, $9,8$ a $11,4\%$ para K_2O , $23,3$ a $32,0\%$ para Al_2O_3 e $0,04$ a $1,1\%$ para MgO . Os teores de Li_2O se assemelham aos das micas intermediárias da série.

As variações composicionais da alteração 1 corroboram as observações feitas durante a análise petrográfica desse estudo, com a ocorrência da biotita primária na rocha granítica com baixo grau de metassomatismo, onde a alteração ainda não tem caráter pervasivo, e muitos de seus minerais magmáticos ainda preservados.

A fase de alteração 2 é marcada pela presença pontual da mica de siderofilita ($MgLi = -0,027$ a $-0,82$ e $FeAl = -0,14$ a $1,31$), com a predominância das micas com composição de muscovita e fengita ($MgLi = -0,63$ a $-0,01$ e $FeAl = -0,81$ a $-1,32$). A siderofilita apresenta teores de FeO entre $15,7$ e $27,8\%$, sendo essa siderofilita mais ferrosa do que a da alteração 1, mas sem atingir o campo das micas de annita. Os teores de K_2O variam de $7,7$ a $10,06\%$, o de Al_2O_3 de $17,6$ a $23,7\%$ e o de Li_2O com o máximo de $2,1\%$, o que mostra um empobrecimento desses elementos, quando comparado à siderofilita da fase menos alterada do biotita albita granito. O empobrecimento de Li faz com que o sítio octaédrico tenha ocupação $> 50\%$ pelo Fe, enquanto o sítio tetraédrico perde Al^{IV} , ficando com quase 80% de Si. As micas mais abundantes possuem composição de muscovita e de fengita, que seguem uma tendência para as micas mais ricas em Li da série. Os teores de FeO, K_2O , e Al_2O_3 não apresentam diferença significativa dos valores das micas de muscovita e fengita da alteração 1, porém observa-se diminuição do MgO , com teores $< 0,4\%$, contrastando com o aumento relativo de mais de 80% no Li_2O , dando o Mg ocupação ao Li no sítio octaédrico.

Tab. 5. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas da alteração 1 do pbg2d da Zona da Bacia.

Amostra	PB81A-702	PB81A-721	PBFC001-01-1	PBFC001-01-5-1	PBFC001-01-5-4	PBFC04-1-5-1b	PBFC04-1-3-1	PBFC001-01-5-5	PBFC001-01-5-3	PBFC-010-3-6-1
Análise %Peso	Alteração 1- Annita		Alteração 1- Siderofilita			Alteração 1- Muscovita-fengita				
SiO ₂	33,33	33,76	43,82	44,55	45,14	41,72	47,01	45,86	46,49	49,04
TiO ₂	1,94	1,57	0,26	0,58	0,41	0,72	0,20	0,76	0,01	0,20
Al ₂ O ₃	17,24	17,49	23,60	23,78	22,53	21,78	31,24	23,71	23,79	27,94
FeO	30,74	30,29	13,40	12,04	12,36	17,15	4,41	10,52	10,25	6,98
MnO	0,22	0,40	0,40	0,27	0,26	0,34	0,21	0,21	0,14	0,11
MgO	1,99	2,01	0,10	0,06	0,11	0,05	0,19	0,10	0,07	0,62
CaO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,00	0,01	0,00	0,09
Na ₂ O	0,03	0,00	0,08	0,08	0,04	0,08	0,09	0,08	0,04	0,08
Li ₂ O	0,17	0,10	1,68	1,55	1,86	2,40	0,93	1,51	1,77	0,70
K ₂ O	9,04	9,58	10,67	10,95	10,47	9,79	10,79	10,70	11,06	10,74
BaO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,04	0,00	0,07	0,06
Rb ₂ O	0,53	0,32	0,48	0,39	0,47	0,83	0,30	0,59	0,43	0,68
F	0,54	0,48	2,99	2,81	3,23	5,33	1,92	2,76	3,11	1,55
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
- O = F ₂	-0,23	-0,20	1,26	1,18	1,36	2,24	0,91	1,16	1,31	0,65
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,44	3,48	2,72	2,83	2,63	1,51	3,37	2,90	2,74	3,63
TOTAL	98,98	99,22	98,97	98,72	98,16	99,58	99,79	98,55	98,67	101,77
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions										
Sítio T.										
Si	2,70	2,73	3,17	3,21	3,27	3,08	3,20	3,27	3,31	3,30
IV _{Al}	1,30	1,27	0,83	0,79	0,73	0,92	0,80	0,73	0,69	0,70
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.										
VI _{Al}	0,35	0,40	1,19	1,23	1,19	0,97	1,64	1,27	1,30	1,52
Ti	0,12	0,10	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,04	0,00	0,01
Li	0,06	0,03	0,49	0,45	0,54	0,71	0,30	0,43	0,51	0,19
Mg	0,24	0,24	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,06
Fe ²⁺	2,09	2,05	0,81	0,73	0,75	1,06	0,24	0,63	0,61	0,39
Mn	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	2,86	2,84	2,54	2,46	2,52	2,80	2,23	2,40	2,43	2,18
Sítio I.										
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
Na	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,95	0,01	0,01	0,01
K	0,94	0,99	0,99	1,01	0,97	0,92	0,01	0,97	1,00	0,92
Rb	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,00	0,03	0,02	0,03
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,96	1,00	1,02	1,04	1,00	0,98	0,98	1,01	1,03	0,97

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); **H₂O calculada por balanço estequiométrico.

Tab. 13. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas da alteração 2 do pbg2d da Zona da Bacia.

Amostra	PB08A-120	PB08A-723	PB08A-728	PB83B-54	PBFC012-1-1-4	PBFC012-1-1-1	PBFC012-1-1-2c	PBFC012-1-2-4	PBFC012-1-3-2	PB10B-13	
Análise %Peso	Alteração 2- Siderofilita				Alteração 2- muscovita-fengita						
	SiO ₂	43,05	38,65	35,86	40,40	47,70	49,54	49,44	48,39	47,33	43,27
	TiO ₂	0,33	0,55	0,65	0,07	0,17	0,18	0,65	0,00	0,01	0,23
	Al ₂ O ₃	23,74	20,63	19,01	21,52	29,96	25,21	26,73	24,18	27,71	21,67
	FeO	16,65	23,64	27,88	19,99	4,88	8,02	7,07	8,37	6,26	15,79
	MnO	0,44	0,55	0,97	1,05	0,30	0,32	0,22	0,31	0,38	0,18
	MgO	0,08	0,09	0,07	0,17	0,22	0,19	0,19	0,21	0,30	0,07
	CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04	0,00	0,02	0,06	0,00
	Na ₂ O	0,04	0,07	0,00	0,07	0,11	0,11	0,07	0,09	0,14	0,08
	Li ₂ O	0,13	0,12	0,30	2,02	0,89	2,04	1,58	2,35	1,50	2,85
	K ₂ O	9,92	9,42	9,81	8,77	10,86	10,83	10,81	10,91	10,80	10,01
	BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
	Rb ₂ O	0,52	0,84	0,35	0,88	0,42	0,37	0,33	0,57	0,49	0,31
	F	1,13	1,03	1,86	2,02	1,86	3,46	2,86	3,85	2,74	4,35
	Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00
	- O = F ₂	0,00	-0,43	-0,78	-0,85	0,78	1,46	1,20	1,62	1,16	-1,83
	- O = Cl ₂	-0,48	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	H ₂ O	3,54	3,37	2,87	3,05	3,50	2,70	3,01	2,47	3,03	2,06
	TOTAL	99,81	98,50	98,22	99,16	100,22	101,54	101,78	100,12	99,60	99,02
		Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions									
	Sítio T.										
Si	3,16	3,00	2,86	3,02	3,23	3,35	3,32	3,35	3,26	3,15	
IV _{Al}	0,84	1,00	1,14	0,98	0,77	0,65	0,68	0,65	0,74	0,85	
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Sítio O.											
VI _{Al}	1,22	0,89	0,65	0,92	1,63	1,37	1,44	1,32	1,50	1,01	
Ti	0,02	0,03	0,04	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	
Li	0,04	0,04	0,10	0,61	0,24	0,56	0,43	0,65	0,42	0,83	
Mg	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	
Fe ²⁺	1,02	1,53	1,86	1,25	0,28	0,45	0,40	0,48	0,36	0,96	
Mn	0,03	0,04	0,07	0,07	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	
	2,33	2,54	2,67	2,86	2,19	2,42	2,33	2,49	2,33	2,83	
Sítio I.											
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Na	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
K	0,93	0,93	1,00	0,84	0,94	0,94	0,93	0,96	0,95	0,93	
Rb	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	0,96	0,98	1,02	0,89	0,98	0,96	0,95	1,00	0,99	0,95	

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); **H₂O calculada por balanço estequiométrico.

No estágio 3 do processo de greisenização, há ocorrência menos frequente das micas de siderofilita ($MgLi = -0,098$, a $-0,28$ e $FeAl = -0,46$ a $1,0$), com a maioria das micas caindo no campo de muscovita e fengita ($MgLi = -0,065$ a $-0,25$ e $FeAl = -0,46$ a $-1,38$). A siderofilita apresenta teores de 12,9 a 22,8% de FeO, o que o que gerou como consequência a composição menos ferrosa quando comparada com as demais siderofilas das alterações 1 e 2. Os valores de K_2O seguem próximo ao que foi visto, variando de 9,65 a 10,77%, e o Al_2O_3 apresenta teores intermediários entre os valores relatados para a siderofilita das outras duas fácies de alteração descritas anteriormente, variando de 20,98 a 24,21%. Observa-se um aumento considerável de SiO_2 quando comparado com a alteração 1 e 2, sendo esse teor o mais alto com $>45\%$. Também é observada uma diminuição significativa de Li_2O , com teores $<1\%$. As micas classificadas como muscovitas e fengitas são as que apresentam os mais baixos valores de Al e Li, quando comparadas às dos estágios de alteração 1 e 2. Essas micas não mostram tendência para micas de polilitionita, ricas em Li, como mostra o gráfico de Tischendorf (Fig.13). Os teores de Al_2O_3 e Li_2O não ultrapassam 31%, e 1,06%, respectivamente, enquanto é possível notar um enriquecimento de quase 8% a mais de FeO, quando comparado às demais muscovitas e fengitas do processo de greisenização do biotita albita granito, onde o sítio octaédrico fica ocupado majoritariamente por Fe^{VI} , decorrente dos baixos teores de Al e Li.

Os greisens formam o estágio final do processo de greisenização, e nesse ponto se encontram as micas mais evoluídas do sistema. Essas micas são representadas por composições de muscovita a fengita ($MgLi = -0,01$ a $-0,98$ e $FeAl = -0,73$ a $-1,93$), e micas de polilitionita ($MgLi = -0,96$ a $-1,23$ e $FeAl = -0,63$ a $-0,89$), que se posiciona no extremo rico em Li da série. As muscovitas e fengitas dos greisens apresentam os teores de FeO mais baixos da até aqui observados, variando de 0,51 a 10,2%, ao passo que há valores de $Al_2O_3 >37\%$, e de Li_2O de até 3,4%, o que mostrou uma tendência para micas de tipo polilitionita. Os teores de K_2O , MgO e SiO_2 apresentam as mesmas proporções das demais muscovitas das alterações 1, 2 e 3, com variação de 10,03 a 11,9% para K_2O , de 0 a 1,4% para MgO , e teores de SiO_2 de até 49%. As micas com composição de polilitionita são caracterizadas por terem o sítio octaédrico ocupado de forma expressiva por Al^{VI} e Li, o que explica o baixo teor de FeO da série. Os teores se aproximam aos das micas de muscovitas e fengitas, com diferenças ínfimas no FeO, que fica empobrecido, variando de 0,51 a 8,6%, enquanto o Li_2O chega a possuir valores próximos a 4,73 %. Estas micas, restritas aos greisens com o mais alto grau de metassomatismo, representam o produto da intensa atividade de fluídos hidrotermais, o que propiciou a substituição mineralógica e troca química dos elementos de minerais magmáticos do granito evoluído.

A análise composicional e a variação química presente nos estágios de evolução metassomática: alteração 1 → alteração 2 → alteração 3 → greisens, mostra que com o avanço do processo de alteração hidrotermal, as micas ferrosas se tornaram escassas, e de forma gradativa, ocorreu a desestabilização dos feldspatos e o reequilíbrio de micas, principalmente de biotitas, dando espaço para a formação e substituição por novos minerais demicas de tipo muscovita, fengita e polilitionita, com alto enriquecimento em Al e Li e K.

Tab. 17. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas da alteração 3 do pbg2d da Zona da Bacia.

Amostra	PBFC009-03B-4-1	PBFC009-03B-3-1	PBFC009-03B-5-	PB08B-713	PB08B-720	PBFC009-3B-1-2	BFC009-3B-3-2	PBFC009-3B-5-1	PB08B-134	PB08B-715	
Análise %Peso	Alteração 3- Siderofilita					Alteração 3- Muscovita-fengita					
	SiO ₂	43,13	42,65	41,63	45,24	45,46	47,35	47,43	48,46	44,09	44,64
	TiO ₂	0,30	0,35	0,55	0,27	0,21	0,00	0,05	0,16	0,33	0,26
	Al ₂ O ₃	24,21	23,79	22,26	23,81	23,03	31,05	30,38	23,93	23,80	23,73
	FeO	15,89	15,73	19,71	12,98	13,41	5,44	6,01	9,36	13,29	14,40
	MnO	0,47	0,59	0,58	0,24	0,22	0,08	0,18	0,21	0,18	0,21
	MgO	0,99	0,69	0,85	0,08	0,14	0,04	0,57	1,77	0,13	0,09
	CaO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Na ₂ O	0,10	0,09	0,10	0,10	0,04	0,19	0,07	0,06	0,12	0,09
	Li ₂ O	0,71	0,64	0,68	0,72	0,89	0,24	0,47	1,07	0,83	0,87
	K ₂ O	10,08	10,30	9,84	10,54	10,34	10,79	11,30	10,85	10,77	10,48
	BaO	0,00	0,05	0,16	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
	Rb ₂ O	0,97	0,71	0,87	0,61	0,59	0,36	0,28	0,46	0,42	0,45
	F	1,55	1,45	1,52	3,21	3,67	0,69	1,15	2,12	3,51	3,61
	Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
	- O = F ₂	0,65	0,61	0,64	-1,35	-1,55	0,29	0,48	0,89	-1,48	-1,52
	- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	H ₂ O	3,37	3,41	3,29	2,64	2,42	4,08	3,82	3,27	2,45	2,46
TOTAL	101,11	99,82	101,40	99,12	98,87	100,03	101,30	100,83	98,44	99,87	
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions											
Sítio T.											
	Si	3,10	3,11	3,06	3,26	3,28	3,22	3,20	3,34	3,21	3,21
	IV _{Al}	0,90	0,89	0,94	0,74	0,72	0,78	0,80	0,66	0,79	0,79
		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.											
	VI _{Al}	1,15	1,16	0,98	1,28	1,24	1,70	1,62	1,29	1,26	1,22
	Ti	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
	Li	0,20	0,19	0,20	0,21	0,26	0,07	0,13	0,30	0,24	0,25
	Mg	0,11	0,08	0,09	0,01	0,02	0,00	0,06	0,18	0,01	0,01
	Fe ²⁺	0,96	0,96	1,21	0,78	0,81	0,31	0,34	0,54	0,81	0,87
	Mn	0,03	0,04	0,04	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
		2,47	2,44	2,56	2,30	2,35	2,08	2,16	2,33	2,35	2,38
Sítio I.											
	Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
	K	0,92	0,96	0,92	0,97	0,95	0,94	0,97	0,96	1,00	0,96
	Rb	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
	Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,98	1,01	0,98	1,01	0,99	0,98	0,99	0,98	1,04	0,99

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); **H₂O calculada por balanço estequiométrico.

Tab. 21. Análises química e respectivas fórmulas estruturais mais representativas das micas dos greisens da Zona da Bacia.

Amostra	PBFC009-02-4-1	PBFC008-02-5-1	PBFC07-1-7-4	PBFC013-1-2-2	PBFC013-1-2-7	PBFC009-02-5-2	PBFC004-2-3-3	PBFC008-02-6-1	PBFC07-1-5-1	PBFC013-1-1-2
Análise	Greisens- polilitonita					Greisens- Muscovita-fengita				
%Peso										
SiO ₂	48,47	47,52	48,28	49,49	47,70	46,78	46,57	45,36	47,97	48,51
TiO ₂	0,32	0,07	0,30	0,18	0,00	0,00	0,03	0,00	0,11	0,01
Al ₂ O ₃	24,89	23,69	24,11	24,39	22,81	25,10	34,85	24,30	27,49	26,14
FeO	6,83	8,84	7,09	5,61	8,38	9,36	2,17	8,60	5,40	5,85
MnO	0,23	0,35	0,31	0,39	0,54	0,30	0,00	0,34	0,15	0,29
MgO	1,43	0,11	0,02	0,17	0,14	1,35	0,07	0,11	0,07	0,29
CaO	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,03	0,06	0,02
Na ₂ O	0,09	0,04	0,10	0,09	0,10	0,14	0,25	0,07	0,09	0,05
Li ₂ O	1,01	4,08	4,29	4,65	4,13	0,70	0,45	3,45	2,25	2,30
K ₂ O	10,89	11,52	11,01	10,77	10,73	10,36	11,30	11,60	10,97	11,02
BaO	0,00	0,00	0,11	0,00	0,06	0,04	0,00	0,00	0,07	0,00
Rb ₂ O	0,44	0,71	0,51	0,55	0,49	0,35	0,27	0,63	0,42	0,41
F	2,04	5,38	5,46	4,88	6,61	1,55	1,10	4,32	3,72	3,79
Cl	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03
- O = F ₂	0,86	2,26	2,30	2,06	2,78	0,65	0,46	1,82	1,57	1,60
- O = Cl ₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
H ₂ O	3,36	1,75	1,76	2,09	1,16	3,54	3,94	2,18	2,59	2,54
TOTAL	99,15	101,82	101,06	101,23	100,08	98,94	100,53	99,18	99,81	99,65
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions										
Sítio T.										
Si	3,36	3,25	3,28	3,32	3,30	3,29	3,10	3,20	3,27	3,32
^{IV} Al	0,64	0,75	0,72	0,68	0,70	0,71	0,90	0,80	0,73	0,68
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.										
^{VI} Al	1,39	1,16	1,21	1,24	1,17	1,37	1,84	1,22	1,48	1,43
Ti	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00			0,01	0,00
Li	0,28	1,12	1,17	1,25	1,15	0,20			0,62	0,63
Mg	0,15	0,01	0,00	0,02	0,01	0,14			0,01	0,03
Fe ²⁺	0,40	0,51	0,40	0,31	0,49	0,55			0,31	0,34
Mn	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02
	2,25	2,83	2,83	2,86	2,85	2,28	0,12	0,98	2,43	2,45
Sítio I.							0,01	0,01		
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,51	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
K	0,96	1,01	0,95	0,92	0,95	0,93	0,96	1,04	0,95	0,96
Rb	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	1,04	0,99	0,96	0,99	0,97	1,00	1,08	0,99	0,99

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); **H₂O calculada por balanço estequiométrico.

4.3 Caracterização geoquímica

4.3.1 Balanço de massa

Para o estudo de mobilidade de elementos químicos, foi utilizado o método desenvolvido por Grant (1986) que simplifica o método de Gresens (1967). O principal objetivo da utilização do método de isocon, desenvolvido por Grant (1986), é a realização de estudos do comportamento dos elementos químicos quanto à sua mobilidade durante processos de alterações de rochas.

Usando-se um gráfico com sistema de eixos cartesianos, quando as concentrações dos componentes da rocha original (protólito) são lançadas no eixo X, e os da rocha transformada são lançados no eixo Y, os pontos definidos pelas concentrações dos elementos imóveis (aqueles cujas concentrações sofreram modificações relativas apenas devidas a uma perda ou ganho de volume da rocha, sem entrada ou saída de átomos desses elementos), devem se dispor de uma forma que se defina uma reta que passe pela origem do gráfico, sendo denominada de reta isocon. Já as concentrações dos elementos que se mobilizaram, definirão pontos que vão cair acima dessa reta, se tiver ocorrido ganho de massa destes elementos, ou abaixo dessa reta, se os elementos sofreram perda de massa. Portanto, o método parte do princípio de que alguns elementos permaneceram imóveis durante os processos de transformação que atuaram sobre uma rocha durante um evento geológico, e a partir da reta (isocon) formada, é possível se determinar o quanto de massa foi ganho ou perdido pelos elementos que foram mobilizados. A perda ou ganho de massa dos elementos também pode ser calculada a partir da Equação de Grant (1986) adaptada:

$$\Delta Mi = [(M^A/M^O) Ci^A - Ci^O] M^O \quad (Eq. 1)$$

Onde, ΔMi é a variação de massa do elemento químico na rocha transformada com relação à rocha original. M^O é a massa da rocha original, e M^A a massa da rocha alterada. Ci^A é a concentração dos elementos i na rocha alterada, e Ci^O é a concentração dos elementos i na rocha original.

O maior obstáculo para a utilização do método da isocon é a identificação da rocha original ou que tenha sofrido o mínimo de transformação, e de sua equivalente transformada. Esta identificação é fundamental para se eliminar possíveis incertezas para a definição da isocon ideal. Segundo Olsen e Grant (1991), na prática, as incertezas que podem causar dispersão dos pontos acerca da isocon ideal são: (i) a escolha de uma rocha transformada (ii) a escolha de uma rocha original ou protólito (iii) o grau de imobilidade dos componentes, uma vez que cada elemento vai apresentar um maior ou menor grau na capacidade de imobilidade e (iv) as incertezas analíticas.

Para determinar a melhor representação gráfica para o método da isocon pode-se admitir utilizar um elemento que geralmente se apresente imóvel ou com menor mobilidade dentro de um determinado sistema, ou utilizar a linha que melhor se ajusta aos dados geoquímicos. Vale salientar, que a escolha de uma isocon, não depende apenas da maior quantidade de elementos químicos que se alinham no gráfico; também é fundamental uma descrição petrográfica

detalhada, para se determinar quais fases minerais participaram como reagentes para gerarem as fases produto da alteração, pois as composições químicas desses minerais ajudam na determinação de qual ou quais elementos químicos permaneceram imóveis, e quais foram mobilizados durante o evento de alteração.

Neste trabalho a reta isocon foi traçada a partir do melhor alinhamento entre os dados, baseado no fato deste procedimento apresentar menores incertezas, pois é possível estabelecer elementos que possam permanecer imóveis em um determinado sistema mineral, mas não se pode ter certeza absoluta sobre essa condição.

Utilizada a equação da linha de tendência para esse ajuste, obteve-se o valor da constante M^A/M^O . Para aplicação neste trabalho, foi escolhida a amostra PB188, classificada dentro da categoria de alteração 1, para representar o estágio de menor grau de alteração hidrotermal, próximo da rocha original. Foi realizado o balanço de massa entre a alteração 1 e as demais alterações classificadas e discutidas no capítulo anterior deste trabalho. Os pares serão descritos aqui como alterações: 1-2, 1-3 e 1-greinsens.

Os dados da litogeoquímica e a variação de massa com perdas e ganhos dos elementos maiores, traços e ETRs são apresentados em tabelas nos apêndices 26 e 27.

4.3.1.1 Par alteração 1-2

Para este balanço de massa foram realizados cálculos usando as concentrações da amostra mais fresca do biotita albita granito, classificado em alteração 1 (PB188), e da amostra de granito com processo de greisenização mais evidente, classificada em alteração 2 (PBFC-011-01). O diagrama de isocon com os dados litogeoquímicos de elementos maiores, traços e ETRs está na Fig. 15, e os gráficos de colunas com dados de perda e ganho dos elementos, obtidos a partir da Eq. 1, encontram-se nas Figs. 16 e 17.

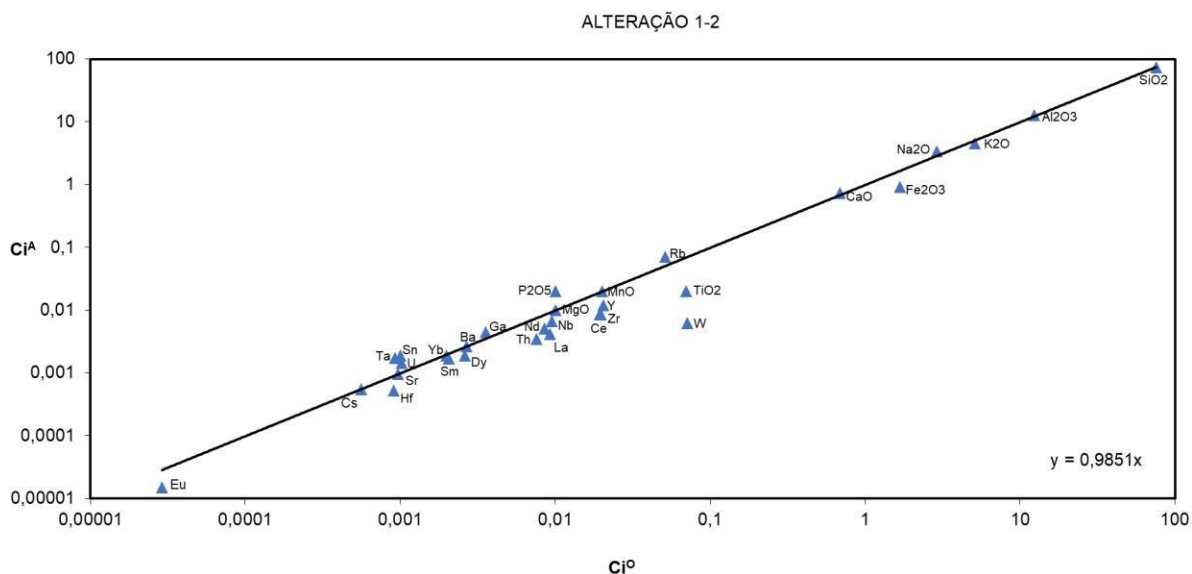


Fig. 15. Diagrama de isocon baseado na Eq.1 com o par de amostra original Ci^O (PB188- alteração 1) e Ci^A PBFC-011-01(alteração 2). Todos os elementos estão em porcentagem.

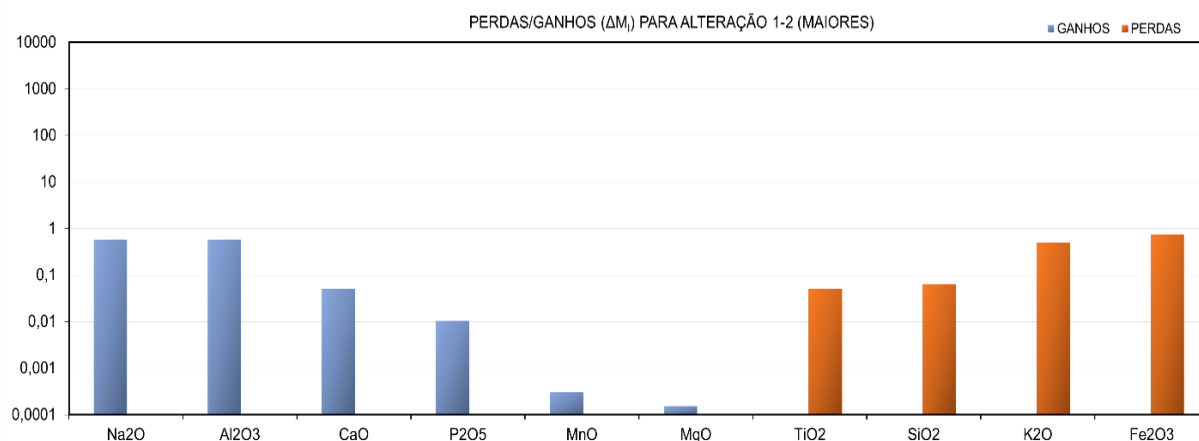


Fig. 16. Gráfico com perdas e ganhos em porcentagem de elementos maiores, calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC-011-01(alteração 2).

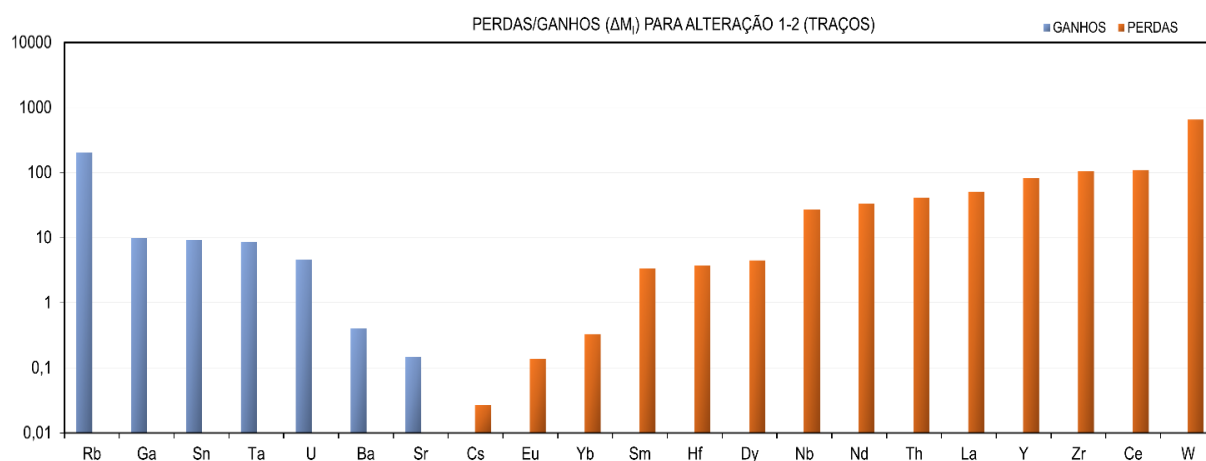


Fig. 17. Gráfico com perdas e ganhos em ppm de elementos traços e ETRs calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC-011-01(alteração 2).

O diagrama de isocon (Fig.15) mostra que durante a fase inicial do processo de greisenização os elementos apresentaram a menor mobilidade dentre todas as fases hidrotermais. Observa-se que a maioria apresenta ganho ou perda de massa pouco expressivo, com os elementos se acomodando próximo a isócona. Dentre os elementos maiores, a maior parte se comportou como elemento imóvel se disposto na linha da isócona, à medida que o Fe₂O₃ e o K₂O tiveram as perdas mais significantes, entre -0,49 a -0,74%. Quantos aos elementos traços e ETRs, observou-se que o Cs, Sr, Yb e Ba permaneceram imóveis, enquanto a maioria dos elementos perderam massa, com o W representando o maior empobrecimento do sistema, perdendo massa de aproximadamente -649 ppm, em contrapartida ao enriquecimento de massa do Rb que teve ganho de 204 ppm. O comportamento mais discreto dos elementos nessa série, mostra que o processo de greisenização ocorre de modo gradativo, e que o biotita

albita granito ainda não se alterou consideravelmente na alteração 2. As descrições petrográficas corroboram essa afirmação, onde a alteração 2 é marcada pelo início do surgimento das micas de alteração, contendo ainda muitos minerais como quartzo, albita e outros feldspatos, o que fica visível com o enriquecimento dos elementos maiores de Al_2O_3 , Na_2O e CaO . (Fig. 16).

4.3.1.2 Par alteração 1-3

Com o avanço do processo de greisenização, os elementos começam a ter comportamento mais expressivos quanto a sua saída e entrada no sistema mineralizado durante o processo de alteração. Para este cálculo de balanço de massa, foi escolhido para fazer par com a amostra mais fresca da biotita albita granito (PB188), a amostra de granito greisenizado que ocorre no estágio mais avançado de alteração hidrotermal, antes de chegar no estágio de greisen, propriamente dito; essa rocha é classificada em alteração 3 (PBFC009-03). O diagrama de isocon com os dados litogeoquímicos de elementos maiores, traços e ETRs está abaixo na Fig. 18, e os gráficos de colunas com dados em porcentagem de perda e ganho dos elementos maiores, traços e ETRs, obtidos a partir da Eq. 1, encontram-se nas Figs. 19 e 20.

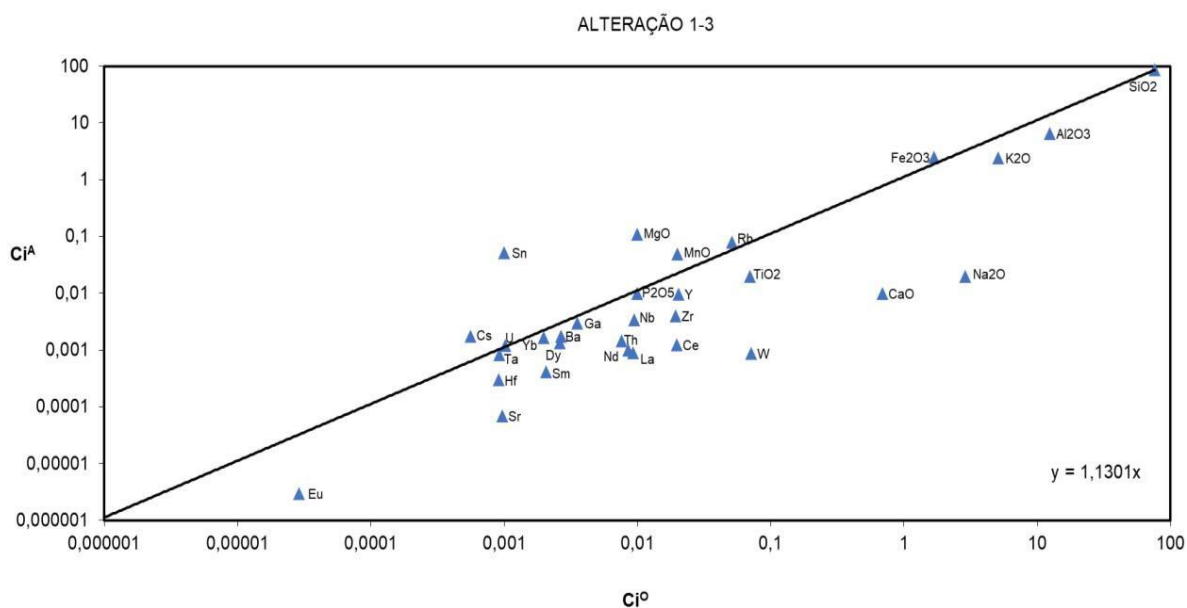


Fig. 18. Diagrama de isocon baseado na Eq. 1 com o par de amostra original C_i^O PB188 (alteração 1) e C_i^A PBFC009-03 (alteração 3). Todos os elementos estão em porcentagem.

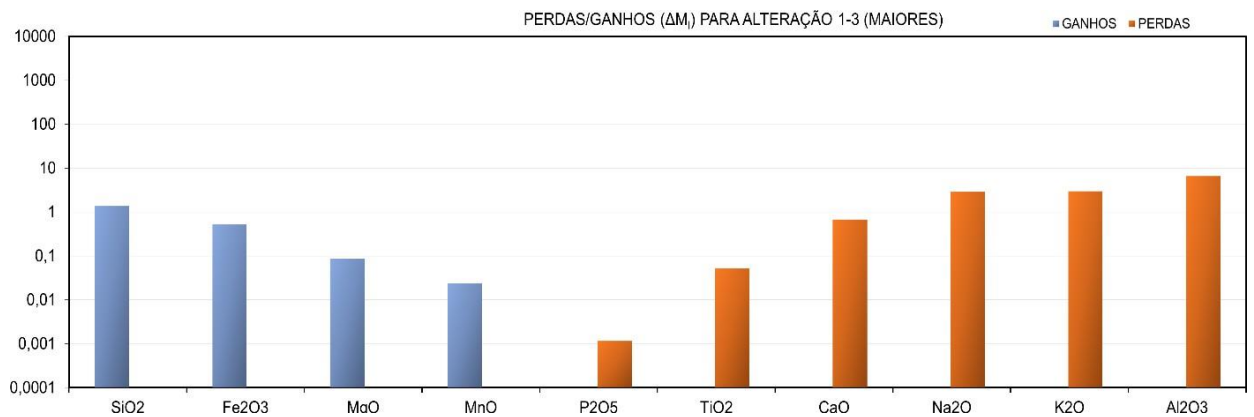


Fig. 19. Gráfico com perdas e ganhos em porcentagem de elementos maiores, calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC009-03 (alteração 3).

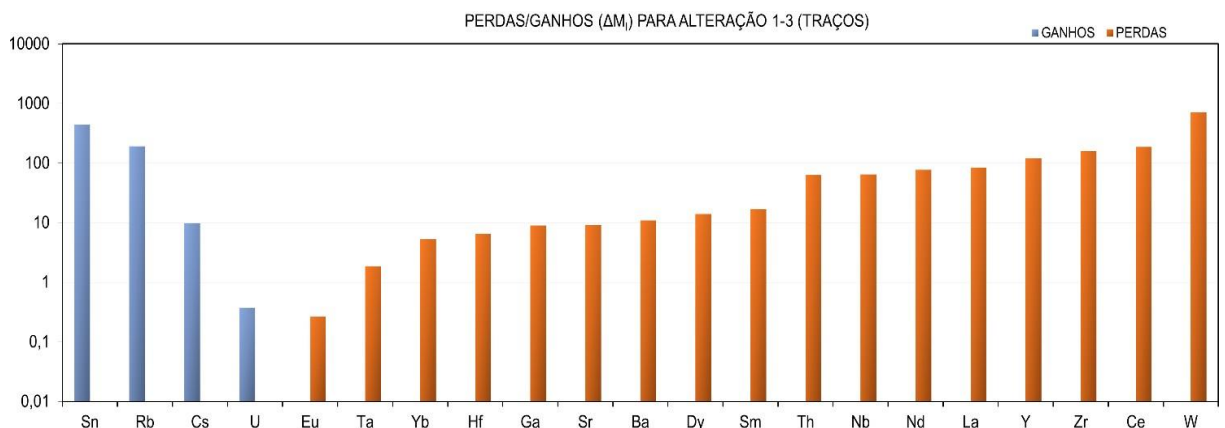


Fig. 20. Gráfico com perdas e ganhos em ppm de elementos traços e ETRs calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC009-03 (alteração 3).

Através do diagrama de isocon (Fig.18) é possível analisar que nessa fase os elementos apresentam-se em sua maioria com grande mobilidade, com a maioria dos elementos perdendo massa, se dispondo abaixo da isócona. Elementos maiores tiveram perda significativa de massa, tais como Al₂O₃, K₂O, e Na₂O, com valores entre -2,8 a -6,6 %. Os demais elementos Fe₂O₃, MgO e MnO tiveram ganho de massa discreto, com teores entre 0,02 e 0,5 %, e estão dispostos acima da reta isocon, sendo o SiO₂ o único elemento maior imóvel no sistema, estando no alinhamento da isócona. Observando os gráficos de perda e ganho dos elementos (Fig. 19 e 20), é importante analisar que nessa fase de alteração hidrotermal o Al₂O₃, teve uma variação de massa de aproximadamente 7% quando comparado à fase anterior, o que mostra que com o avanço do processo de greisenização, esse elemento foi sendo gradativamente retirado da rocha. Dentre os elementos traços e ETRs, apenas o U se comportou de forma imóvel, enquanto o Rb, Sn e Cs foram os elementos que tiveram ganho de massa na série, com teores entre 9,8 a 447,4 ppm, e com o Sn tendo um aumento relativo de massa de 438,2 ppm quando comparado à série

anterior. Os demais elementos traços e ETRs perderam massa, destacando-se aqui o W que teve a maior perda de massa, de aproximadamente -705,4 ppm.

Nesta fase da alteração, com o granito já hidrotermalizado, os minerais de albita e outros feldspatos são praticamente extintos, dando espaço aos chamados minerais de alteração e cassiterita, o que fica evidente no diagrama de isocon (Fig.18), devido a entrada e saída de elementos que constituem esses minerais na rocha, como por exemplo, a redução do Al_2O_3 e Na_2O , a incorporação de Fe_2O_3 no sistema, e o alto ganho de massa do Sn, contrapondo uma perda de W, ratificando que esse é um sistema tipo greisen mineralizado a cassiterita.

4.3.1.3 Par alteração 1- Topázio-muscovita-mica greisen.

No estágio final do processo de greisenização, o biotita albita granito já se encontra totalmente hidrotermalizado, com a sua mineralogia modificada, sendo constituído principalmente pelas micas de alteração. Para saber a mobilidade dos elementos durante esse processo, o balanço de massa foi realizado utilizando a amostra menos alterada de granito da alteração 1 (PB188) com a amostra de topázio-muscovita-mica greisen (PBFC008-02). O diagrama de isocon com os dados litogeoquímicos de elementos maiores, traços e ETRs está abaixo na Fig. 21, e os gráficos de colunas com dados em porcentagem de perda e ganho dos elementos maiores, traços e ETRs, obtidos a partir da Eq. 1, encontram-se nas Figs. 22 e 23.

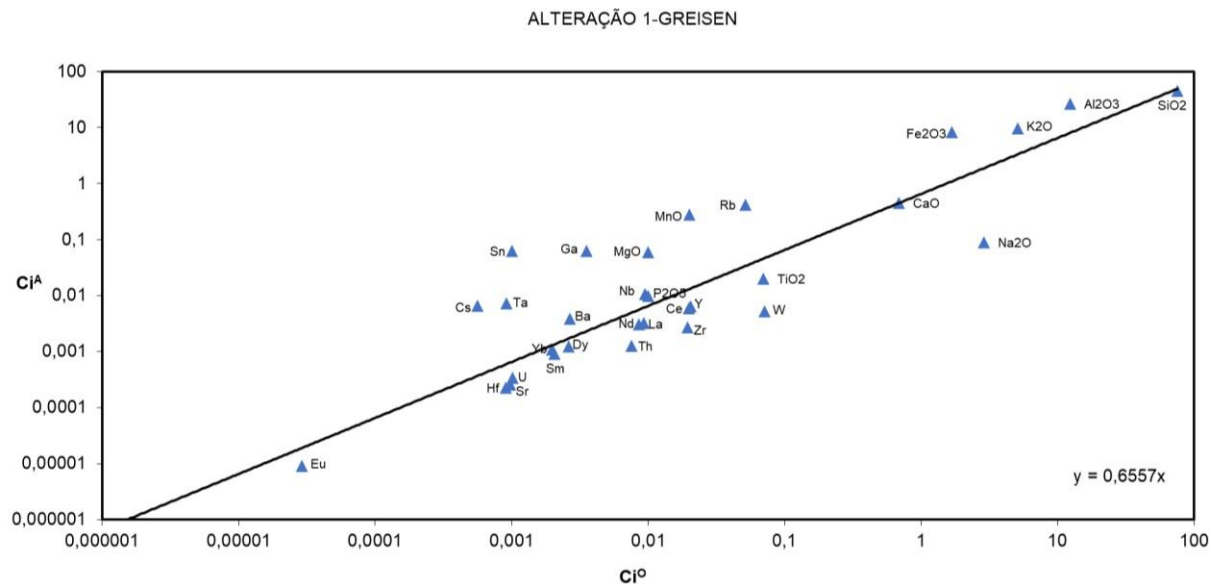


Fig. 21. Diagrama de isocon baseado na Eq. 1 com o par de amostra original Ci^O PB188 (alteração 1) e Ci^A PBFC008-02 (Greisens). Todos os elementos estão em porcentagem.

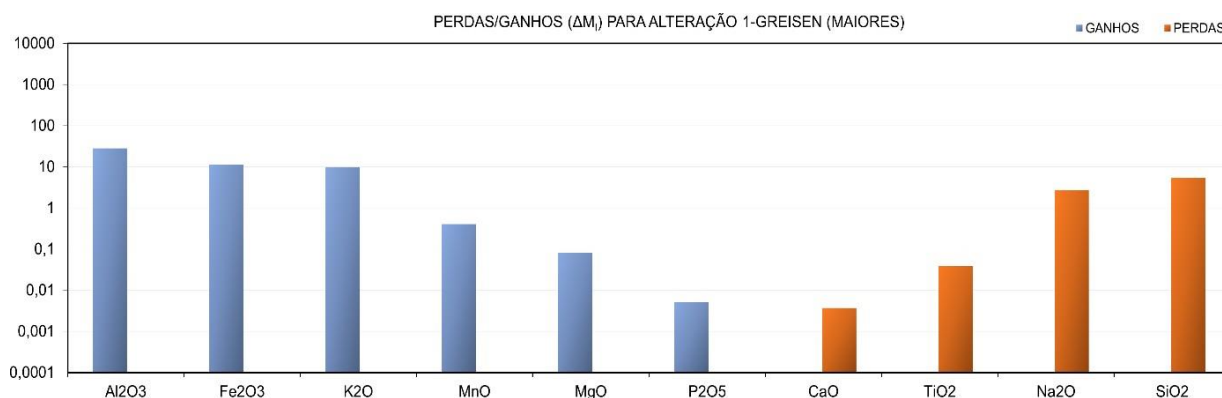


Fig. 22. Gráfico com perdas e ganhos em porcentagem de elementos maiores calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC008-02 (topázio-muscovita-mica greisen).

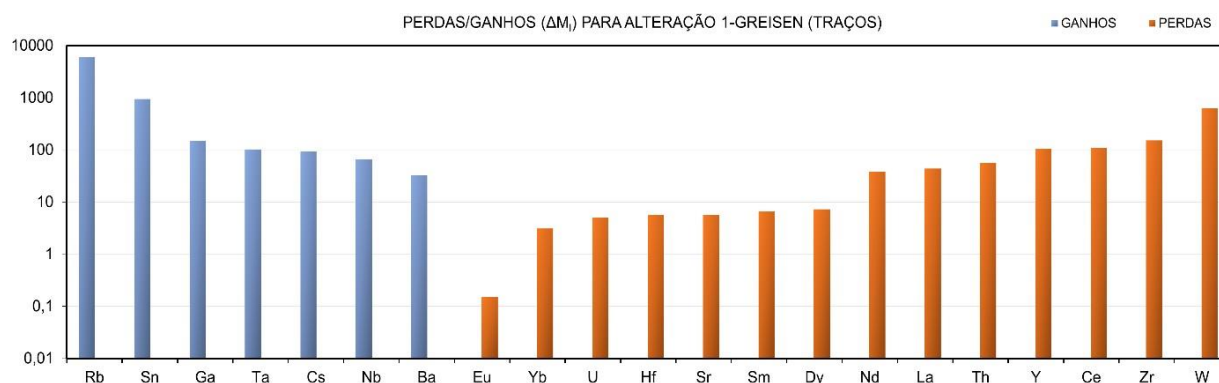


Fig. 23. Gráfico com perdas e ganhos em ppm de elementos traços e ETRs calculados a partir da Eq. 1 para os pares PB188 (alteração 1) e PBFC008-02 (topázio-muscovita-mica greisen).

Observa-se que os elementos dispostos no diagrama de isocon (Fig.21) ocorrem com mobilidade geoquímica significativa, apresentando-se com perdas e ganhos variados nesta fase em que os greisens já estão formados. Apenas o CaO permaneceu imóvel, enquanto o Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MnO, MgO e P₂O₅ ganharam massa entre 0,05 a 28,04 %. Os elementos SiO₂, Na₂O e TiO₂ foram retirados do sistema, com redução de massa entre -0,03 a -5,38 %. Os elementos traços e ETRs tiveram no topázio-muscovita-mica greisen as maiores mobilidades do sistema, com altos teores de massa de Rb, Sn, Ga, Ta, Cs, Nb e Ba, que variam de 33,08 a 5.905,91 ppm, enquanto os demais perderam massa, tendo novamente o W a perda mais expressiva, de aproximadamente -631,96 ppm, o que mostra que esse elemento teve um comportamento linear durante todo o processo de greisenização. Vale ressaltar que os elementos traços tiveram uma maior mobilidade quando comparados aos ETRs, com alguns elementos como Ta, Nb, Ga e Cs

apresentando uma variação relativa de até 139,26 ppm, quando comparado à fácies inicial de alteração 1-2. Os ETRs, tanto leves como pesados, permaneceram durante todo o sistema com o comportamento linear.

Ao chegar no produto final da alteração por meio da greisenização, é possível analisar de forma comparativa o comportamento de todos os elementos no decorrer do processo evolutivo, permitindo inferir como esses elementos se relacionam a cada tipo de alteração. Com base nisso, algumas observações foram feitas:

- O TiO_2 foi o elemento mais imóvel no sistema, com uma variação de massa de 0,010% ao fim do processo.
- O Fe_2O_3 , MgO e MnO tiveram ganho de massa gradativo, com ganho relativo de aproximadamente 12% ao final da alteração.
- O CaO e Na_2O tiveram ganho de massa apenas na fácies mais precoces, e em seguida nas fácies mais tardias, juntamente com SiO_2 , foram sendo reduzidos no sistema, com seus teores diminuindo até chegar no topázio-muscovita-mica greisen, com perda relativa de massa de até 5,32%.
- O Al_2O_3 e o K_2O foram os elementos maiores que só tiveram aumento de massa significativa no sistema na fácies greisen, com ganho relativo de 27,47 e 10,15%, respectivamente.
- O Hf, Sr e U, foram os elementos traços com menor mobilidade no sistema, tendo ao final do processo até 9,67 ppm de massa retirada do sistema.
- O Rb e Sn tiveram os maiores ganhos relativos de massa, com cerca de 4.891,9 ppm para o Rb, e 936,35 ppm de massa de Sn sendo incorporando ao final do processo
- O Ba, Ta, Nb, Ga, Cs, Zr, Th e W, dentre os elementos traços, foram os que apresentaram o comportamento mais linear durante todo o processo de alteração. O Ba, Ta, Nb, Ga e Cs foram os elementos que tiveram ganho de massa relativo ao final do processo variando de 32,68 a 139,26 ppm, à medida que Zr, Th e W perderam de 15,78 a 45,83 ppm de massa relativa.
- Os ETRs apresentaram mobilidade variada no sistema, com todos apresentando anomalias negativas na fase de greisens, sendo o Eu o elemento menos móvel, com variação de 0,015 ppm e o Y apresentando maior mobilidade, com variação de 23,03 ppm.
- O Yb, Dy, La, Ce, Nd e Sm, apresentaram variações de massa pouco expressivas que não chegam a 7 ppm, permanecendo com perda de massa em todos os estágios de alteração hidrotermal.

5. Discussões

▪ Considerações sobre a química mineral e o balanço geoquímico de massa

As mineralizações tipo greisen do depósito da Zona da Bacia, localizado no Maciço Pedra Branca, apresentam particularidades relacionadas à sua química e ao processo de evolução hidrotermal. Já caracterizado brevemente por Botelho (1984) como um depósito de endogreisen formado por cassiterita associada a quartzo-muscovita greisen e a granitos greisenizados, com paragênese de quartzo + albita + muscovita + cassiterita + fluorita + topázio + magnetita + hematita, teria sido originado a partir de transformações tardi/pós magmáticas de rochas graníticas. Esse estudo deu avanço na breve caracterização já realizada anteriormente, permitindo uma descrição em detalhe, principalmente da disposição e evolução da alteração hidrotermal, e da química dos greisens e granitos greisenizados da Zona da Bacia.

As alterações hidrotermais do depósito da Zona da Bacia foram determinadas a partir dos aspectos texturais e da assembleia mineralógica identificados na petrografia. Notou-se que essas alterações não seguiam um padrão geométrico regular de zoneamento químico, estando dispostas de forma desordenada e heterogênea, sendo descritas três principais alterações e os greisens. A alteração 1, é constituída da rocha mais fresca do depósito, classificada em biotita albita granito, contém minerais de quartzo, albita, feldspato potássico, micas de biotita e também cristais de muscovitas preservados, provavelmente de origem magmática; a alteração 2 mostra o processo mais evidente da transformação granítica, com os cristais de albita e biotita sendo parcialmente reequilibrados para micas de origem hidrotermal; na alteração 3, o granito já está praticamente hidrotermalizado pelo processo de greisenização, aqui os cristais de albita e feldspatos já não possuem ocorrência, e a mineralogia é composta principalmente por cristais de quartzo e micas; e os greisens mineralizados ocorrem ao final do processo de alteração dos granitos, com uma assembleia mineralógica constituída por micas litíferas muito finas, topázio, fluorita e cassiterita, resultado dos processos metassomáticos que atuaram na rocha granítica.

A química mineral realizada em cristais de micas dos granitos greisenizados e greisens, permitiram a identificação de variedades de micas tipo annita, siderofilita, muscovita, fengita e, nas fácies mais tardias, polilitonita. A annita, variedade de biotita altamente enriquecida em FeO, só ocorreu na fase mais precoce do processo de greisenização; isso se deve ao fato, do processo hidrotermal atuante em granitos, reduzir gradativamente o conteúdo de FeO presente nas rochas, fazendo com que a biotita rica em FeO seja parcialmente substituída no decorrer da alteração por micas originadas a partir do enriquecimento de voláteis e outros componentes presentes nos fluídos hidrotermais. A siderofilita apresenta ligeiras variações nos teores de FeO, Al_2O_3 , Li_2O e K_2O , sendo as siderofilitas de fases precoces enriquecidas em FeO e Li_2O , enquanto nas fases mais evoluídas do processo de greisenização, os teores de FeO e Li_2O diminuem consideravelmente.

As muscovitas e fengitas se distinguem naquelas ricas em FeO e TiO_2 , que ocorrem variando entre as fases de alteração 1 e 3, e as enriquecidas em K_2O , Al_2O_3 , Na_2O e Li_2O que ocorrem nos greisens, sugerindo que essas micas tenham origem a partir do reequilíbrio e desestabilização de minerais de biotitas e de feldspatos, respectivamente, sendo esta condição característica de reações que conduzem o processo de greisenização. A polilitonita restringe

sua ocorrência aos greisens, com o maior ganho de Li_2O dentre todas as rochas do depósito. O enriquecimento em Li_2O e em alguns elementos em fases tardias pode ser explicado devido à ocorrência de plútons graníticos altamente evoluídos, que promovem o desenvolvimento de fenômenos de greisenização e mineralizações associadas, estes são fortemente enriquecidos em componentes voláteis de Cl, B e F, e também em elementos metálicos de Sn, W, U, Mo, Be, Bi e Li (Pirajno, 2009).

O Rb_2O considerado elemento importante e presente em processos hidrotermais, se apresentou de forma constante na química das micas, não apresentando variações significativas no decorrer das fácies estudadas, o que contrasta com a geoquímica de rocha total, que aponta um aumento progressivo do volume de Rb à medida que a alteração avança. Isto pode ser explicado pelo fato de que o aumento de Rb na rocha total reflete a proporção progressivamente maior de micas que tem nas rochas de cada alteração, sem necessariamente precisar que as micas fiquem mais ricas em Rb.

Os estudos de mobilidade química mostraram que no decorrer do processo de greisenização, grande parte da mineralogia do biotita albita granito foi substituída pela mineralogia dos greisens. Observou-se que os elementos que adquiriram massa ao longo do processo foram Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , MgO , MnO , Rb, Sn, Cs, Ba, Ta, Nb e Ga enquanto os elementos SiO_2 , Na_2O , Zr, Y e W tiveram as perdas mais expressivas no decorrer da alteração granito → greisen.

Essas variações geoquímicas e o comportamento dos elementos refletem na mineralogia da rocha, onde o início do processo é marcado por uma albitização intensa com o enriquecimento de Na_2O e CaO . Nas fases de alterações mais tardias, com a intensa atividade hidrotermal, a albita é substituída por micas e outros minerais de alteração, que fez com que os elementos Na_2O e Ca sejam empobrecidos, incorporando aos greisens principalmente Al_2O_3 e K_2O , e em quantidades expressivas os traços Rb e Sn.

Vale ressaltar que o W foi um elemento que apresentou grande mobilidade no processo, diminuindo até 705,4 ppm do sistema. Botelho (1992), descreveu alguns greisens do depósito Faixa Placha (adjacente a Zona da Bacia) com mineralizações localizadas e de pequeno volume de wolframita, sugere que essas concentrações pontuais que ocorrem na Faixa Placha, representam os locais onde o elemento veio a ser transportado e depositado após sua remobilização das rochas.

O Nb e o Ta também foram elementos que apresentaram comportamento característico, onde permaneceram com perda de massa ou sem ganho expressivo nas fácies precoces, incorporando massa apenas na fácies de greisens, o que sugere que esse comportamento está diretamente relacionado com a presença de nióbio-tantalatos já descritos por Botelho (1992), e que são presentes em assembleias hidrotermais.

Os ETRs foram todos empobrecidos ao longo do processo, não possuindo ganho de massa em nenhuma fase de alteração. Porém, foram constatados teores relativamente menores nos greisens quando comparados com os granitos das fácies mais precoces, o que mostra que esses elementos não conseguiram ser remobilizados pelos fluídos hidrotermais, perdendo massa gradativamente ao longo do processo de greisenização. Marini *et al.*, (1992) em estudos de ETRs na Província estanífera de Goiás, explicam que a ocorrência desses elementos em rochas graníticas está associada ao conteúdo de feldspato potássico e ao grau de metassomatismo; isto é, quanto mais feldspato potássico contém a rocha "granitóide" primária, maior o teor de ETR. Por outro lado, o processo autometassomático tardi a pós-magmático da greisenização atua no sentido contrário; quanto maior o grau de metassomatismo sofrido pela rocha, menor o teor de

ETR. Assim, os granitos "primários" (biotita granitos) podem apresentar os valores mais altos de ETRs, e os greisens os mais baixos.

As variações geoquímicas observadas até aqui podem ser pontualmente relacionadas a aquelas feitas por Feio *et al.*, (2007) nos greisens da Província estanífera de Pitinga, que considera que a remoção de Na e K, a adição de Fe, Sn e S, e o aumento nas concentrações de F e de componentes voláteis são os principais marcadores geoquímicos do processo de greisenização avançada do granito. Estas mudanças químicas refletem a desestabilização do feldspato alcalino perítico do granito e sua gradual substituição no greisen por agregados de siderofilita e topázio. O F e Al_2O_3 são fixados nas micas e no topázio neoformados. O teor de Rb aumenta no greisen, devido à sua retenção na estrutura da siderofilita, enquanto Ba e parte do Sr são removidos devido à desestabilização dos feldspatos.

▪ **Evolução magmática hidrotermal e modelo metalogenético associado**

A Província estanífera de Goiás compreende uma vasta região com muitos depósitos estaníferos associados a diferentes tipos graníticos de idade Mesoproterozóica. O Maciço Pedra Branca corresponde à área tipo da Suíte Pedra Branca, constituída por dois grupos de rochas graníticas denominados de suítes g1 e g2, que compreendem granitos tipo A, com características geoquímicas distintas (Marini e Botelho, 1986; Alvarenga *et al.*, 2007).

Sabe-se que a ocorrência de depósitos de Sn e metais raros (Ta, Nb, W e U) está diretamente associada ao magmatismo granítico. Esses depósitos encontram-se espacialmente associados às zonas apicais de intrusões graníticas rasas (1-4 km de profundidade), em diferentes ambientes tectônicos. As maiores concentrações de Sn ocorrem em ambientes sin-colisionais e anorogênicos (Eadington, 1985).

No depósito da Zona da Bacia a mineralização ocorre através do granito g2d, que é o mais evoluído e mineralizador. Essas mineralizações ocorrem hospedadas em greisens, após um intenso processo de alteração hidrotermal, denominado greisenização, capaz de alterar quimicamente os protólitos graníticos nas fases mais evoluídas. A greisenização ocorre como uma transformação pós-magmática de temperaturas intermediárias (200 a 450°C) e pressões de 0,5 a 2,5 kbar, sob a influência de soluções residuais ácidas, ricas em sílica e constituintes voláteis, conectadas com intrusões graníticas rasas, dando origem aos greisens, e ocorrendo no estágio ácido dos processos pós-magmáticos de granitos, com alternância de fases de microclínização e de albitização. Devido às baixas temperaturas e circulação até profundidades rasas, os fluidos tendem a ser predominantemente aquosos e menos salinos que os fluidos de outros sistemas minerais.

A greisenização inicia-se como a lixiviação dos minerais formadores da rocha e sua substituição por quartzo, fengita, turmalina, topázio, fluorita e outros minerais, dependendo da composição do fluido hidrotermal. Os fluidos das províncias estaníferas são classificados como de origem magmática e distinguem-se entre si principalmente quanto à composição química dominante - fluidos ricos em boro e fluidos ricos em flúor. A temperatura de precipitação de cassiterita situa-se na faixa de 250 a 400°C. (Eadington, 1985; Pollard *et al.*, 1987). Acredita-se que a especialização geoquímica de granitos portadores de Sn seja controlada pelo estado de oxidação de Sn, associado às condições de alta ou baixa fugacidade de oxigênio (Lehmann, 1982 *apud* Pirajno, 1992).

Os conceitos discutidos até aqui e os métodos utilizados nesse trabalho corroboram e acrescentam o modelo metalogenético discutido por Botelho (1984; 1992), que apresenta

considerações a respeito das mineralizações da Zona da Bacia, concluindo que este é um depósito de associação granítica do tipo A, com mineralizações hospedadas em greisens mineralizados a Sn (Fig.24). Trata-se de um sistema rico em lítio e flúor, e sua mineralização ocorre dentro da própria cúpula granítica, através da atividade magmática do granito Pb2d, que é considerado o mais evoluído e diferenciado do Maciço, conduzindo os fluídos enriquecidos em metais raros e Sn até a zona de cúpula, gerando a mineralização com zonas de intensa concentração de cassiterita variando para zonas disseminadas e estéreis. O sistema hidrotermal possui uma geoquímica variada, com mineralogia composta principalmente de micas litínicas, topázio e fluorita, tendo como processo metassomático dominante a substituição dos feldspatos por micas aluminosas litínicas até o seu completo desaparecimento.

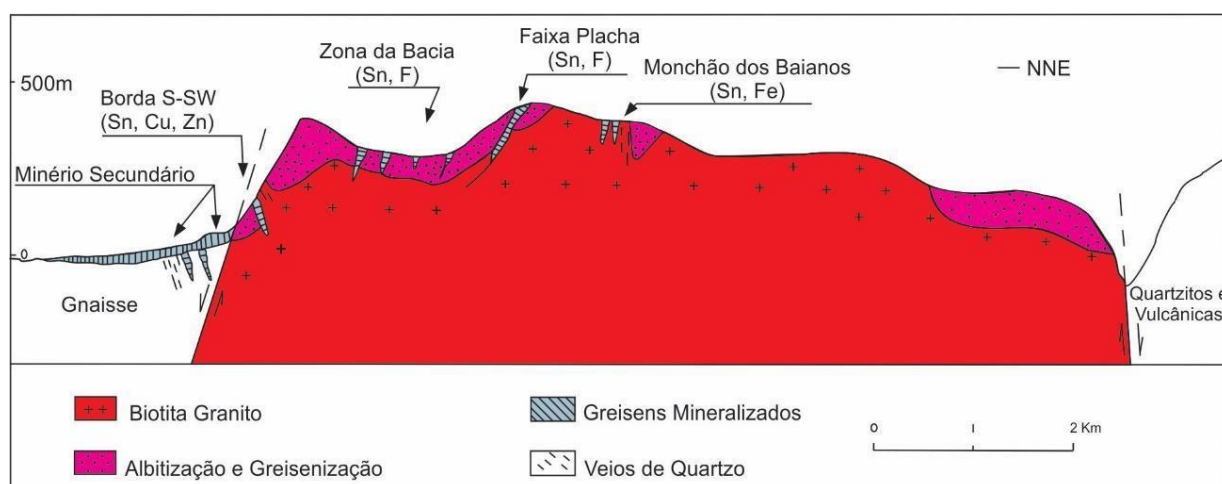


Fig. 24. Perfil esquemático das zonas mineralizadas primárias do Maciço Pedra Branca, com ênfase para o depósito da Zona da Bacia e depósitos adjacentes do Maciço Pedra Branca. Adaptado de Botelho e Rossi (1988).

Botelho (1984), defende que alguns critérios petroquímicos definem que o granito Pedra Branca é especializado metalogeneticamente, com a especialização adquirida apenas nas fases tardi/pós-magmáticas. Esses critérios se referem a: textura de feldspatos potássicos; albitização intensa; alteração de biotitas com surgimento de muscovitas e biotitas secundárias; e desestabilização dos feldspatos. Essas características foram observadas no depósito da Zona da Bacia, e descritas ao longo deste trabalho, sendo esta caracterização importante nas pesquisas de prospecção mineral de regiões ricas em cassiterita.

▪ Aspectos comparativos com outros depósitos estaníferos mineralizados em greisens

Os depósitos adjacentes a Zona da Bacia, pertencente ao granito Pedra Branca podem ser caracterizados pelas suas mineralizações estaníferas associadas a granitos albitizados e greisenizados e greisens. A Faixa Placha é o depósito mais próximo a Zona da Bacia, e representa uma das zonas mineralizadas mais importante do Maciço Pedra Branca, com extensão de 4 km e espessura variável entre 20 e 150 metros, onde afloram biotita-granito greisenizado e greisens. A mineralização que ocorre é toda pré-tectônica. A rocha mineralizada dominante é um topázio-Li-siderofilita-quartzo-greisen, chamado de "greisen preto". A maior concentração de garimpos de cassiterita ocorreu nesta parte central e mais rica da Faixa Placha. Os greisens são constituídos de topázio, quartzo, Li-siderofilita e cassiterita (Botelho e Rossi, 1988).

No Brasil há algumas ocorrências de depósitos estaníferos hospedados em greisens, um importante exemplo é o da Mina de Pitinga, no Amazonas. Trata-se de um depósito de classe mundial, com até 363 milhões de toneladas de minério disseminados com um teor de 0,17% de Sn. Nb e Ta são explorados como subprodutos. Além disso, F, Y, ETR, Zr, U, Th e Li são também considerados como subprodutos em potencial do minério disseminado (Bastos *neto et al.*, 2009).

Os depósitos minerais polimetálicos da Mina Pitinga estão hospedados em dois plútons graníticos altamente fracionados, tipo-A, denominados Madeira (Costi, 2000; Minuzzi, 2005) e Água Boa (Lenharo, 1998). Os corpos mineralizados a cassiterita magmática, criolita, pirocloro, columbita e zircão, estão associados à fácies albita-granito do plútons Madeira (Costi *et al.*, 2005, 2009; Bastos Neto *et al.*, 2005; 2009), enquanto depósitos estaníferos hidrotermais estão hospedados em greisens (Borges, 2002; Borges *et al.*, 2003; 2009; Feio *et al.*, 2007) e epissienitos sódicos (Costi *et al.*, 2002) associados ao plútons Água Boa.

O depósito hospedado em greisen da Mina do Pitinga, ocorre em um sistema associado a granitos anorogênicos, é rico em flúor, e os greisens são compostos essencialmente por quartzo, siderofilita e topázio, acompanhados por quantidades variáveis de fluorita, zinnwaldita, esfalerita, cassiterita, zircão e anatásio (Fig.25). O processo hidrotermal é marcado pela greisenização do protólito granítico, onde ocorre aumento nos conteúdos de topázio, mica e quartzo, e diminuição do feldspato alcalino. Geoquimicamente, as micas dos greisens são enriquecidas em Li, Al e K. A Província estanífera de Pitinga apresenta mineralizações de fácies magmáticas com cassiterita, criolita, pirocloro, columbita, thorita, xenotima e etc.

Muitos aspectos do depósito de Pitinga permitem a comparação com os greisens da Zona da Bacia, em termos de evolução do processo hidrotermal, tipos de fluídos e a precipitação de metais, mas é importante pontuar que a Zona da Bacia não possui mineralizações de fácies magmáticas com minerais principalmente de origem Terras raras como os citados a cima, isso pode ser explicado pelo fato de que a Zona da Bacia corresponde a uma cúpula granítica hidrotermalizada que foi intensamente erodida, dando lugar à topografia em negativo atual (bacia) e aos depósitos secundários aluvionares formados ao pé da serra, como mostrado na fig. 24. Essa provável zona mineralizada magmática teria sido, portanto, removida por erosão.

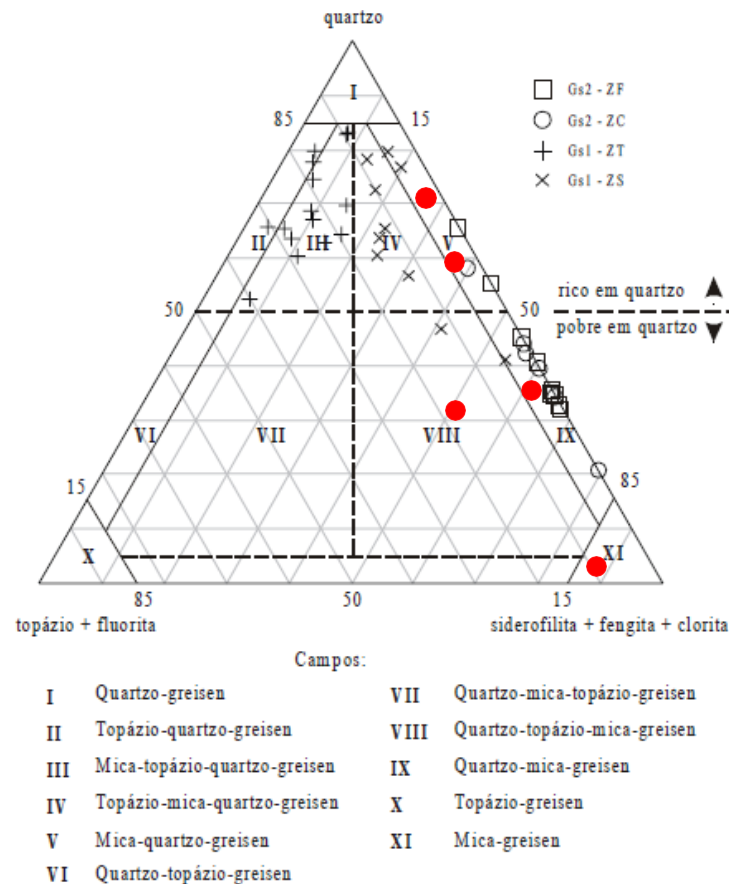


Fig. 25. Distribuição dos greisens associados ao Granito  gua Boa no diagrama triangular de Kühne et al. (1972, modificado). Gs1: greisen 1; Gs2: greisen 2; ZS: zona rica em siderofilita; ZT: zona rica em topázio; ZF: zona rica em fengita; ZC: zona rica em clorita (Borges et al., 2003). Círculos vermelhos representam em plotagem aproximada os greisens da Zona da Bacia descritos nesse trabalho.

No contexto internacional, na África são reconhecidos cinco episódios de enriquecimento em estanho: (1) Arqueano (pr  2500 Ma.), representado pelo depósito de Man Shield, o Crat n Congo, o Crat n Zinbabwe e o Crat n Kaapvaal; (2) Paleoproterozoico (ca. 2000 Ma), na Província Birimiana, no Cinturão Ubendiano e no Complexo Bushveld; (3) Neoproterozóico (ca. 1000 – 900 Ma), no cinturão Kibaran, no Z mbabwe, Namíbia e África do Sul; (4) Neoproterozóico (600-500 Ma) na Eit pia, Somália, Sudão, Arábia Saudita e Egito e; (5) Mesozoico (190-141 Ma) na forma de complexos alcalinos anelares, Jous Platô na N geria (Bowden *et al.*, 1976 *apud* Kinnaird, 2016).

Os “*Younger granites*” são os granitos anorogênicos da N geria e ocorrem na extensão sul dos complexos anelares anorogênicos do Níger (Fig.26). Esses granitos possuem afinidade geoquímica peralcalina, peraluminosa e metaluminosa. As mineralizações em zonas de cúpula granítica ocorrem no complexo Ririwai, no Jos-Bukuru e no Saiya Shokobo. O processo de alteração hidrotermal, por de meio da greisenização, deu origem a greisens com cassiterita, wolframita, rutilo, e em menores quantidades, columbita, por meio de mineralizações disseminadas ou pervasivas (Kinnaird, 1985; 1987). Quimicamente, o metassomatismo e o desenvolvimento dos greisens,   caracterizado por uma diminuição acentuada em K e Al, devido a diminuição de feldspatos, e um aumento em Si. Há um aumento em Li com o crescimento de micas verdes lit n feras, além de um aumento substancial nos elementos de Sn, Pb, Zn, Fe, W e Cu (Kinnaird, 1985).

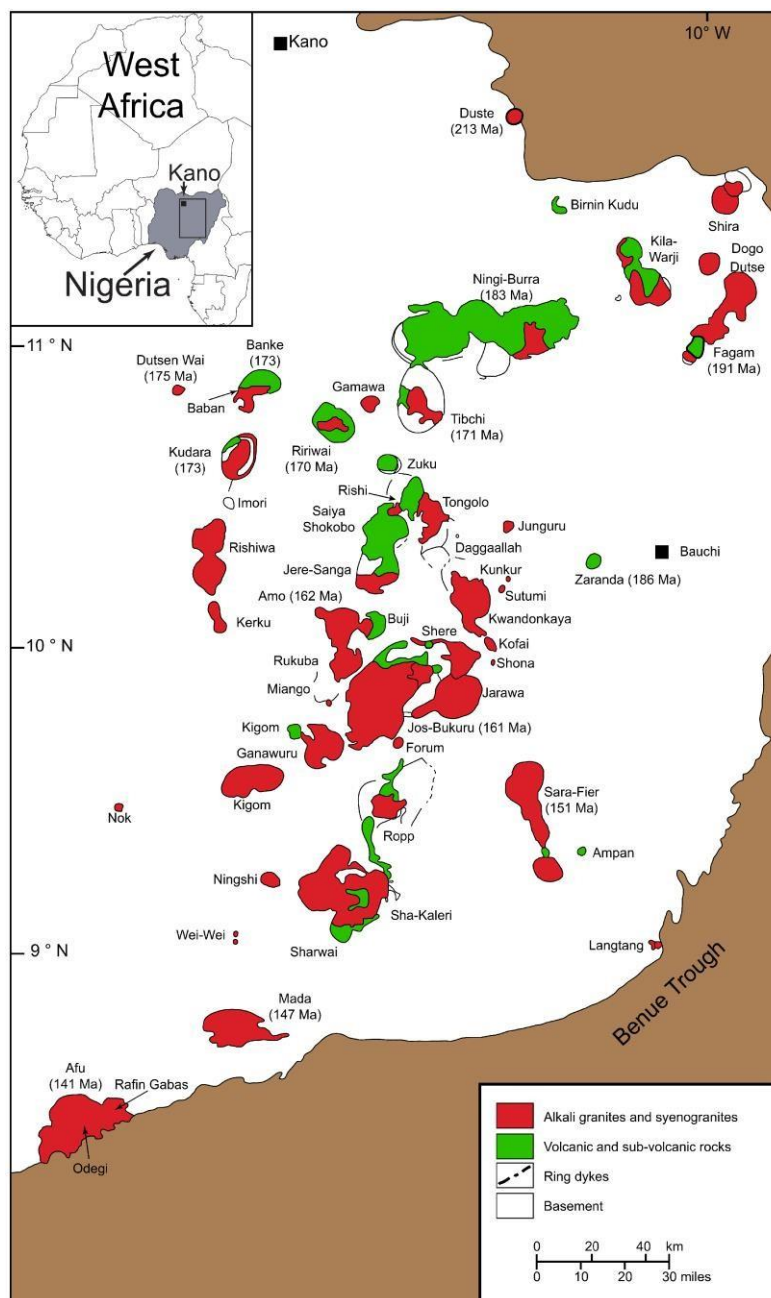


Fig. 26. Os complexos anelares anorogênicos mesozoicos da Nigéria, onde ocorrem os depósitos de Sn (Kinnaird, 2016).

A ocorrência das mineralizações tipo greisen da Zona da Bacia se relacionam com diversas características de depósitos estaníferos que ocorrem pelo mundo, principalmente aqueles relacionados ao magmatismo de granitos anorogênicos. O que determina de fato a assembleia mineral e a geoquímica de cada depósito é a natureza da rocha encaixante, a química da rocha mineralizadora e, principalmente, os elementos, voláteis e metais carregados pelo fluido hidrotermal durante o processo de alteração que dá origem a essas mineralizações.

6. Conclusões

Os dados obtidos neste trabalho, juntamente com a discussão proposta no capítulo anterior a respeito das mineralizações tipo greisen da Zona da Bacia, nos guiaram às conclusões de que:

- A ocorrência das mineralizações do depósito da Zona da Bacia, são de origem tardi/pós magmática, ficando evidente a atuação de processos hidrotermais nos granitos greisenizados e nos greisens, que tem sua mineralogia e química alteradas e substituídas ao longo do processo, tendo as mineralizações constituídas essencialmente por micas litínicas, topázio, fluorita e o minério de cassiterita, mostrando que esse é um sistema Li-F;
- As mineralizações não apresentam padrão geométrico regular de zoneamento químico e encontram-se dispostas de forma heterogênea ao longo do depósito. São classificados nesse trabalho três tipos de alteração e os greisens, na base de análises petrográficas;
- As análises de química mineral realizadas nas micas dos greisens e granitos greisenizados foram fundamentais para caracterizar a evolução geoquímica e associar os elementos químicos a determinados graus de alteração; destaca-se a ocorrência em fácies precoces de micas de biotita primária, annita e siderofilita, com alto enriquecimento em Fe, enquanto que em fácies tardias essas micas correspondem exclusivamente a muscovita, fengita e polilitionita, com uma tendência gradativa ao enriquecimento em Li.
- Os processos metassomáticos que afetaram as rochas da Zona da Bacia provocaram a mobilidade de diversos elementos, fazendo com que ao final do processo de greisenização fossem incorporados ao sistema teores significantes de Rb, Sn, K₂O, Al₂O₃ e Fe₂O₃, enquanto os componentes W, Zr, Y, SiO₂ e Na₂O foram retirados em quantidades variadas no decorrer da alteração.
- Os ETRs apresentaram comportamentos semelhantes, com perda de massa em todas as alterações. Em granitos com alteração incipiente, os conteúdos são maiores quando comparados aos greisens.
- Observou-se que os greisens da Zona da Bacia têm gênese e características químicas e mineralógicas próximas daquelas já descritas na literatura para outros depósitos, como os greisens da Província estanífera de Pitinga e os dos depósitos estaníferos nigerianos. Vale ressaltar que a cassiterita ainda é explorada tanto em Pitinga como na Nigéria. O depósito da Zona da Bacia teve seu ápice extrativo nos anos 1980, e hoje encontra-se em investigação para futuras explorações.
- Esse trabalho é o primeiro estudo de detalhe das rochas hidrotermalizadas da Zona da Bacia, o que permitiu caracterizar esse depósito em uma escala regional, visto que os

depósitos adjacentes no Maciço Pedra Branca já possuem estudos concluídos. Sugere-se que mais métodos possam ser aplicados na região para um melhor avanço das pesquisas.

Referências bibliográficas

- Alvarenga, C.J.S., Botelho, N.F., Dardenne, M.A., Lima, O.N.B., Machado, M.A. 2007. Geologia das folhas Monte Alegre de Goiás (SD.23-V-C-III), Cavalcante (SD.23-V-C-V) e Nova Roma (SD.23-V-C-VI), Escala 1:100.000. CPRM-UnB. Nota explicativa das folhas. 67 p.
- Bastos Neto, A.C., Pereira, V.P., Ronchi, L.H., Lima, E.F., Frantz, J.C. 2009. The world-class Sn, Nb, Ta, F (Y, REE, Li), deposit and the massive cryolite associated with the albite enriched facies of the madeira A-type granite, Pitinga Mining District, Amazonas State, Brazil. *Canadian Mineralogist* 47:1329–1357.
- Bastos Neto, A.C.; Pereira, V.P.; Lima E.F.; Ferron J.M.T.M.; Minuzzi, O.R.R.; Pado, M.; Ronchi, L.H.; Flores, J.; Frantz, J.C.; Pires, A.; Pierosan, R.; Hoff, R.; Botelho, N.F.; Rolim, S.B.; Rocha, F., Ulmann, L. 2005. A Jazida de Criolita da Mina Pitinga (Amazonas). In: O.J. Marini; E.T. Queiroz; B.W. Ramos. (Org.). Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. Brasília: DNPM/CTMINERAL/ADIMB, 1:477-552.
- Borges, R.M.K. 2002. Greisens e epissienitos potássicos associados ao Granito Água Boa, Pitinga (AM): Um estudo dos processos hidrotermais geradores de mineralizações estaníferas. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 383 p.
- Borges, R.M.K., Dall’agnol, R., Costi, H.T. 2003. Geologia, petrografia e química mineral das micas dos greisens estaníferos associados ao plúton Água Boa, Pitinga (A M). *Revista Brasileira de Geociências*, 33(1):51-62.
- Borges, R.M.K., Villas, R.N.N., Fuzikawa, K., Dall’agnol R., Pimenta, M.A. 2009. Phase separation, fluid mixing, and origin of the greisens and potassic episyenite associated with the Água Boa plúton, Pitinga tin province, Amazonian Craton, Brazil. *J. S. Am. Earth. Sci.*, 27:161-183.

- Botelho, N.F. 1984. O Granito Pedra Branca (Goiás) e as mineralizações de estanho associadas. Tese de mestrado. Universidade de Brasília. 258 p.
- Botelho, N.F. 1992. Les ensembles granitiques subalcalins a peralumineux mineralises en Sn et In de la Sous-Province Parana, etat de Goiás, Bresil. Tese de doutorado. Université Pierre et Marie Curie (Paris VI). 344 p.
- Botelho, N.F., Alvarenga, C.J.S., Fuck, R.A., Dardenne, M.A., Meneses, P.R., Dantas, E.L., Nascimento, C.T., Guimarães, E.M. 2005. Trabalho de mapeamento geológico final, projeto Nova Roma-Porto Real. Alunos do curso de graduação em geologia. Universidade de Brasília. Mapa geológico em escala 1:60.000.
- Botelho, N.F., Alvarenga, C.J.S., Menezes, P.R., D'El-Rey-Silva, L.J.H. 1999. Suíte Aurumina: uma suíte de granitos Paleoproterozóicos, peraluminosos e sin-tectônicos na faixa Brasília. VII Simpósio de Geologia do Centro-Oeste e X Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Brasília. Resumo volume. p. 17.
- Botelho, N.F., Marini, O.J. (orientador). 1982. Os granitos estaníferos de Goiás: caracterização da província estanífera do estado. Relatório final PIBIC N°10.5398/79, 110GC. 70 p.
- Botelho, N.F., Rossi, G. 1988. Depósito de estanho de Pedra Branca, Nova Roma, Goiás. Em: Schobbenhaus, C., Coelho, C.E.S. (Eds.). Principais depósitos minerais do Brasil. Vol. III. DNPM. 267-285 p.
- Chappell, B. W.; White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, v. 8, 173–174.
- Costi, H.T., 2000. Petrologia de granitos alcalinos com alto flúor mineralizados em metais raros: o exemplo do albita-granito da mina Pitinga, Amazonas, Brasil. Teses de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil.
- Costi, H.T., Borges, R.M.K. & Dall'agnoll, R. 2005. Depósitos de estanho da Mina Pitinga, Estado do Amazonas, In: Marini, J.O., Queiroz, E., Ramos, B.W (Ed). Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia. Brasília, DNPM/ADIMB LibertyMall. P. 391-475.
- Costi, H.T., Dall'agnoll, R., Borges, R.M.K., Minuzzi, O.R.R. & Teixeira, J.T. 2002. Tin-bearing sodic epy sienites associate with the proterozoic, A-Type Água Boa granite pitinga mine, Amazonian craton Brazil. *Gondwana Research*, 5. P. 435-451.

- Costi, H.T., Dall'agnol, R., Pichavant, M. Rämö, O. T. 2009. The peralkaline tin mineralized Madeira cryolite Albite-Rich granite of Pitinga, Amazonian craton, Brazil: Petrography, mineralogy and crystallization processes. *The Canadian Mineralogist*, 47, 1301-1327.
- Cuadros, F.A., Botelho, N.F., Fuck, R.A., Dantas, E.L. 2017a. The peraluminous Aurumina Granite Suite in central Brazil: an example of mantle-continental crust interaction in a Paleoproterozoic cordilleran hinterland setting? *Precambrian Research*, 299: 75-100 (<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.07.029>).
- Cuadros, F.A., Botelho, N.F., Fuck, R.A., Dantas, E.L. 2017b. The Ticunzal Formation in central Brazil: Record of Rhyacian sedimentation and metamorphism in the western border of the São Francisco Craton. *Journal of South American Earth Sciences*, 79: 307-325 (<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.08.014>).
- Dardenne, M.A. 2000. The Brasilia Fold Belt. Em: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A., Campos, D.A. (Eds.). *Tectonic evolution of South America*. 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro. pp. 231-263.
- Eadington, P.J., 1985, The solubility of cassiterite in hydrothermal solutions in relation to some lithological and mineral associations of tin ores. In: Taylor, R.P.; Strong, D.F. Eds. *Recent advances in the geology of granite-related mineral deposits*. Montreal: Canadian Institute of mining and metallurgy, special volume 39, p.25-32.
- Feio, G.R.L., Dall'agnol, R., Borges, R.M.K. 2007. Greisens associados ao topázio-granito do plúton Água Boa, Província Estanífera de Pitinga: Petrografia e Balanço de massa. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(3):2-17.
- Fuck, R.A., Pimentel, M.M., D'El-Rey-Silva, L.J.H. 1994. Compartimentação tectônica na porção oriental da Província Tocantins. 38° Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camboriú, SC. Resumos, Vol. 1: 215-216.
- Grant, A.G. 1986. The isocon diagram-A simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geology*, 81:1976-1982.
- Gresens, R.L. 1967. Composition-volume relationship of metasomatism. *Chemical Geology*, 2:47-65.
- Kinnaird, J. A., Paul, A. M., Milani, L., 2016. Tin in África. EGRI, School of Geosciences, University of the Witwatersrand. Vol. 39, no. 2.

- Kinnaird, J.A., 1985. Hydrothermal alteration and mineralization of the alkaline anorogenic ring complexes of Nigeria: *Journal of African Earth Sciences*, 3, 259-251.
- Kinnaird, J.A., 1987. Hydrothermal alteration and mineralisation of the Nigerian anorogenic ring complexes: with special reference to the Saiya Shokobo complex. PhD. Thesis, St. Andrews University pp. 533.
- Lenharo, S.L.R., 1998. Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da região de Pitinga, Amazonas, Brasil. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 290p.
- Loiselle, M.C. and Wones, D.R., 1979. Characteristics of Anorogenic Granites. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 11, 468.
- Marini, O. J., Botelho, N. F., Rossi, P. 1992. Elementos terras raras em granitóides da Província Estanífera de Goiás. *Rev. Bras. Geoc.*, 22: 61-72.
- Marini, O.J., Botelho, N.F. 1986. A província de granitos estaníferos de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(1): 119-131.
- Minuzzi, O.R.R., 2005. Gênese e evolução da mineralização de criolita, pirocloro e columbita da subfácies albita granito de núcleo, mina Pitinga, Amazonas, Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 182p.
- Pimentel, M.M., Heaman, L., Fuck, R.A., Marini, O.J., 1991. U-Pb zircon geochronology of Precambrian tin-bearing continental-type acid magmatism in central Brazil. *Precambrian Research*, 52(3-4): 321–335 ([https://doi.org/10.1016/0301-9268\(91\)90086-P](https://doi.org/10.1016/0301-9268(91)90086-P)).
- Pimentel, M.M., Jost, H., Fuck, R.A. 2004. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. Em: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Eds.). *Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Ed. Beca. pp. 355-368.
- Pirajno, F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. Springer-Verlag, New York. 709p.
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and wall rock alteration. In *Hydrothermal processes and mineral systems*. Springer, Dordrecht, (pp. 73-164).
- Pollard, P.J.; Pichavant, M.; Charoy, B., 1987, Contrasting evolution of fluorine- and boron-rich tin systems. *Mineralium Deposita*, v.22 no.4, p. 315-321.

Stemprok, M., 1987. Greisenization (a review). *Geologische Rundschau*, v. 76, p. 169-175.

Tischendorf, G. Foster, H.J. Gottesmann B., e Rieder, M. 2007. True and brittle micas: composition and solid-solution series. *Mineralogical Magazine*, 71: 285-320.

Tischendorf, G.; Rieder, M.; Gottesmann, B.; Guidotti, C.V. 2004. A new graphical presentation and subdivision of potassium micas. *Mineralogical Magazine*, v. 68, p. 649-667.

Valeriano, C.M., Pimentel, M.M., Heilbron, M., Almeida, J.C.H., Trouw, R.A.J. 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. Em: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito-Neves, B.B., De Wit, M.J. (Eds.) *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Geological Society, London, *Special Publications*, 294: 197-210.

APÊNDICES

Apêndice 1. Tabela com análises químicas das micas da alteração 1.

Amostra	PB81A-702	PB81A-721	PB81A-X	PBFC001-01-C3-1	PBFC001-01-C3-2	PBFC001-01-C3-3	PBFC001-01-C5-1	PBFC001-01-C5-4	PBFC04-1-C5-1b	PB10A-2	PB10A-5	PB10A-6	PB10A-8
Análise	Alteração 1- Annita					Alteração 1- Siderofilita							
%Peso													
SiO ₂	33,33	33,76	33,54	43,82	35,72	36,66	44,55	45,14	41,72	39,56	39,68	38,99	39,72
TiO ₂	1,94	1,57	1,76	0,26	0,74	1,15	0,58	0,41	0,72	0,53	0,00	0,21	0,00
Al ₂ O ₃	17,24	17,49	17,37	23,60	19,83	19,92	23,78	22,53	21,78	21,44	22,45	21,52	22,41
FeO	30,74	30,29	30,52	13,40	26,55	24,81	12,04	12,36	17,15	19,48	19,79	21,26	20,28
MnO	0,22	0,40	0,31	0,40	0,49	0,34	0,27	0,26	0,34	0,94	0,77	0,71	0,67
MgO	1,99	2,01	2,00	0,10	0,08	0,06	0,06	0,11	0,05	0,29	0,07	0,09	0,08
CaO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,03	0,00	0,02	0,08	0,26	0,16	0,08	0,04	0,08	0,03	0,03	0,02	0,06
Li ₂ O	0,17	0,10	0,00	1,68	1,53	1,67	1,55	1,86	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	9,04	9,58	9,31	10,67	9,87	9,85	10,95	10,47	9,79	10,17	9,52	9,49	9,56
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,53	0,32	0,43	0,48	0,96	0,76	0,39	0,47	0,83	0,87	1,00	1,02	0,92
F	0,54	0,48	0,51	2,99	2,78	2,97	2,81	3,23	5,33	2,32	1,89	1,84	1,79
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
- O = F ₂	0,23	0,20	0,21	1,26	1,17	1,25	1,18	1,36	2,24	-0,98	0,80	0,77	0,75
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,44	3,48	3,45	2,72	2,46	2,41	2,83	2,63	1,51	2,78	3,00	2,98	3,06
TOTAL	98,98	99,22	99,28	98,97	100,15	99,67	98,72	98,16	99,58	97,51	97,55	97,43	98,01
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions													
Sítio T.													
Si	2,70	2,73	2,723	3,17	2,80	2,85	3,21	3,27	3,08	3,06	3,05	3,04	3,05
^{IV} Al	1,30	1,27	1,277	0,83	1,20	1,15	0,79	0,73	0,92	0,94	0,95	0,96	0,95
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.													
^{VI} Al	0,35	0,40	0,38	1,19	0,63	0,67	1,23	1,19	0,97	1,02	1,09	1,01	1,08
Ti	0,12	0,10	0,11	0,01	0,04	0,07	0,03	0,02	0,04	0,03	0,00	0,01	0,00
Li	0,06	0,03	0,00	0,49	0,48	0,52	0,45	0,54	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,24	0,24	0,24	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
Fe ²⁺	2,09	2,05	2,07	0,81	1,74	1,61	0,73	0,75	1,06	1,26	1,27	1,38	1,30
Mn	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06	0,05	0,05	0,04
	2,86	2,84	2,83	2,54	2,94	2,90	2,46	2,52	2,80	2,40	2,42	2,46	2,43
Sítio I.													
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
K	0,94	0,99	0,96	0,99	0,99	0,98	1,01	0,97	0,92	1,00	0,93	0,94	0,94
Rb	0,02	0,01	0,02	0,02	0,05	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,96	1,00	0,99	1,02	1,08	1,05	1,04	1,00	0,98	1,05	0,99	1,00	0,99

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 2. Tabela com análises químicas das micas da alteração 1.

Amostra	PBFC001-01-C1-01-b	PBFC001-01-C1-01	PBFC001-01-C1-02	PBFC001-01-C1-m02	PBFC001-01-C4-mm-02	PBFC001-01-C5-01	PBFC001-01-C5-02	PBFC001-01-C5-05	PBFC001-01-C5-mm-02	PBFC001-01-C6-01	PBFC001-01-C6-02	PBFC001-01-C6-03	PBFC-010-3-C1-02
Análise	Alteração 1- Muscovita-fengita												
%Peso													
SiO ₂	45,00	45,70	46,03	45,13	46,70	44,55	46,87	45,86	45,58	45,58	45,99	45,34	49,96
TiO ₂	0,40	0,35	0,37	0,74	0,28	0,58	0,33	0,76	0,00	0,05	0,09	0,00	0,39
Al ₂ O ₃	25,24	24,90	25,58	26,65	24,47	23,78	24,34	23,71	24,73	25,65	25,83	26,38	26,00
FeO	10,34	11,21	9,92	9,28	10,30	12,04	9,93	10,52	9,78	9,46	9,76	9,16	7,45
MnO	0,23	0,09	0,25	0,15	0,32	0,27	0,11	0,21		0,23	0,23	0,15	0,25
MgO	0,05	0,11	0,05	0,08	0,10	0,06	0,11	0,10	0,07	0,08	0,09	0,09	1,03
CaO	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,04	0,01	0,02	0,08
Na ₂ O	0,08	0,07	0,16	0,09	0,05	0,08	0,12	0,08	0,09	0,09	0,10	0,13	0,16
Li ₂ O	1,46	1,50	1,40	1,23	1,50	1,55	1,60	1,51	1,55	1,45	1,34	1,29	0,95
K ₂ O	10,89	10,20	10,90	10,76	11,00	10,95	10,94	10,70	11,12	10,88	10,97	11,01	10,61
BaO	0,00	0,00	0,01	0,11	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,39	0,36	0,53	0,35	0,47	0,39	0,28	0,59	0,38	0,42	0,41	0,53	0,36
F	2,69	2,74	2,60	2,37	2,75	2,81	2,88	2,76	2,81	2,68	2,52	2,45	1,94
Cl	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
- O = F ₂	1,13	1,15	1,10	1,00	1,16	1,18	1,21	1,16	1,18	1,13	1,06	1,03	0,82
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	2,94	2,93	3,00	3,13	2,92	2,83	2,88	2,90	2,88	2,97	3,05	3,08	3,44
TOTAL	98,58	98,99	99,73	99,09	99,76	98,72	99,19	98,55	98,07	98,49	99,33	98,59	101,80
	Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.													
Si	3,21	3,24	3,23	3,18	3,29	3,21	3,30	3,27	3,26	3,24	3,24	3,21	3,36
IVAl	0,79	0,76	0,77	0,82	0,71	0,79	0,70	0,73	0,74	0,76	0,76	0,79	0,64
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.													
VAl	1,33	1,32	1,35	1,39	1,31	1,23	1,32	1,27	1,34	1,38	1,38	1,42	1,42
Ti	0,02	0,02	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Li	0,42	0,43	0,40	0,35	0,42	0,45	0,45	0,43	0,45	0,41	0,38	0,37	0,26
Mg	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10
Fe ²⁺	0,62	0,66	0,58	0,55	0,61	0,73	0,58	0,63	0,58	0,56	0,57	0,54	0,42
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	2,41	2,44	2,37	2,35	2,39	2,46	2,39	2,40	2,40	2,38	2,37	2,35	2,24
Sítio I.													
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
K	0,99	0,92	0,98	0,97	0,99	1,01	0,98	0,97	1,01	0,99	0,99	1,00	0,91
Rb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,02	0,95	1,02	1,00	1,02	1,04	1,01	1,01	1,04	1,02	1,02	1,04	0,95

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 3. Tabela com análises químicas das micas da alteração 1.

Amostra	PBFC-010-3-C6-m-01	PBFC-010-3-C6-m-02	PBFC-010-3-C6-mm-03	PBFC-010-3-C7-m-01	PBFC04-1-C1-mm-02	PBFC04-1-C2-mm-01	PBFC04-1-C2-mm-02	PBFC04-1-C2-mm-3	PBFC04-1-C2-mm-04	PBFC04-1-C3-mm-01	PBFC04-1-C2-mm-02	PBFC04-1-C3-mm-03	PBFC04-1-C3-mm-04	PBFC04-1-C6-mm-01
Análise	Alteração 1- Muscovita-fengita													
%Peso														
SiO ₂	48,07	48,77	48,88	49,51	47,74	47,89	47,09	47,21	47,58	47,01	47,15	48,25	46,89	48,15
TiO ₂	1,10	0,18	0,60	0,32	0,13	0,19	0,33	0,13	0,23	0,20	0,18	0,03	0,13	0,29
Al ₂ O ₃	26,68	26,52	25,26	26,45	30,63	30,45	31,30	30,64	30,60	31,24	30,63	30,91	29,82	29,90
FeO	7,43	7,75	7,37	7,26	4,46	4,41	3,94	4,39	4,70	4,41	4,27	4,52	4,39	5,17
MnO	0,07	0,27	0,16	0,09	0,26	0,11	0,10	0,13	0,20	0,21	0,17	0,20	0,23	0,17
MgO	0,62	0,78	1,14	0,84	0,26	0,24	0,24	0,27	0,22	0,19	0,26	0,22	0,26	0,32
CaO	0,06	0,04	0,01	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00
Na ₂ O	0,07	0,06	0,11	0,11	0,12	0,08	0,10	0,07	0,11	0,09	0,17	0,06	0,11	0,13
Li ₂ O	0,88	1,03	0,80	0,90	0,94	0,97	0,73	1,08	0,93	0,93	1,10	0,94	0,86	1,14
K ₂ O	10,17	10,88	10,90	10,79	11,03	10,93	11,43	11,28	11,54	10,79	10,94	11,42	10,79	11,33
BaO	0,00	0,12	0,01	0,00	0,05	0,00	0,08	0,12	0,05	0,04	0,04	0,04	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,51	0,39	0,45	0,27	0,45	0,33	0,36	0,23	0,45	0,30	0,26	0,32	0,38	0,47
F	1,83	2,07	1,71	1,87	1,94	1,97	1,60	2,15	1,91	1,92	2,17	1,93	1,80	2,24
Cl	0,01	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
- O = F ₂	0,77	0,87	0,72	0,79	0,82	0,83	0,67	0,90	0,81	0,81	0,91	0,81	0,76	0,94
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,47	3,35	3,51	3,47	3,48	3,47	3,64	3,37	3,48	3,49	3,37	3,49	3,53	3,33
TOTAL	100,19	101,33	100,21	101,13	100,69	100,22	100,28	100,16	101,21	100,02	99,79	101,55	98,46	101,68
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions														
Sítio T.														
Si	3,29	3,31	3,36	3,35	3,21	3,23	3,18	3,20	3,20	3,18	3,20	3,22	3,23	3,22
IVAl	0,71	0,69	0,64	0,65	0,79	0,77	0,82	0,80	0,80	0,82	0,80	0,78	0,77	0,78
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.														
VIAl	1,44	1,44	1,40	1,46	1,64	1,65	1,68	1,64	1,63	1,67	1,64	1,65	1,65	1,58
Ti	0,06	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Li	0,24	0,28	0,22	0,25	0,26	0,26	0,20	0,29	0,25	0,25	0,30	0,25	0,24	0,31
Mg	0,06	0,08	0,12	0,08	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
Fe ²⁺	0,43	0,44	0,42	0,41	0,25	0,25	0,22	0,25	0,26	0,25	0,24	0,25	0,25	0,29
Mn	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	2,23	2,27	2,20	2,22	2,20	2,20	2,14	2,22	2,19	2,21	2,23	2,19	2,18	2,23
Sítio I.														
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
K	0,89	0,94	0,95	0,93	0,95	0,94	0,99	0,97	0,99	0,93	0,95	0,97	0,95	0,97
Rb	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,92	0,97	0,99	0,96	0,98	0,96	1,02	1,00	1,03	0,96	0,98	1,00	0,98	1,00

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 4. Tabela com análises químicas das micas da alteração 1.

Amostra	PBFC04-1-C6-mm-02	PBFC04-1-C6-mm-03	PBFC04-1-C5-bt-1b	PB10A-7	PB10A-10	PB10A-3	PB10A-4	PB81A-701	PB81A-703	PB81A-709	PB81A-710	PB81A-704	PB81A-712
Análise	Alteração 1- Muscovita-fengita												
%Peso													
SiO ₂	48,20	47,66	41,72	45,35	40,90	47,16	46,20	45,33	47,11	46,30	43,87	46,88	46,49
TiO ₂	0,27	0,31	0,72	0,29	0,22	0,34	0,00	0,82	0,36	0,51	0,30	0,11	0,01
Al ₂ O ₃	29,47	30,53	21,78	24,28	21,21	23,88	25,70	28,09	27,21	28,23	29,59	31,08	32,08
FeO	5,53	4,73	17,15	12,54	19,68	10,67	10,36	9,37	7,80	7,85	9,64	6,12	5,73
MnO	0,24	0,22	0,34	0,46	0,85	0,47	0,32	0,00	0,08	0,17	0,06	0,00	0,14
MgO	0,25	0,26	0,05	0,06	0,14	0,37	0,28	0,78	1,07	0,74	0,15	0,21	0,09
CaO	0,00	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,11	0,10	0,08	0,10	0,04	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,09	0,18	0,18
Li ₂ O	1,12	0,89	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	11,23	11,25	9,79	10,52	9,73	9,94	9,82	10,70	10,67	11,00	11,14	10,24	10,62
BaO	0,05	0,00	0,06	0,00	0,00	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,38	0,34	0,83	0,59	0,98	0,58	0,47	0,16	0,17	0,45	0,20	0,27	0,17
F	2,21	1,86	5,33	1,64	1,84	1,88	1,58	0,51	0,72	0,75	0,50	0,25	0,45
Cl	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- O = F ₂	0,93	0,78	2,24	0,69	0,77	0,79	0,67	0,21	0,30	0,32	0,21	0,11	0,19
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,33	3,51	1,51	3,37	3,05	3,31	3,44	4,05	3,97	3,96	4,02	4,28	4,20
TOTAL	101,46	100,95	99,58	98,51	98,00	99,19	97,56	99,66	99,06	99,72	99,51	99,99	100,08
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions													
Sítio T.													
Si	3,24	3,21	3,08	3,28	3,13	3,37	3,31	3,17	3,28	3,22	3,09	3,19	3,16
IVAl	0,76	0,79	0,92	0,72	0,87	0,63	0,69	0,83	0,72	0,78	0,91	0,81	0,84
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.													
VIAl	1,57	1,63	0,97	1,35	1,05	1,37	1,48	1,48	1,51	1,53	1,54	1,69	1,73
Ti	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,02	0,00	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00
Li	0,30	0,24	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,03	0,08	0,11	0,08	0,02	0,02	0,01
Fe ²⁺	0,31	0,27	1,06	0,76	1,26	0,64	0,62	0,55	0,45	0,46	0,57	0,35	0,33
Mn	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
	2,24	2,19	2,80	2,16	2,39	2,10	2,15	2,15	2,10	2,10	2,15	2,07	2,07
Sítio I.													
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
K	0,96	0,97	0,92	0,97	0,95	0,90	0,90	0,95	0,95	0,97	1,00	0,89	0,92
Rb	0,02	0,01	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,99	1,00	0,98	1,01	1,00	0,96	0,93	0,97	0,96	1,00	1,02	0,93	0,95

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 5. Tabela com análises químicas das micas da alteração 2.

Amostra	PB136-747	PB08A-121	PB08A-122	PB08A-123	PB08A-124	PB08A-125	PB08A-126	PB08A-127	PB08A-725	PB08A-726	PB08A-727	PB08A-X	PB70A-43	PB70A-44
Análise	Alteração 2- muscovita-fengita													
%Peso														
SiO ₂	47,86	47,15	47,92	48,18	46,37	45,81	47,04	48,29	46,88	47,26	46,66	47,16	48,76	48,56
TiO ₂	0,12	0,23	0,13	0,34	0,30	0,40	0,10	0,10	0,01	0,10	0,19	0,19	0,52	0,30
Al ₂ O ₃	30,96	27,17	27,01	25,90	27,31	27,08	27,76	27,82	27,55	27,43	26,09	27,11	25,60	27,38
FeO	4,79	8,19	8,22	8,93	8,44	9,39	8,18	7,34	8,45	8,32	10,21	8,57	8,32	7,41
MnO	0,07	0,24	0,24	0,22	0,10	0,20	0,00	0,15	0,27	0,17	0,26	0,19	0,23	0,12
MgO	0,30	0,33	0,29	0,27	0,26	0,21	0,22	0,25	0,40	0,41	0,31	0,30	0,17	0,26
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,10	0,07	0,04	0,05	0,08	0,06	0,08	0,05	0,07	0,08	0,05	0,06	0,06	0,05
Li ₂ O	0,17	0,19	0,18	0,18	0,12	0,12	0,12	0,20	0,14	0,17	0,19	0,16	0,00	0,00
K ₂ O	10,69	10,74	10,67	10,71	10,79	10,80	10,50	10,73	11,03	10,71	10,81	10,75	10,15	10,25
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,16	0,45	0,42	0,32	0,31	0,33	0,41	0,32	0,34	0,42	0,32	0,36	0,37	0,40
F	1,30	1,40	1,34	1,35	1,03	1,05	1,06	1,44	1,18	1,32	1,20	1,24	3,46	2,81
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- O = F ₂	0,55	0,59	0,56	0,57	0,43	0,44	0,45	0,61	0,50	0,56	0,51	0,52	-1,46	-1,18
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,81	3,64	3,69	3,67	3,77	3,75	3,80	3,68	3,75	3,69	3,70	3,71	2,66	3,01
TOTAL	99,88	99,21	99,59	99,55	98,45	98,76	98,82	99,76	99,78	99,64	99,56	99,31	98,96	99,46
	Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions													
Sítio T.														
Si	3,24	3,29	3,32	3,35	3,26	3,24	3,28	3,32	3,26	3,28	3,28	3,29	3,40	3,35
IVAl	0,76	0,71	0,68	0,65	0,74	0,76	0,72	0,68	0,74	0,72	0,72	0,71	0,60	0,65
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.														
VIAl	1,71	1,52	1,53	1,48	1,53	1,49	1,57	1,58	1,52	1,53	1,44	1,52	1,51	1,58
Ti	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02
Li	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,00	0,00
Mg	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
Fe ²⁺	0,27	0,48	0,48	0,52	0,50	0,55	0,48	0,42	0,49	0,48	0,60	0,50	0,49	0,43
Mn	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	2,07	2,12	2,11	2,11	2,11	2,13	2,11	2,09	2,11	2,12	2,16	2,12	2,05	2,05
Sítio I.														
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K	0,92	0,96	0,94	0,95	0,97	0,97	0,93	0,94	0,98	0,95	0,97	0,96	0,90	0,90
Rb	0,01	0,02	0,18	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,94	0,99	1,13	0,97	0,99	1,00	0,96	0,96	1,00	0,98	0,99	0,98	0,93	0,93

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 6. Tabela com análises químicas das micas da alteração 2.

Amostra	BFC012-1-C1-mm-1	BFC012-1-C1-mm-2	PBFC012-1-C1-mm-3	PBFC012-1-C1-mm-4	PBFC012-1-C1mm-5	PBFC012-1-C1-mc-1	PBFC012-1-C1-mc-2c	PBFC012-1-C1-mc-2b	PBFC012-1-C2-mc-1	PBFC012-1-C2-mc-2	PBFC012-1-C-mc-3
Análise	Alteração 2- muscovita-fengita										
%Peso											
SiO ₂	46,72	46,96	47,08	47,70	47,33	49,54	49,44	47,38	47,55	48,09	49,60
TiO ₂	0,00	0,12	0,09	0,17	0,33	0,18	0,65	0,30	0,23	0,46	0,00
Al ₂ O ₃	29,45	29,55	29,70	29,96	29,96	25,21	26,73	24,93	28,11	25,71	23,35
FeO	5,16	5,07	4,87	4,88	4,98	8,02	7,07	8,00	5,95	7,32	8,21
MnO	0,22	0,21	0,25	0,30	0,26	0,32	0,22	0,26	0,29	0,14	0,28
MgO	0,30	0,24	0,25	0,22	0,21	0,19	0,19	0,17	0,36	0,23	0,20
CaO	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,04	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02
Na ₂ O	0,13	0,12	0,12	0,11	0,08	0,11	0,07	0,03	0,10	0,08	0,05
Li ₂ O	1,10	1,15	1,06	0,89	1,07	2,04	1,58	2,07	1,42	1,86	2,17
K ₂ O	10,71	10,68	10,72	10,86	10,84	10,83	10,81	10,82	10,92	10,84	10,66
BaO	0,11	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,05	0,06	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,30	0,33	0,39	0,42	0,24	0,37	0,33	0,42	0,21	0,50	0,39
F	2,17	2,24	2,11	1,86	2,12	3,46	2,86	3,50	2,63	3,23	3,63
Cl	0,01	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
- O = F ₂	0,91	0,94	0,89	0,78	0,89	1,46	1,20	1,47	1,11	1,36	1,53
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,34	3,31	3,38	3,50	3,38	2,70	3,01	2,62	3,11	2,78	2,59
TOTAL	98,81	99,09	99,14	100,22	99,94	101,54	101,78	99,12	99,83	99,92	99,61
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions											
Sítio T.											
Si	3,22	3,22	3,22	3,23	3,21	3,35	3,32	3,30	3,25	3,31	3,43
IVAl	0,78	0,78	0,78	0,77	0,79	0,65	0,68	0,70	0,75	0,69	0,57
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.											
VIAl	1,61	1,60	1,62	1,63	1,61	1,37	1,44	1,35	1,52	1,40	1,33
Ti	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00
Li	0,30	0,32	0,29	0,24	0,29	0,56	0,43	0,58	0,39	0,52	0,60
Mg	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02
Fe ²⁺	0,30	0,29	0,28	0,28	0,28	0,45	0,40	0,47	0,34	0,42	0,47
Mn	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
	2,25	2,25	2,23	2,19	2,24	2,42	2,33	2,45	2,31	2,39	2,44
Sítio I.											
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
K	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,96	0,95	0,95	0,94
Rb	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,97	0,97	0,97	0,98	0,96	0,97	0,95	0,99	0,98	0,99	0,96

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 7. Tabela com análises químicas das micas da alteração 2.

Amostra	PBFC012-1-C2-mc-4	PBFC012-1-C4-mm-1	PBFC012-1-C4-mm-2	PBFC012-1-C4-mm-3	PBFC012-1-C4-mc-1	PBFC012-1-C4-mc-2	PBFC012-1-C4-mc-3	PBFC012-1-C3-mm-2	PBFC012-1-C3-m-1	PBFC012-1-C7-m1
Análise	Alteração 2- muscovita-fengita									
%Peso										
SiO ₂	48,39	47,18	46,94	46,32	48,19	47,04	48,28	47,33	46,86	46,46
TiO ₂	0,00	0,05	0,07	0,00	0,21	0,06	0,33	0,01	0,13	0,00
Al ₂ O ₃	24,18	29,56	29,13	29,34	26,78	29,80	24,90	27,71	28,77	29,08
FeO	8,37	5,47	5,10	5,59	6,53	5,16	7,72	6,26	5,36	5,18
MnO	0,31	0,13	0,30	0,29	0,19	0,21	0,23	0,38	0,20	0,31
MgO	0,21	0,27	0,27	0,25	0,34	0,24	0,15	0,30	0,26	0,32
CaO	0,02	0,00	0,07	0,03	0,04	0,01	0,00	0,06	0,03	0,00
Na ₂ O	0,09	0,12	0,10	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,09	0,15
Li ₂ O	2,35	1,08	1,11	1,12	1,36	0,97	2,12	1,50	1,18	1,14
K ₂ O	10,91	10,44	10,62	10,91	10,44	10,93	10,83	10,80	10,65	10,93
BaO	0,04	0,13	0,00	0,05	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,57	0,14	0,35	0,36	0,28	0,41	0,48	0,49	0,42	0,31
F	3,85	2,15	2,18	2,20	2,55	1,97	3,56	2,74	2,28	2,23
Cl	0,00	0,02	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00
- O = F ₂	1,62	0,90	0,92	0,93	1,07	0,83	1,50	1,16	0,96	0,94
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	2,47	3,36	3,33	3,30	3,13	3,44	2,62	3,03	3,27	3,29
TOTAL	100,12	99,19	98,65	98,92	99,22	99,53	99,85	99,60	98,53	98,47
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions										
Sítio T.										
Si	3,35	3,23	3,23	3,20	3,32	3,22	3,33	3,26	3,24	3,22
IVAl	0,65	0,77	0,77	0,80	0,68	0,78	0,67	0,74	0,76	0,78
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.										
VAl	1,32	1,61	1,60	1,59	1,49	1,62	1,36	1,50	1,58	1,59
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Li	0,65	0,30	0,31	0,31	0,38	0,27	0,59	0,42	0,33	0,32
Mg	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Fe ²⁺	0,48	0,31	0,29	0,32	0,38	0,30	0,45	0,36	0,31	0,30
Mn	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
	2,49	2,26	2,25	2,26	2,30	2,22	2,44	2,33	2,26	2,26
Sítio I.										
Ca	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
K	0,96	0,91	0,93	0,96	0,92	0,95	0,95	0,95	0,94	0,96
Rb	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	0,94	0,97	0,99	0,95	0,99	0,99	0,99	0,97	1,00

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 8. Tabela com análises químicas das micas da alteração 3.

Amostra	PB46-856	PB08B-714	PB08B-718	PB08B-719	PB08B-720	PB08B-134	PB08B-715	PBFC009-03B-C4-m-eds001	PBFC009-03B-C3-mus-eds001
Análise	Alteração 3- siderofilita								
%Peso									
SiO ₂	36,52	38,95	38,83	43,63	45,46	44,09	44,64	43,13	42,65
TiO ₂	1,22	0,49	0,46	0,40	0,21	0,33	0,26	0,30	0,35
Al ₂ O ₃	20,95	20,98	21,47	23,29	23,03	23,80	23,73	24,21	23,79
FeO	25,79	22,84	22,37	14,99	13,41	13,29	14,40	15,89	15,73
MnO	0,19	0,58	0,37	0,21	0,22	0,18	0,21	0,47	0,59
MgO	0,17	0,06	0,10	0,11	0,14	0,13	0,09	0,99	0,69
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Na ₂ O	0,00	0,12	0,14	0,08	0,04	0,12	0,09	0,10	0,09
Li ₂ O	0,00	0,96	0,83	0,89	0,89	0,83	0,87	0,71	0,64
K ₂ O	9,10	9,84	9,65	10,43	10,34	10,77	10,48	10,08	10,30
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Rb ₂ O	0,29	1,09	0,84	0,64	0,59	0,42	0,45	0,97	0,71
F	0,83	3,83	3,52	3,66	3,67	3,51	3,61	1,55	1,45
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- O = F ₂	-0,35	-1,61	-1,48	-1,54	-1,55	-1,48	-1,52	0,65	0,61
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,42	2,12	2,25	2,38	2,42	2,45	2,46	3,37	3,41
TOTAL	98,21	100,39	99,57	99,49	99,21	98,44	100,18	101,11	99,82
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions									
Sítio T.									
Si	2,87	2,97	2,97	3,18	3,28	3,21	3,21	3,10	3,11
IVAl	1,13	1,03	1,03	0,82	0,72	0,79	0,79	0,90	0,89
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.									
VIAl	0,81	0,86	0,90	1,18	1,24	1,26	1,22	1,15	1,16
Ti	0,07	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Li	0,00	0,29	0,26	0,26	0,26	0,24	0,25	0,20	0,19
Mg	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,11	0,08
Fe ²⁺	1,70	1,46	1,43	0,91	0,81	0,81	0,87	0,96	0,96
Mn	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04
	2,62	2,68	2,65	2,40	2,35	2,35	2,38	2,47	2,44
Sítio I.									
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
K	0,91	0,96	0,94	0,97	0,95	1,00	0,96	0,92	0,96
Rb	0,01	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,04	0,03
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,93	1,03	1,00	1,01	0,98	1,04	0,99	0,98	1,01

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 9. Tabela com análises químicas das micas da alteração 3.

Amostra	PB08B-133	PB08B-713	PB08B-128	PB08B-129	PB08B-130	PB08B-131	PB08B-132	PB08B-135	PB08B-716	PB08B-717	PB08B-X	PB46-851	PB46-857
Análise	Alteração 3- muscovita-fengita												
%Peso													
SiO ₂	47,51	45,24	47,16	47,20	48,24	47,02	47,91	46,70	47,60	47,46	47,29	44,24	47,58
TiO ₂	0,10	0,27	0,36	0,07	0,19	0,12	0,16	0,23	0,12	0,17	0,18	0,07	0,20
Al ₂ O ₃	23,80	23,81	28,52	26,21	27,44	27,44	27,46	27,47	27,39	27,52	27,43	26,17	25,02
FeO	11,28	12,98	7,08	8,39	6,65	7,87	7,65	7,08	7,22	6,64	7,42	13,88	11,14
MnO	0,16	0,24	0,22	0,24	0,17	0,25	0,20	0,12	0,24	0,22	0,21	0,09	0,14
MgO	0,10	0,08	0,13	0,09	0,11	0,11	0,08	0,14	0,09	0,14	0,11	0,08	0,32
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,09	0,10	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,11	0,07	0,15	0,10	0,05	0,05
Li ₂ O	0,92	0,72	0,73	0,77	0,56	0,63	0,68	0,62	0,71	0,45	0,63	0,00	0,00
K ₂ O	10,50	10,54	11,14	10,71	10,88	10,73	10,66	11,00	11,14	10,99	10,91	10,71	10,38
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
Rb ₂ O	0,55	0,61	0,47	0,40	0,25	0,37	0,52	0,38	0,36	0,43	0,42	0,09	0,43
F	3,73	3,21	3,25	3,36	2,74	2,96	3,10	2,93	3,19	2,39	3,03	0,92	1,36
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- O = F ₂	1,57	1,35	1,37	1,41	1,15	1,25	1,31	1,23	1,34	1,01	1,27	0,39	0,57
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	2,48	2,64	2,83	2,68	3,05	2,90	2,88	2,89	2,82	3,18	2,89	3,75	3,62
TOTAL	99,65	99,27	100,60	98,80	99,21	99,25	100,08	98,44	99,61	98,96	99,57	99,90	99,67
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions													
Sítio T.													
Si	3,35	3,26	3,23	3,31	3,33	3,27	3,30	3,27	3,30	3,30	3,28	3,17	3,35
IVAl	0,65	0,74	0,77	0,69	0,67	0,73	0,70	0,73	0,70	0,70	0,72	0,83	0,65
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.													
VIAl	1,34	1,28	1,54	1,48	1,56	1,52	1,53	1,54	1,53	1,56	1,53	1,37	1,42
Ti	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Li	0,26	0,21	0,20	0,22	0,16	0,18	0,19	0,17	0,20	0,13	0,18	0,00	0,00
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
Fe ²⁺	0,67	0,78	0,41	0,49	0,38	0,46	0,44	0,41	0,42	0,39	0,43	0,83	0,66
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	2,29	2,31	2,19	2,22	2,13	2,19	2,19	2,16	2,18	2,11	2,16	2,22	2,13
Sítio I.													
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
K	0,95	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,93
Rb	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	0,98	1,01	1,01	0,99	0,98	0,98	0,97	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	0,96

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 10. Tabela com análises químicas das micas da alteração 3.

Amostra	PBFC009-03B-C1-m-1	PBFC009-03B-C1-m-2	PBFC009-03B-C1-m-3	PBFC009-03B-C1-m-eds002	PBFC009-03B-C2-m-1	PBFC009-03B-C2-m-2	PBFC009-03B-C4-m-1	PBFC009-03B-C4-m-eds002	PBFC009-03B-C4-m- eds003	PBFC009-03B-C3-m-eds002	PBFC009-03B-C3-mm-01
Análise	Alteração 3- muscovita-fengita										
%Peso											
SiO ₂	47,17	47,51	45,42	47,35	47,75	49,07	48,11	47,19	47,92	48,95	47,40
TiO ₂	0,11	0,02	0,00	0,00	0,21	0,00	0,07	0,05	0,00	0,13	0,14
Al ₂ O ₃	25,93	26,62	27,36	31,05	26,74	27,29	31,07	25,40	30,72	25,20	29,43
FeO	7,25	8,09	7,98	5,44	7,99	6,05	4,86	9,99	5,49	9,17	6,25
MnO	0,21	0,13	0,29	0,08	0,33	0,05	0,07	0,25	0,22	0,24	0,09
MgO	1,00	0,93	0,67	0,04	0,93	0,78	0,03	1,00	0,05	1,01	0,64
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	0,01	0,03
Na ₂ O	0,09	0,11	0,08	0,19	0,06	0,06	0,23	0,06	0,25	0,00	0,16
Li ₂ O	0,78	0,70	0,61	0,24	0,72	0,67	0,25	0,85	0,31	0,92	0,53
K ₂ O	11,00	11,07	11,00	10,79	10,81	11,11	10,83	10,81	10,73	10,87	11,06
BaO	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08	0,00	0,06	0,08
Rb ₂ O	0,46	0,60	0,38	0,36	0,51	0,37	0,38	0,63	0,71	0,41	0,35
F	1,68	1,55	1,40	0,69	1,57	1,49	0,72	1,78	0,83	1,90	1,26
Cl	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01
- O = F ₂	0,71	0,65	0,59	0,29	0,66	0,63	0,30	0,75	0,35	0,80	0,53
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,51	3,56	3,62	4,08	3,57	3,67	4,08	3,42	3,99	3,41	3,76
TOTAL	98,48	100,32	98,23	100,03	100,52	99,99	100,44	100,76	100,89	101,49	100,65
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions											
Sítio T.											
Si	3,31	3,28	3,21	3,22	3,28	3,35	3,24	3,28	3,24	3,34	3,22
IVAl	0,69	0,72	0,79	0,78	0,72	0,65	0,76	0,72	0,76	0,66	0,78
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.											
VIAl	1,45	1,45	1,49	1,70	1,45	1,54	1,71	1,36	1,68	1,37	1,58
Ti	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Li	0,22	0,20	0,17	0,07	0,20	0,18	0,07	0,24	0,08	0,25	0,15
Mg	0,10	0,10	0,07	0,00	0,09	0,08	0,00	0,10	0,00	0,10	0,06
Fe ²⁺	0,42	0,47	0,47	0,31	0,46	0,35	0,27	0,58	0,31	0,52	0,36
Mn	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
	2,22	2,22	2,23	2,08	2,23	2,15	2,06	2,30	2,09	2,28	2,16
Sítio I.											
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,02
K	0,98	0,98	0,99	0,94	0,95	0,97	0,93	0,96	0,92	0,95	0,96
Rb	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,02	1,02	1,02	0,98	0,98	0,99	0,98	1,00	0,99	0,97	1,00

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 11. Tabela com análises químicas das micas da alteração 3.

Amostra	PBFC009-03B-C3-mm-02	PBFC009-03B-C6-m-01b	PBFC009-03B-C6-m-01c	PBFC009-03B-C6-mm-01	PBFC009-03B-C6-mm-02	PBFC009-03B-C6-mm-03	PBFC009-03B-C5-m-01	PBFC009-03B-C5-m-01	PBFC009-03B-C5-mm-02	PBFC009-03B-C7-m-01a	PBFC009-03B-C7-m-01b
Análise	Alteração 3- muscovita-fengita										
%Peso											
SiO ₂	47,43	46,52	48,36	47,73	48,15	47,67	41,63	48,46	48,79	49,97	45,76
TiO ₂	0,05	0,16	0,24	0,00	0,00	0,04	0,55	0,16	0,08	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	30,38	25,79	23,71	30,67	27,78	30,00	22,26	23,93	27,25	25,07	26,45
FeO	6,01	10,23	9,25	5,73	7,58	6,14	19,71	9,36	8,20	7,21	10,89
MnO	0,18	0,26	0,17	0,14	0,16	0,13	0,58	0,21	0,23	0,32	0,31
MgO	0,57	0,92	1,91	0,21	0,63	0,05	0,85	1,77	0,60	1,37	0,96
CaO	0,00	0,05	0,01	0,04	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00
Na ₂ O	0,07	0,07	0,12	0,25	0,07	0,19	0,10	0,06	0,11	0,06	0,06
Li ₂ O	0,47	0,70	0,98	0,33	0,63	0,33	0,68	1,07	0,63	0,86	0,62
K ₂ O	11,30	10,62	10,95	10,77	10,98	10,70	9,84	10,85	10,62	10,65	10,51
BaO	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,16	0,00	0,00	0,00	0,01
Rb ₂ O	0,28	0,65	0,48	0,21	0,34	0,47	0,87	0,46	0,28	0,26	0,38
F	1,15	1,54	2,00	0,88	1,42	0,88	1,52	2,12	1,42	1,81	1,42
Cl	0,02	0,04	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02	0,03	0,01	0,01
- O = F ₂	0,48	0,65	0,84	0,37	0,60	0,37	0,64	0,89	0,60	0,76	0,60
- O = Cl ₂	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
H ₂ O	3,82	3,51	3,33	3,97	3,66	3,96	3,29	3,27	3,66	3,50	3,58
TOTAL	101,30	100,39	100,66	100,57	100,85	100,27	101,40	100,83	101,31	100,38	100,35
	Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions										
Sítio T.											
Si	3,20	3,25	3,35	3,23	3,28	3,24	3,06	3,34	3,31	3,41	3,20
IVAl	0,80	0,75	0,65	0,77	0,72	0,76	0,94	0,66	0,69	0,59	0,80
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.											
VIAl	1,62	1,37	1,28	1,67	1,52	1,65	0,98	1,29	1,49	1,42	1,38
Ti	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
Li	0,13	0,20	0,27	0,09	0,17	0,09	0,20	0,30	0,17	0,24	0,18
Mg	0,06	0,10	0,20	0,02	0,06	0,00	0,09	0,18	0,06	0,14	0,10
Fe ²⁺	0,34	0,60	0,54	0,32	0,43	0,35	1,21	0,54	0,47	0,41	0,64
Mn	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02
	2,16	2,28	2,31	2,11	2,19	2,11	2,56	2,33	2,21	2,23	2,31
Sítio I.											
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K	0,97	0,95	0,97	0,93	0,95	0,93	0,92	0,96	0,92	0,93	0,94
Rb	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,99	0,99	1,00	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,95	0,96

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 12. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC008-02-C1-m-1	PBFC008-02-C1-m-2	PBFC008-02-C1-m-3	PBFC008-02-C2-mm-1	PBFC008-02-C2-mm-2	PBFC008-02-C5-m-1	PBFC008-02-C5-m-2	PBFC008-02-C5-mm-1	PBFC008-02-C6-mm-2	PBFC008-02-C6-m-1	PBFC008-02-C6-m-2	PBFC07-1-C5-mc-1	PBFC07-1-C5-mc-3
Análise	Greisens- polilitonita												
%Peso													
SiO ₂	46,49	47,08	47,47	46,48	46,36	47,52	46,86	46,04	46,49	45,36	47,31	48,66	47,96
TiO ₂	0,10	0,14	0,08	0,00	0,08	0,07	0,32	0,09	0,05	0,00	0,00	0,20	0,00
Al ₂ O ₃	24,82	22,99	24,91	23,95	24,62	23,69	24,71	25,40	23,80	24,30	24,61	24,52	24,95
FeO	7,67	7,30	7,38	8,05	7,28	8,84	7,91	8,32	7,74	8,60	8,14	6,75	6,27
MnO	0,34	0,40	0,29	0,27	0,14	0,35	0,35	0,33	0,29	0,34	0,34	0,24	0,34
MgO	0,08	0,06	0,11	0,14	0,09	0,11	0,15	0,12	0,12	0,11	0,09	0,04	0,08
CaO	0,03	0,00	0,03	0,01	0,08	0,02	0,00	0,06	0,02	0,03	0,04	0,00	0,00
Na ₂ O	0,08	0,10	0,06	0,08	0,16	0,04	0,10	0,13	0,08	0,07	0,03	0,08	0,09
Li ₂ O	3,78	3,95	4,06	3,77	3,74	4,08	3,88	3,65	3,78	3,45	4,01	4,41	4,20
K ₂ O	11,70	11,66	11,50	11,79	11,48	11,52	11,71	11,75	11,63	11,60	11,75	10,79	10,96
BaO	0,00	0,06	0,06	0,00	0,20	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,54	0,66	0,55	0,41	0,56	0,71	0,62	0,57	0,51	0,63	0,63	0,62	0,53
F	4,47	5,65	5,37	4,64	4,03	5,38	4,07	4,05	5,32	4,32	4,88	4,91	4,45
Cl	0,02	0,01	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
- O = F ₂	1,88	2,38	2,26	1,95	1,70	2,26	1,71	1,71	2,24	1,82	2,06	2,07	1,87
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	2,16	1,58	1,79	2,06	2,36	1,75	2,37	2,36	1,73	2,18	2,00	2,04	2,24
TOTAL	100,39	99,24	101,37	99,72	99,49	101,82	101,39	101,16	99,33	99,18	101,93	101,20	100,20
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions													
Sítio T.													
Si	3,21	3,29	3,23	3,24	3,23	3,25	3,21	3,17	3,25	3,20	3,23	3,29	3,27
IVAl	0,79	0,71	0,77	0,76	0,77	0,75	0,79	0,83	0,75	0,80	0,77	0,71	0,73
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.													
VIAl	1,23	1,19	1,23	1,21	1,25	1,16	1,20	1,23	1,21	1,22	1,21	1,24	1,27
Ti	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Li	1,05	1,11	1,11	1,06	1,05	1,12	1,07	1,01	1,06	0,98	1,10	1,20	1,15
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Fe ²⁺	0,44	0,43	0,42	0,47	0,42	0,51	0,45	0,48	0,45	0,51	0,46	0,38	0,36
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
	2,76	2,76	2,80	2,77	2,74	2,83	2,78	2,76	2,76	2,74	2,80	2,84	2,81
Sítio I.													
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
K	1,03	1,04	1,00	1,05	1,02	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,02	0,93	0,95
Rb	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,07	1,08	1,03	1,08	1,08	1,04	1,06	1,08	1,07	1,08	1,06	0,97	0,99

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 13. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC07-1-C6-mc-1	PBFC07-1-C7-mc-3	PBFC07-1-C7-mc-4	PBFC013-1-C2-mm-2	PBFC013-1-C6-mc-1	PBFC013-1-C6-mc-2	PBFC013-1-C6-mc-5	PBFC013-1-C5-mc-3	PBFC013-1-C8-mc-1	PBFC013-1-C8-mc-2	PBFC013-1-C8-mc-4	PBFC013-1-C8-mm-2	PBFC013-1-C8-mm-4
Análise	Greisens- polilitonita												
%Peso													
SiO ₂	47,92	48,28	48,28	49,49	47,89	46,61	48,87	47,36	47,70	47,74	48,77	49,28	49,80
TiO ₂	0,18	0,20	0,30	0,18	0,00	0,13	0,12	0,00	0,00	0,00	0,69	0,15	0,18
Al ₂ O ₃	25,50	24,29	24,11	24,39	25,04	24,72	23,73	24,68	22,81	24,89	23,79	24,13	24,35
FeO	6,62	7,38	7,09	5,61	6,92	6,68	6,68	7,17	8,38	6,75	6,47	6,53	6,04
MnO	0,36	0,28	0,31	0,39	0,47	0,34	0,49	0,57	0,54	0,37	0,48	0,26	0,44
MgO	0,04	0,05	0,02	0,17	0,18	0,23	0,13	0,14	0,14	0,13	0,20	0,11	0,14
CaO	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02
Na ₂ O	0,09	0,12	0,10	0,09	0,10	0,13	0,11	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,05
Li ₂ O	4,19	4,29	4,29	4,65	4,18	3,81	4,47	4,03	4,13	4,14	4,44	4,58	4,73
K ₂ O	11,15	11,07	11,01	10,77	10,92	10,70	10,98	10,86	10,73	11,10	10,63	10,72	10,67
BaO	0,01	0,00	0,11	0,00	0,08	0,00	0,08	0,02	0,06	0,03	0,08	0,00	0,05
Rb ₂ O	0,63	0,69	0,51	0,55	0,44	0,38	0,52	0,60	0,49	0,63	0,56	0,44	0,50
F	4,26	5,55	5,46	4,88	4,74	4,48	6,10	4,32	6,61	4,81	4,46	5,27	4,75
Cl	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,04
- O = F ₂	1,79	2,34	2,30	2,06	2,00	1,89	2,57	1,82	2,78	2,02	1,88	2,22	2,00
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
H ₂ O	2,34	1,72	1,76	2,09	2,10	2,17	1,48	2,27	1,16	2,06	2,25	1,89	2,15
TOTAL	101,54	101,59	101,06	101,23	101,11	98,53	101,20	100,31	100,08	100,72	101,05	101,26	101,89
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions													
Sítio T.													
Si	3,23	3,27	3,28	3,32	3,25	3,24	3,31	3,25	3,30	3,25	3,30	3,31	3,32
IVAl	0,77	0,73	0,72	0,68	0,75	0,76	0,69	0,75	0,70	0,75	0,70	0,69	0,68
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.													
VIAl	1,26	1,21	1,21	1,24	1,25	1,27	1,21	1,24	1,17	1,25	1,19	1,23	1,23
Ti	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,01
Li	1,14	1,17	1,17	1,25	1,14	1,07	1,22	1,11	1,15	1,13	1,21	1,24	1,27
Mg	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Fe ²⁺	0,37	0,42	0,40	0,31	0,39	0,39	0,38	0,41	0,49	0,39	0,37	0,37	0,34
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03
	2,81	2,83	2,83	2,86	2,83	2,78	2,85	2,81	2,85	2,81	2,85	2,87	2,88
Sítio I.													
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K	0,96	0,96	0,95	0,92	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,97	0,92	0,92	0,91
Rb	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	1,00	0,99	0,96	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,01	0,96	0,95	0,94

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 14. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC009-02-C4-mm-01	PBFC009-02-C-mm-02	PBFC009-02-C4-mm-03	PBFC009-02-C5-mm-02	PBFC009-02-C6-mm-02	BFC009-02-C7-m-eds002	PBFC004-2-C1-mm-2	PBFC004-2-C1-mc-3	PBFC004-2-C1-mm-1	PBFC004-2-C1-mm-2	PBFC004-2-C2-m-1	PBFC004-2-C2-m-2
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	48,47	48,02	47,49	46,78	48,48	48,95	45,47	46,28	45,95	46,42	46,32	47,38
TiO ₂	0,32	0,07	0,00	0,00	0,23	0,01	0,00	0,15	0,07	0,00	0,10	0,06
Al ₂ O ₃	24,89	25,11	25,97	25,10	24,94	24,64	26,13	32,60	34,19	33,94	28,79	29,88
FeO	6,83	7,90	7,53	9,36	7,20	6,44	9,70	3,61	2,44	2,54	6,41	5,56
MnO	0,23	0,27	0,25	0,30	0,30	0,16	0,03	0,04	0,08	0,04	0,02	0,08
MgO	1,43	1,22	1,01	1,35	1,42	1,78	0,11	0,10	0,08	0,04	0,13	0,13
CaO	0,01	0,04	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,02	0,00
Na ₂ O	0,09	0,13	0,12	0,14	0,09	0,08	0,09	0,17	0,13	0,20	0,11	0,12
Li ₂ O	1,01	0,79	0,79	0,70	1,01	1,04	1,74	0,70	0,49	0,52	1,19	1,18
K ₂ O	10,89	10,37	10,80	10,36	10,85	10,34	10,59	10,93	11,23	11,29	10,97	10,82
BaO	0,00	0,16	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,44	0,35	0,43	0,35	0,45	0,33	0,44	0,27	0,13	0,27	0,34	0,26
F	2,04	1,70	1,69	1,55	2,03	2,08	3,06	1,54	1,18	1,23	2,31	2,29
Cl	0,00	0,04	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,03	0,01
- O = F ₂	0,86	0,71	0,71	0,65	0,86	0,87	1,29	0,65	0,50	0,52	0,97	0,96
- O = Cl ₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
H ₂ O	3,36	3,50	3,51	3,54	3,35	3,36	2,79	3,69	3,87	3,86	3,23	3,29
TOTAL	99,15	98,96	98,90	98,94	99,57	98,32	98,84	99,48	99,43	99,85	98,99	100,09
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.												
Si	3,36	3,35	3,31	3,29	3,35	3,40	3,21	3,14	3,10	3,12	3,21	3,22
IVAl	0,64	0,65	0,69	0,71	0,65	0,60	0,79	0,86	0,90	0,88	0,79	0,78
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VIAl	1,39	1,41	1,45	1,37	1,39	1,41	1,38	1,74	1,82	1,81	1,56	1,61
Ti	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Li	0,28	0,22	0,22	0,20	0,28	0,29	0,49	0,19	0,13	0,14	0,33	0,32
Mg	0,15	0,13	0,10	0,14	0,15	0,18	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Fe ²⁺	0,40	0,46	0,44	0,55	0,42	0,37	0,57	0,20	0,14	0,14	0,37	0,32
Mn	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2,25	2,24	2,23	2,28	2,26	2,27	2,46	2,16	2,10	2,10	2,28	2,26
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02
K	0,96	0,92	0,96	0,93	0,96	0,92	0,95	0,95	0,97	0,97	0,97	0,94
Rb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	0,96	1,00	0,97	0,99	0,94	0,98	0,98	0,99	1,01	1,00	0,96

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 15. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC004-2-C2-m-3	PBFC004-2-C2-m-4	PBFC004-2-C2-mm-1	PBFC004-2-C2-mm-2	PBFC004-2-C3-m-1	PBFC004-2-C3-m-2	PBFC004-2-C3-m-3	PBFC004-2-C3-mm-1	PBFC004-2-C3-mm-2	PBFC004-2-C3-mm-3	PBFC004-2-C4-m-2	PBFC004-2-C4-m-3
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	47,42	47,83	46,36	45,68	46,72	46,91	46,71	46,47	46,06	46,57	47,32	48,15
TiO ₂	0,00	0,11	0,23	0,13	0,02	0,08	0,12	0,03	0,04	0,03	0,02	0,14
Al ₂ O ₃	29,61	31,68	33,83	33,11	33,91	27,64	33,04	34,71	34,68	34,85	25,27	27,04
FeO	5,95	4,84	2,97	2,81	3,24	8,54	4,07	2,37	2,27	2,17	9,85	8,18
MnO	0,07	0,05	0,08	0,01	0,02	0,04	0,01	0,00	0,08	0,00	0,13	0,08
MgO	0,12	0,10	0,06	0,10	0,06	0,08	0,08	0,07	0,09	0,07	0,07	0,15
CaO	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00
Na ₂ O	0,08	0,12	0,17	0,19	0,13	0,16	0,14	0,18	0,14	0,25	0,10	0,08
Li ₂ O	1,18	1,04	0,62	0,56	0,58	1,56	0,78	0,52	0,47	0,45	1,76	1,54
K ₂ O	10,93	11,11	11,09	11,01	11,32	10,78	10,96	11,29	11,04	11,30	10,78	10,95
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Rb ₂ O	0,33	0,34	0,33	0,15	0,27	0,49	0,25	0,18	0,24	0,27	0,49	0,28
F	2,30	2,08	1,41	1,30	1,34	2,83	1,67	1,24	1,15	1,10	3,09	2,80
Cl	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
- O = F ₂	0,97	0,88	0,59	0,55	0,56	1,19	0,70	0,52	0,48	0,46	1,30	1,18
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,28	3,43	3,77	3,82	3,80	2,97	3,63	3,87	3,91	3,94	2,80	3,00
TOTAL	100,30	101,88	100,33	98,33	100,91	100,91	100,82	100,41	99,71	100,53	100,43	101,21
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.												
Si	3,22	3,18	3,11	3,12	3,12	3,22	3,13	3,10	3,09	3,10	3,28	3,28
IVAl	0,78	0,82	0,89	0,88	0,88	0,78	0,87	0,90	0,91	0,90	0,72	0,72
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VAl	1,59	1,66	1,78	1,79	1,78	1,45	1,73	1,83	1,84	1,84	1,35	1,44
Ti	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Li	0,32	0,28	0,17	0,15	0,16	0,43	0,21	0,14	0,13	0,12	0,49	0,42
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Fe ²⁺	0,34	0,27	0,17	0,16	0,18	0,49	0,23	0,13	0,13	0,12	0,57	0,47
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	2,27	2,22	2,14	2,12	2,13	2,38	2,18	2,11	2,11	2,09	2,43	2,36
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01
K	0,95	0,94	0,95	0,96	0,96	0,94	0,94	0,96	0,95	0,96	0,95	0,95
Rb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99	0,98	1,00	0,99	0,97

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 16. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC004-2-C4-m-4	PBFC004-2-C5-m-1	PBFC004-2-C5-m-2	PBFC004-2-C5-m-3	PBFC004-2-C5-m-4	PBFC004-2-C6-m-1	PBFC004-2-C6-m-3	PBFC004-2-C6-m-4	PBFC004-2-C6-mm-2	PBFC004-2-C6-mm-3	PBFC004-2-C7-mm-1	PBFC004-2-C7-mm-2
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	46,72	47,47	47,16	46,88	46,81	45,74	46,25	46,48	45,27	45,58	47,34	46,39
TiO ₂	0,00	0,19	0,09	0,00	0,11	0,05	0,37	0,30	0,09	0,00	0,00	0,03
Al ₂ O ₃	34,05	33,89	28,58	33,04	28,44	33,22	30,19	27,03	32,93	33,27	34,07	34,94
FeO	3,01	3,31	6,93	3,67	7,22	3,38	5,74	8,14	3,03	3,13	2,72	2,16
MnO	0,08	0,10	0,14	0,08	0,03	0,00	0,14	0,10	0,00	0,07	0,11	0,08
MgO	0,08	0,12	0,19	0,10	0,18	0,14	0,10	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12
CaO	0,02	0,03	0,00	0,01	0,01	0,04	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03
Na ₂ O	0,16	0,11	0,12	0,13	0,10	0,17	0,12	0,14	0,15	0,20	0,14	0,32
Li ₂ O	0,54	0,71	1,15	0,67	1,40	0,71	1,05	1,54	0,56	0,68	0,55	0,45
K ₂ O	11,52	11,22	10,73	11,11	11,00	11,03	10,98	10,87	11,39	11,23	11,21	10,95
BaO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03
Rb ₂ O	0,19	0,17	0,39	0,20	0,46	0,22	0,37	0,45	0,35	0,24	0,23	0,11
F	1,26	1,56	2,25	1,50	2,60	1,55	2,10	2,80	1,30	1,51	1,28	1,11
Cl	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,04
- O = F ₂	0,53	0,66	0,95	0,63	1,09	0,65	0,88	1,18	0,55	0,64	0,54	0,47
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
H ₂ O	3,84	3,71	3,28	3,72	3,09	3,68	3,36	2,96	3,79	3,69	3,85	3,93
TOTAL	100,92	101,94	100,07	100,49	100,36	99,27	99,88	99,79	98,44	99,06	101,04	100,20
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.												
Si	3,11	3,13	3,23	3,14	3,21	3,10	3,16	3,22	3,11	3,10	3,14	3,09
IVAl	0,89	0,87	0,77	0,86	0,79	0,90	0,84	0,78	0,89	0,90	0,86	0,91
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VAl	1,79	1,76	1,54	1,75	1,51	1,76	1,60	1,43	1,77	1,77	1,80	1,84
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Li	0,14	0,19	0,32	0,18	0,38	0,19	0,29	0,43	0,15	0,19	0,15	0,12
Mg	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe ²⁺	0,17	0,18	0,40	0,21	0,41	0,19	0,33	0,47	0,17	0,18	0,15	0,12
Mn	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
	2,11	2,16	2,28	2,15	2,33	2,16	2,25	2,37	2,12	2,15	2,11	2,10
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04
K	0,98	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	1,00	0,97	0,95	0,93
Rb	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,01	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,03	1,01	0,98	0,98

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 17. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC004-2-C7-mm-3	PBFC004-2-C7-mm-4	PBFC004-2-C7-mm-5	PBFC008-02-C1-mm-1	PBFC008-02-C4-mm-1	PBFC008-02-C4-mm-2	PBFC008-02-C6-mm-1	PBFC008-02-C7-m-2	PBFC-010-2-C2-mc-eds003	PBFC-010-2-C2-mc-eds004	PBFC-010-2-C1-m-1	PBFC-010-2-C1-m-2
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	45,48	46,40	46,70	47,03	48,03	47,75	45,87	46,82	47,28	46,26	49,02	49,36
TiO ₂	0,02	0,30	0,08	0,11	0,09	0,00	0,00	0,00	0,34	0,06	0,22	0,08
Al ₂ O ₃	34,04	33,68	33,52	26,44	26,29	26,25	26,24	25,34	28,31	27,92	27,14	26,11
FeO	2,58	3,04	3,10	6,95	7,90	7,31	7,40	7,62	8,91	10,49	7,20	8,18
MnO	0,00	0,04	0,11	0,33	0,19	0,29	0,23	0,22	0,18	0,39	0,14	0,19
MgO	0,10	0,08	0,12	0,09	0,06	0,13	0,14	0,07	0,09	0,05	0,79	0,84
CaO	0,01	0,01	0,04	0,05	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,14	0,15	0,13	0,05	0,06	0,11	0,13	0,08	0,17	0,12	0,07	0,07
Li ₂ O	0,54	0,60	0,62	2,33	2,41	2,43	1,99	2,38	0,54	0,48	0,79	0,84
K ₂ O	11,24	11,02	11,05	11,84	11,75	11,69	11,84	11,38	10,67	10,54	11,01	11,11
BaO	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,00	0,09	0,00	0,01
Rb ₂ O	0,21	0,27	0,05	0,59	0,43	0,77	0,60	0,61	0,45	0,53	0,56	0,62
F	1,27	1,38	1,41	3,82	3,93	3,95	3,40	3,88	1,27	1,17	1,69	1,77
Cl	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
- O = F ₂	0,54	0,58	0,59	1,61	1,65	1,66	1,43	1,63	0,53	0,49	0,71	0,75
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,83	3,79	3,77	2,49	2,46	2,44	2,64	2,43	3,71	3,71	3,55	3,49
TOTAL	98,97	100,16	100,11	100,50	101,99	101,47	99,10	99,29	101,40	101,32	101,46	101,91
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.												
Si	3,09	3,11	3,13	3,24	3,26	3,26	3,22	3,27	3,23	3,20	3,32	3,35
IVAl	0,91	0,89	0,87	0,76	0,74	0,74	0,78	0,73	0,77	0,80	0,68	0,65
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VIAl	1,81	1,78	1,78	1,39	1,36	1,37	1,39	1,36	1,51	1,47	1,48	1,43
Ti	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Li	0,15	0,16	0,17	0,64	0,66	0,67	0,56	0,67	0,15	0,13	0,21	0,23
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,08	0,08
Fe ²⁺	0,15	0,17	0,17	0,40	0,45	0,42	0,43	0,45	0,51	0,61	0,41	0,46
Mn	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
	2,12	2,13	2,14	2,46	2,49	2,48	2,42	2,49	2,20	2,24	2,20	2,22
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
K	0,97	0,94	0,94	1,04	1,02	1,02	1,06	1,01	0,93	0,93	0,95	0,96
Rb	0,01	0,01	0,00	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	0,97	0,97	1,08	1,05	1,07	1,11	1,06	0,97	0,97	0,98	1,00

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 18. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC-010-2-C1-m-3	PBFC-010-2-C1-m-1	PBFC-010-2-C1-mm-1	PBFC-010-2-C1-mm-2	PBFC-010-2-C1-mm-3	PBFC-010-2-C3-m-01	PBFC-010-2-C3-m-02	PBFC-010-2-C3-m-03	PBFC-010-2-C3-mm-01	PBFC-010-2-C3-mm-02	PBFC-010-2-C3-mm-03	PBFC-010-2-C6-m-01
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	49,63	45,86	47,01	47,14	47,46	45,79	46,55	46,26	46,88	47,16	46,55	48,86
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,35	0,07	0,05	0,03	0,07	0,22	0,11	0,00	0,38
Al ₂ O ₃	28,94	27,52	28,33	27,98	27,85	26,27	27,32	28,74	27,54	27,68	27,80	27,51
FeO	4,75	9,85	7,03	7,43	7,87	11,06	9,48	8,18	7,19	7,70	7,38	7,53
MnO	0,12	0,08	0,16	0,22	0,18	0,31	0,18	0,09	0,13	0,19	0,29	0,17
MgO	0,85	0,28	0,59	0,67	0,68	0,12	0,23	0,42	0,63	0,61	0,59	0,57
CaO	0,01	0,03	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,04	0,05
Na ₂ O	0,16	0,10	0,12	0,12	0,06	0,11	0,13	0,09	0,08	0,11	0,13	0,19
Li ₂ O	0,68	0,59	0,64	0,64	0,63	0,62	0,56	0,53	0,55	0,61	0,53	0,77
K ₂ O	10,81	10,91	10,80	11,07	10,88	10,59	10,75	10,51	10,70	11,04	11,05	10,51
BaO	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,10	0,04	0,00	0,00	0,09	0,00
Rb ₂ O	0,69	0,62	0,45	0,56	0,55	0,60	0,95	0,69	0,19	0,43	0,37	0,84
F	1,52	1,36	1,45	1,45	1,42	1,42	1,31	1,25	1,29	1,40	1,26	1,66
Cl	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00
- O = F ₂	0,64	0,57	0,61	0,61	0,60	0,60	0,55	0,52	0,54	0,59	0,53	0,70
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
H ₂ O	3,69	3,62	3,65	3,63	3,65	3,56	3,65	3,72	3,72	3,65	3,71	3,56
TOTAL	101,21	100,24	99,66	100,69	100,71	99,93	100,68	100,10	98,58	100,15	99,29	101,88
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.												
Si	3,32	3,20	3,24	3,23	3,25	3,23	3,23	3,20	3,27	3,25	3,24	3,30
IVAl	0,68	0,80	0,76	0,77	0,75	0,77	0,77	0,80	0,73	0,75	0,76	0,70
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VIAl	1,60	1,47	1,55	1,50	1,50	1,41	1,47	1,54	1,53	1,50	1,52	1,49
Ti	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02
Li	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,18	0,16	0,15	0,15	0,17	0,15	0,21
Mg	0,08	0,03	0,06	0,07	0,07	0,01	0,02	0,04	0,07	0,06	0,06	0,06
Fe ²⁺	0,27	0,58	0,41	0,43	0,45	0,65	0,55	0,47	0,42	0,44	0,43	0,42
Mn	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
	2,14	2,24	2,20	2,20	2,21	2,27	2,22	2,21	2,18	2,20	2,18	2,21
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
K	0,92	0,97	0,95	0,97	0,95	0,95	0,95	0,93	0,95	0,97	0,98	0,90
Rb	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,97	1,01	0,99	1,01	0,98	1,00	1,01	0,97	0,97	1,01	1,02	0,97

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 19. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC-010-2-C6-m-02	PBFC-010-2-C6-m-03	PBFC-010-2-C6-mm-01	PBFC-010-2-C6-mm-02	PBFC-010-2-C6-mm-03	PBFC-010-2-C6-mm-04	PBFC-010-2-C4-eds-5-m-01	PBFC-010-2-C5-m-01	PBFC-010-2-C5-m-02	PBFC-010-2-C5-m-03	PBFC-010-2-C5-mm-01	PBFC-010-2-C5mmm-03
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	46,89	49,48	48,47	48,19	48,90	47,83	47,52	47,72	47,39	47,00	47,95	48,68
TiO ₂	0,20	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,14
Al ₂ O ₃	26,93	26,77	28,53	28,22	28,47	27,28	28,90	26,88	28,50	28,88	28,74	28,60
FeO	9,22	7,66	6,57	7,11	6,69	7,97	7,97	10,24	9,04	9,11	7,20	6,83
MnO	0,07	0,15	0,16	0,25	0,21	0,23	0,18	0,18	0,24	0,16	0,10	0,14
MgO	0,00	0,75	0,66	0,57	0,55	0,69	0,28	0,01	0,05	0,22	0,62	0,66
CaO	0,00	0,03	0,05	0,02	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,06	0,08	0,03
Na ₂ O	0,10	0,10	0,07	0,07	0,06	0,03	0,13	0,09	0,20	0,14	0,08	0,08
Li ₂ O	0,53	0,78	0,61	0,57	0,56	0,65	0,48	0,62	0,53	0,50	0,62	0,58
K ₂ O	10,73	11,08	10,57	10,64	10,62	10,94	11,05	10,57	10,89	10,86	10,71	10,58
BaO	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,15	0,04	0,03
Rb ₂ O	0,58	0,47	0,43	0,46	0,67	0,28	0,46	0,62	0,49	0,41	0,55	0,41
F	1,26	1,68	1,40	1,33	1,30	1,47	1,17	1,40	1,25	1,20	1,40	1,34
Cl	0,01	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03
- O = F ₂	0,53	0,71	0,59	0,56	0,55	0,62	0,49	0,59	0,53	0,50	0,59	0,56
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
H ₂ O	3,69	3,55	3,71	3,71	3,74	3,63	3,77	3,62	3,71	3,74	3,68	3,73
TOTAL	99,71	101,78	100,65	100,67	101,28	100,48	101,46	101,45	101,80	101,92	101,22	101,28
	Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions											
Sítio T.												
Si	3,27	3,34	3,29	3,28	3,30	3,28	3,23	3,28	3,23	3,20	3,25	3,28
IVAl	0,73	0,66	0,71	0,72	0,70	0,72	0,77	0,72	0,77	0,80	0,75	0,72
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VIAl	1,49	1,47	1,57	1,55	1,57	1,49	1,55	1,46	1,52	1,52	1,55	1,56
Ti	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Li	0,15	0,21	0,17	0,16	0,15	0,18	0,13	0,17	0,15	0,14	0,17	0,16
Mg	0,00	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07	0,03	0,00	0,00	0,02	0,06	0,07
Fe ²⁺	0,54	0,43	0,37	0,40	0,38	0,46	0,45	0,59	0,52	0,52	0,41	0,39
Mn	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	2,19	2,20	2,18	2,18	2,16	2,21	2,17	2,23	2,20	2,21	2,20	2,18
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
K	0,96	0,96	0,91	0,92	0,91	0,96	0,96	0,93	0,95	0,94	0,93	0,91
Rb	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	0,99	0,95	0,96	0,95	0,97	1,00	0,97	1,00	0,99	0,97	0,94

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 20. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC-010-2-C5-mm-03	PBFC07-1-C3-mc-1	PBFC07-1-C3-mc-2	PBFC07-1-C3-mc-4	PBFC07-1-C1-mm-1	PBFC07-1-C1-mm-2	PBFC07-1-C1-mm-3	PBFC07-1-C1-mm-4	PBFC07-1-C2-mm-2	PBFC07-1-C2-mm-4	PBFC07-1-C5-mm-1	PBFC07-1-C5-mm-2
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	47,94	47,21	48,02	46,21	48,02	47,39	47,44	48,03	48,76	47,47	47,97	48,21
TiO ₂	0,07	0,15	0,09	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,04	0,11	0,00
Al ₂ O ₃	28,74	30,41	26,42	29,71	29,93	27,98	31,56	28,66	28,91	29,09	27,49	28,22
FeO	7,51	4,44	7,74	4,77	5,38	6,65	3,93	5,77	5,24	4,70	5,40	5,67
MnO	0,14	0,26	0,35	0,11	0,25	0,18	0,18	0,21	0,32	0,19	0,15	0,21
MgO	0,61	0,10	0,05	0,06	0,12	0,11	0,16	0,12	0,12	0,11	0,07	0,04
CaO	0,00	0,02	0,02	0,03	0,05	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,06	0,03
Na ₂ O	0,12	0,13	0,09	0,11	0,12	0,06	0,13	0,10	0,07	0,08	0,09	0,04
Li ₂ O	0,59	1,20	2,18	1,23	1,56	1,79	0,98	1,75	1,30	1,47	2,25	1,95
K ₂ O	10,99	11,29	10,81	11,08	10,76	10,99	11,15	11,13	10,90	11,14	10,97	11,06
BaO	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,05	0,06	0,02	0,10	0,00	0,07	0,03
Rb ₂ O	0,21	0,51	0,58	0,62	0,33	0,36	0,36	0,61	0,38	0,56	0,42	0,52
F	1,36	2,32	3,64	2,36	2,82	3,13	1,99	3,08	2,47	2,70	3,72	3,34
Cl	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
- O = F ₂	0,57	0,98	1,53	0,99	1,19	1,32	0,84	1,30	1,04	1,14	1,57	1,41
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	3,70	3,28	2,60	3,23	3,05	2,86	3,47	2,90	3,22	3,08	2,59	2,78
TOTAL	101,42	100,35	101,05	98,55	101,26	100,41	100,59	101,10	100,79	99,52	99,81	100,68
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.												
Si	3,25	3,20	3,28	3,20	3,22	3,23	3,19	3,24	3,28	3,24	3,27	3,26
IVAl	0,75	0,80	0,72	0,80	0,78	0,77	0,81	0,76	0,72	0,76	0,73	0,74
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VAl	1,54	1,62	1,40	1,62	1,58	1,49	1,69	1,53	1,58	1,59	1,48	1,51
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Li	0,16	0,33	0,60	0,34	0,42	0,49	0,26	0,48	0,35	0,40	0,62	0,53
Mg	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Fe ²⁺	0,43	0,25	0,44	0,28	0,30	0,38	0,22	0,33	0,30	0,27	0,31	0,32
Mn	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
	2,20	2,24	2,47	2,25	2,33	2,39	2,20	2,35	2,26	2,28	2,43	2,38
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
K	0,95	0,98	0,94	0,98	0,92	0,96	0,96	0,96	0,94	0,97	0,95	0,96
Rb	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,97	1,02	0,98	1,02	0,95	0,98	0,99	1,00	0,97	1,01	0,99	0,99

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 21. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC07-1-C5-mm-3	PBFC07-1-C6-mc-2	PBFC07-1-C6-mc-3	PBFC07-1-C6-mm-1	PBFC07-1-C6-mm-2	PBFC07-1-C7-mc-1	PBFC07-1-C8-mm-1	PBFC07-1-C8-mm-3	PBFC07-1-C8-mm-4	PBFC013-1-C1-mc-1	PBFC013-1-C1-mc-2	PBFC013-1-C2-mm-1
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	48,34	47,38	48,09	48,51	47,03	49,62	47,94	48,72	48,62	48,23	48,51	47,50
TiO ₂	0,00	0,03	0,25	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,14	0,01	0,02
Al ₂ O ₃	29,55	27,80	26,07	26,78	29,35	26,32	31,94	29,53	31,57	27,11	26,14	26,88
FeO	5,41	5,28	6,57	7,18	4,92	5,78	3,43	4,28	3,93	5,36	5,85	5,57
MnO	0,21	0,32	0,32	0,31	0,20	0,31	0,29	0,37	0,22	0,29	0,29	0,41
MgO	0,07	0,11	0,08	0,07	0,08	0,05	0,05	0,06	0,06	0,26	0,29	0,20
CaO	0,03	0,02	0,00	0,06	0,00	0,03	0,07	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03
Na ₂ O	0,09	0,14	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,12	0,14	0,07	0,05	0,13
Li ₂ O	1,49	1,80	2,59	2,12	1,65	2,44	1,04	1,94	1,26	2,01	2,30	2,05
K ₂ O	11,19	10,99	10,76	10,87	11,28	10,88	11,28	11,05	11,07	11,04	11,02	10,99
BaO	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,07
Rb ₂ O	0,43	0,47	0,53	0,50	0,39	0,71	0,22	0,19	0,39	0,45	0,41	0,72
F	2,73	3,15	4,14	3,56	2,95	3,96	2,08	3,34	2,41	3,42	3,79	3,47
Cl	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
- O = F ₂	1,15	1,33	1,74	1,50	1,24	1,67	0,87	1,40	1,01	1,44	1,60	1,46
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
H ₂ O	3,09	2,85	2,37	2,66	2,97	2,50	3,44	2,84	3,30	2,73	2,54	2,68
TOTAL	101,49	99,01	100,12	101,24	99,74	101,15	101,08	101,03	101,94	99,72	99,65	99,26
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions												
Sítio T.												
Si	3,24	3,26	3,29	3,29	3,21	3,34	3,19	3,25	3,21	3,29	3,32	3,28
IVAl	0,76	0,74	0,71	0,71	0,79	0,66	0,81	0,75	0,79	0,71	0,68	0,72
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VIAl	1,57	1,52	1,39	1,43	1,57	1,43	1,70	1,58	1,67	1,48	1,43	1,46
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Li	0,40	0,50	0,71	0,58	0,45	0,66	0,28	0,52	0,33	0,55	0,63	0,57
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02
Fe ²⁺	0,30	0,30	0,38	0,41	0,28	0,33	0,19	0,24	0,22	0,31	0,34	0,32
Mn	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
	2,30	2,35	2,52	2,44	2,33	2,45	2,19	2,36	2,24	2,39	2,45	2,40
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
K	0,96	0,97	0,94	0,94	0,98	0,94	0,96	0,94	0,93	0,96	0,96	0,97
Rb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,99	1,01	0,97	0,98	1,01	0,98	0,99	0,96	0,97	0,99	0,99	1,02

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 22. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC013-1-C2-mm-3	PBFC013-1-C2-mm-4	PBFC013-1-C4-mc-1	PBFC013-1-C4-mc-2	PBFC013-1-C4-mc-3	PBFC013-1-C4-mc-4	PBFC013-1-C4-mm-1	PBFC013-1-C4-mm-2	PBFC013-1-C6-mc-3	PBFC013-1-C6-mc-4	PBFC013-1-C5-mc-2	PBFC013-1-C8-mc-3
Análise	Greisens- muscovita-fengita											
%Peso												
SiO ₂	48,06	48,45	49,69	48,57	46,98	48,78	48,86	47,36	48,55	47,99	48,26	48,02
TiO ₂	0,04	0,00	0,01	0,21	0,27	0,17	0,00	0,07	0,05	0,07	0,09	0,08
Al ₂ O ₃	27,92	27,08	27,30	26,18	26,16	26,51	27,75	26,84	26,65	26,42	26,71	26,11
FeO	5,21	5,24	5,74	6,65	6,08	6,81	6,31	6,03	6,29	7,29	6,55	6,61
MnO	0,44	0,31	0,35	0,62	0,38	0,33	0,55	0,40	0,27	0,41	0,44	0,45
MgO	0,21	0,21	0,22	0,15	0,21	0,14	0,15	0,16	0,29	0,09	0,23	0,12
CaO	0,02	0,03	0,00	0,03	0,01	0,02	0,00	0,06	0,02	0,04	0,04	0,01
Na ₂ O	0,10	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	0,17	0,10	0,07	0,09	0,08	0,16
Li ₂ O	1,85	1,99	1,97	2,51	2,06	2,21	2,08	1,85	2,31	2,22	2,25	2,16
K ₂ O	10,92	10,84	10,95	10,95	10,78	11,02	10,80	10,76	11,03	11,19	10,98	10,55
BaO	0,00	0,04	0,00	0,00	0,11	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07
Rb ₂ O	0,48	0,37	0,41	0,45	0,41	0,48	0,34	0,48	0,38	0,54	0,23	0,52
F	3,22	3,39	3,37	4,05	3,48	3,68	3,51	3,22	3,80	3,69	3,73	3,62
Cl	0,00	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
- O = F ₂	1,35	1,43	1,42	1,71	1,47	1,55	1,48	1,35	1,60	1,55	1,57	1,52
- O = Cl ₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	2,84	2,74	2,79	2,43	2,65	2,61	2,71	2,80	2,56	2,58	2,59	2,61
TOTAL	99,96	99,41	101,50	101,21	98,21	101,29	101,80	98,78	100,70	101,06	100,60	99,59
	Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions											
Sítio T.												
Si	3,27	3,31	3,33	3,29	3,28	3,30	3,28	3,28	3,29	3,27	3,28	3,30
IVAl	0,73	0,69	0,67	0,71	0,72	0,70	0,72	0,72	0,71	0,73	0,72	0,70
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.												
VIAl	1,51	1,49	1,48	1,38	1,43	1,41	1,47	1,47	1,43	1,40	1,42	1,42
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Li	0,51	0,55	0,53	0,69	0,58	0,60	0,56	0,52	0,63	0,61	0,62	0,60
Mg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01
Fe ²⁺	0,30	0,30	0,32	0,38	0,35	0,39	0,35	0,35	0,36	0,42	0,37	0,38
Mn	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
	2,37	2,38	2,38	2,50	2,42	2,44	2,43	2,38	2,46	2,46	2,46	2,44
Sítio I.												
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
K	0,95	0,94	0,94	0,95	0,96	0,95	0,92	0,95	0,95	0,97	0,95	0,93
Rb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,98	0,98	0,97	0,98	0,99	0,98	0,96	0,99	0,98	1,01	0,98	0,97

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico

Apêndice 23. Tabela com análises químicas das micas dos greisens.

Amostra	PBFC013-1C8-mm-1	PBFC013-1C8-mm-3	PB82B-14	PB82B-15	PB82B-X	PB82A-812	PB82A-813	PB82A-814	PB82A-815	PB82A-X	PB82A-816	PB83B-56	PB83B-57	PB83B-59
Análise	Greisens- muscovita-fengita													
%Peso														
SiO ₂	47,72	47,69	45,39	44,73	45,06	48,24	47,54	47,00	47,08	47,43	47,28	47,25	46,83	46,96
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,04	0,02	0,21	0,06	0,03	0,15	0,09	0,00	0,00	0,08	0,02
Al ₂ O ₃	26,12	26,34	37,16	37,30	37,23	26,11	26,17	28,63	26,41	26,75	26,43	31,58	30,43	30,21
FeO	6,30	6,30	0,70	0,51	0,61	8,65	7,82	5,96	7,95	7,76	8,43	5,83	5,64	5,78
MnO	0,31	0,48	0,00	0,00	0,00	0,28	0,22	0,08	0,20	0,19	0,19	0,19	0,42	0,31
MgO	0,16	0,14	0,05	0,05	0,05	0,13	0,16	0,21	0,20	0,16	0,10	0,00	0,07	0,21
CaO	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,07	0,14	0,14	0,29	0,22	0,09	0,07	0,09	0,11	0,09	0,09	0,25	0,19	0,16
Li ₂ O	2,10	2,39	0,09	0,15	0,12	0,32	0,36	0,30	0,33	0,34	0,37	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	10,96	10,50	10,42	10,68	10,55	10,97	10,79	11,16	10,87	10,86	10,52	10,03	11,31	10,75
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Rb ₂ O	0,41	0,63	0,17	0,28	0,23	0,39	0,24	0,29	0,50	0,37	0,41	0,26	0,28	0,37
F	3,53	3,90	1,12	1,32	1,22	2,32	2,59	2,26	2,43	2,45	2,64	0,56	0,88	0,87
Cl	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- O = F ₂	1,49	1,64	0,47	0,56	0,51	0,98	1,09	0,95	1,02	1,03	1,11	0,24	0,37	0,37
- O = Cl ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	2,64	2,47	3,95	3,83	3,89	3,22	3,03	3,24	3,11	3,12	3,01	4,15	3,95	3,95
TOTAL	98,87	99,37	98,79	98,67	98,73	100,17	97,96	98,32	98,63	98,70	98,39	99,87	99,81	99,36
Fórmulas estruturais com base em 22 cargas de cátions														
Sítio T.														
Si	3,31	3,29	3,04	3,01	3,03	3,35	3,35	3,27	3,31	3,33	3,32	3,21	3,21	3,23
IVAl	0,69	0,71	0,96	0,99	0,97	0,65	0,65	0,73	0,69	0,67	0,68	0,79	0,79	0,77
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Sítio O.														
VIAl	1,44	1,42	1,97	1,97	1,97	1,48	1,52	1,62	1,50	1,52	1,53	1,73	1,67	1,68
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Li	0,58	0,66	0,02	0,04	0,03	0,09	0,10	0,08	0,09	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00
Mg	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02
Fe ²⁺	0,36	0,36	0,04	0,03	0,03	0,50	0,46	0,35	0,47	0,50	0,45	0,33	0,32	0,33
Mn	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
	2,42	2,49	2,04	2,04	2,04	2,11	2,12	2,08	2,11	2,14	2,11	2,07	2,03	2,05
Sítio I.														
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,01	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02
K	0,97	0,92	0,89	0,92	0,90	0,97	0,97	0,99	0,98	0,94	0,97	0,87	0,99	0,94
Rb	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Ba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1,00	0,97	0,92	0,97	0,94	1,00	0,99	1,01	1,02	0,97	1,00	0,91	1,03	0,98

*Li₂O calculado segundo as equações de Tischendorf et al (2007); H₂O** calculada por balanço estequiométrico.

Apêndice 24. Tabela com análises químicas de rocha total utilizadas no balanço de massa.

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	P.F.	TOTAL
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
LIM DETEC	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-5.1	0.01
AMOSTRA												
PB188-A	75,69	0,07	12,37	1,68	0,02	0,01	0,69	2,89	5,11	0,01	1,2	99,75
PBFC-011-01	74,5	0,02	12,75	0,92	0,02	0,01	0,73	3,42	4,55	0,02	1,09	98,03
PBFC009-03	87,1	0,02	6,51	2,49	0,05	0,11	0,01	0,02	2,4	0,01	1,35	100,07
PBFC-008-02	46,1	0,02	26,5	8,45	0,28	0,06	0,45	0,09	9,69	0,01	3,37	95,01
	Rb	Ba	Cs	Ta	Sr	Ga	Nb	W	Sn	Hf	Th	Zr
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LIM DETEC	1	0.1	0.1	1	0.5	0.5	1	0.5	0.1	0.1	0.2	0.1
AMOSTRA												
PB188-A	514,70	26,70	5,60	9,20	9,70	35,50	94,70	713,10	10,00	9,10	75,90	193,80
PBFC-011-01	708,00	26,70	5,49	17,50	9,70	44,60	66,80	62,20	19,00	5,29	34,70	86,00
PBFC009-03	797,00	17,80	17,45	8,30	0,70	30,00	34,40	8,70	517,00	2,98	14,60	40,00
PBFC-008-02	4210,00	39,20	65,40	73,20	2,60	121,00	105,50	53,20	627,00	2,26	12,75	27,00
	Y	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Dy	Yb	U			
	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM			
LIM DETEC	0.1	1	0.1	0.1	0.3	0.05	0.02	0.05	0.1			
AMOSTRA												
PB188-A	204,2	92,6	197,9	85,4	20,58	0,29	26,11	19,82	10,2			
PBFC-011-01	120,5	41,4	86,4	51,2	16,95	0,15	21,3	19,2	14,6			
PBFC009-03	95,8	8,9	12,4	9,9	4,18	0,03	13,6	16,45	11,95			
PBFC-008-02	65,1	32,1	59,3	31,2	9,16	0,09	12,35	10,95	3,41			

Apêndice 25. Tabela com variação de massa das rochas da Zona da Bacia.

	Alteração1-2	Alteração1-3	Alteração1-Greisen
Amostra	PBFC11-01	PBFC-009-03	PBFC-008-02
	$\Delta\text{Mi/MO}$	$\Delta\text{Mi/MO}$	$\Delta\text{Mi/MO}$
SiO ₂	-0,06	1,38	-5,38
TiO ₂	-0,05	-0,05	-0,04
Al ₂ O ₃	0,57	-6,61	28,04
Fe ₂ O ₃	-0,75	0,52	11,21
MnO	0,00	0,02	0,41
MgO	0,00	0,09	0,08
CaO	0,05	-0,68	0,00
Na ₂ O	0,58	-2,87	-2,75
K ₂ O	-0,49	-2,99	9,67
P ₂ O ₅	0,01	0,00	0,01
Rb	204,01	190,55	5905,92
Ba	0,40	-10,95	33,08
Sr	0,15	-9,08	-5,73
Ta	8,56	-1,86	102,44
Nb	-26,89	-64,26	66,20
Hf	-3,73	-6,46	-5,65
Zr	-106,50	-158,40	-152,62
Y	-81,88	-119,43	-104,92
Th	-40,68	-62,98	-56,46
La	-50,57	-84,72	-43,64
Ce	-110,19	-186,93	-107,46
Nd	-33,43	-76,64	-37,82
Sm	-3,37	-16,88	-6,61
Eu	-0,14	-0,26	-0,15
Dy	-4,49	-14,08	-7,28
Yb	-0,33	-5,26	-3,12
Ga	9,77	-8,95	149,04
Sn	9,29	447,48	946,23
Cs	-0,03	9,84	94,14
W	-649,96	-705,40	-631,97
U	4,62	0,37	-5,00