

Dissertação de Mestrado

Nº 172

**MODELAMENTO 3D DE PEGMATITO COM USO DE GPR, GEOQUÍMICA E
ESTATÍSTICA MULTIVARIADA: EXEMPLO DE UM PEGMATITO DO DISTRITO DE
ANTÔNIO FERREIRA – FRANCISCÓPOLIS/MG**

Henrique Chaves Joncew

Orientação

Prof. Dr. Paulo Roberto Antunes Aranha

Coorientação

Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn

Belo Horizonte, março de 2017

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências – Departamento de Geologia
Programa de Pós-Graduação em Geologia

**MODELAMENTO 3D DE PEGMATITO COM USO DE GPR, GEOQUÍMICA E
ESTATÍSTICA MULTIVARIADA: EXEMPLO DE UM PEGMATITO DO DISTRITO DE
ANTÔNIO FERREIRA – FRANCISCÓPOLIS/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geologia.

por

Henrique Chaves Joncew

Área de concentração
Geologia Econômica

Orientação

Prof. Dr. Paulo Roberto Antunes Aranha

Coorientação

Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn

Belo Horizonte, março de 2017

À Nilza

*“É um erro capital teorizar antes de ter dados.
Insensatamente, começa-se a distorcer fatos para
ajustá-los a teorias, em vez de teorias para que se
ajustem a fatos.”*

(Sir Arthur Conan Doyle)

“This is the tale of Captain Jack Sparrow”

(The Lonely Island feat. Michael Bolton)

AGRADECIMENTOS

Como todo trabalho, um mestrado se divide em múltiplos setores. Atuar em todos exige muito física, intelectual, emocional e financeiramente, sendo imperativo (e sadio) recorrer ao auxílio externo para o bom andamento do projeto. Tive muita ajuda em todas as frentes. Assim, não posso concluir o trabalho sem reservar este espaço para humildemente externar minha gratidão, contando um pouco da contribuição dos que estiveram envolvidos nessa jornada.

Os Profs. Paulo Aranha e Horn me orientaram mais que com debates produtivos (e, felizmente, outros nem tanto). Ambos participaram ativamente de diversas etapas e encararam os (inúmeros) reveses com serenidade e paciência. Ainda, a Prof^a. Gigi me tomou como orientando no começo do projeto e não deixou de me estimular, ainda que não estivesse em sua área de especialidade.

O Sr. Jean Claude garantiu pouso em sua propriedade, permitiu acesso livre e irrestrito a sua mina, e autorizou a publicação completa dos resultados, quando é tão comum o interesse privado preferir o sigilo à ampla divulgação do conhecimento científico. Sem seu apoio, sequer haveria um projeto de pesquisa.

O CNPq financiou todo o projeto e a CAPES, minha bolsa de estudos.

Para elaborar o modelo computadorizado do garimpo, recorri aos *softwares* Studio 3 e Micromine. Só consegui usá-los, respectivamente, graças ao amigo geólogo Arthur Marques e à CAE Mining, e ao Prof. Carlos Arroyo e à secretaria do DEMIN/UFMG.

Agradeço a todos os envolvidos na realização das análises químicas. Faço menção à muito cordial recepção que encontrei nos operadores Márcio e Garcia, do Laboratório de Microsonda do Centro de Microscopia da UFMG.

Os funcionários e os garimpeiros de Antônio Ferreira dividiram sua comida e tiraram um pouco de seu tempo para nos receber e auxiliar na amostragem. Em especial, destaco o Sr. Jorge, que forneceu o carrinho de mão para descarregar o carro, que estragou a alguns quilômetros da hospedagem em uma viagem; os garimpeiros João e Gasta-Bala, que de algum modo consertaram o veículo para que fosse possível chegar a Itambacuri e encontrar o reboque; e o funcionário Miguel, único capaz de domar (e, mais importante, prender) Anderson Silva (assim apelidado o cão de guarda do terreno, devido a seu latido estridente contrastante com sua compleição robusta e atitude hostil).

O IGC/UFMG, seus funcionários e seus professores me forneceram as condições e o conhecimento para realizar este projeto.

Os campos foram mais leves, eficazes e divertidos com a participação dos estudantes Daniel Prates, Bruno Oliveira (hoje geólogo), Fernanda Hoerlle (hoje geóloga), Henrique Borgatti (por sinal, ótimo cozinheiro), Matheus Lima e do geólogo Fernando Carneiro.

Nem todo obstáculo advinha do mundo externo. A psicóloga Rita me ajudou a descobrir e resolver muitas questões internas que afetavam minha relação com o trabalho.

Os amigos Ruy e Raphael, desde a graduação, jamais falharam em ajudar, criticar ou motivar diante de qualquer adversidade. Os dois e os amigos Padmé, Pedro, João, Ana Alyce, Lorena, Tássio, Karine, Priscila, Leandro e Carolina me proveram diversão, confiança e paciência, valiosos para preservar meu bem-estar e minha sanidade nos últimos anos.

Amanda se esforçou muito para que este trabalho fosse concluído. Dentro do âmbito do projeto, colaborou em todas as fases (foi sempre a primeira a oferecer ajuda), e deu o suporte necessário para superar todos os percalços. Fora, proporcionou-me momentos extraordinários e apoio nas horas difíceis. Sua dedicação e fé inabalável em minhas capacidades me deram a certeza de que chegaria até o final. Exigi mais do que deveria, mas mesmo assim, Amanda, sem vestígio de fraqueza ou dúvida diante da pesada carga, conseguiu dar muito mais em retorno, carregando sempre, ainda, um precioso sorriso.

Meu pai me parece a mesma pessoa do meu nascimento até hoje. A maioria dos meus princípios são norteados por sua solidez, sua retidão, seu profissionalismo, seu bom humor, seu companheirismo, sua sabedoria e sua cultura (em especial a inútil).

Minha irmã nunca demonstrou nada senão carinho, compreensão e apoio. É, sem dúvidas, o meu maior modelo de conduta.

Minha mãe, de quem ainda estou muito, muito longe, seja como acadêmico, seja como ser humano, é inigualável. Seu amor ainda guia cada um de meus passos.

Finalmente, agradeço a todas as demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma, seja qual for, para a conclusão deste projeto.

Nenhum animal foi ferido durante a realização deste trabalho. O mesmo não pode ser dito sobre veículos.

RESUMO. O modelamento de um garimpo subterrâneo de turmalina em pegmatito foi realizado no distrito de Antônio Ferreira, Franciscópolis/MG, empregando levantamentos básicos de Topografia, Radar de Penetração do Solo (GPR), Geoquímica e Estatística Multivariada. Localizada no núcleo cristalino do Orógeno Araçuaí, a região apresenta depósitos pegmatíticos associados ao Tonalito São Vitor e o Granito Santa Rosa, suítes graníticas sin a tectônicas que intrudem rochas metassedimentares neoproterozóicas das Formações Tumiritinga e São Tomé. Dessa forma, o garimpo de pedras preciosas é uma prática muito importante para a economia local. Entretanto, a atividade é conduzida sob condições rudimentares de logística, maquinário e operação. Assim, o modelamento foi promovido no intuito de contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia padrão de pesquisa nesse tipo de depósito mineral, para a futura otimização do aproveitamento econômico de gemas. Embora aplicado com sucesso em diversos campos da Geociências, o GPR ainda é muito pouco utilizado na exploração de pegmatitos. Porém, durante o levantamento, o radar mostrou-se uma ótima ferramenta para detecção tanto de contatos entre a rocha e a sua encaixante – um xisto da Formação São Tomé – quanto de anomalias estruturais em seu interior, que podem corresponder a zonas de mineralização. Em um espaço amostral relativamente enxuto, as análises geoquímicas e de Estatística Multivariada foram capazes de identificar características evolutivas da rocha e diferenças entre pontos de amostragem. Os dados indicam que o pegmatito do garimpo de Antônio Ferreira apresenta um baixo grau de diferenciação, e que as turmalinas da zona mural e os feldspatos da região do contato da base da rocha com o xisto destacam-se como grupos anômalos em relação às demais amostras, o que pode ter relação com fatores atuantes quando da cristalização dessas porções do pegmatito. A integração dos dados gerados ao levantamento topográfico permitiu a representação espacial computadorizada da mina e do corpo pegmatítico com suas anomalias estruturais. Desse modo, a abordagem metodológica aplicada mostrou-se uma alternativa válida, que pode ser aplicada em levantamentos futuros de forma mais ampla, robusta e extensiva para fornecer resultados mais profícuos e definitivos para orientar a prospecção de pedras preciosas em pegmatitos.

Palavras-chave: Pegmatito, turmalina, GPR, Geoquímica, Estatística Multivariada.

ABSTRACT. A pegmatite-hosted tourmaline mine in the Antônio Ferreira District, Franciscópolis/MG, was the subject to a basic geologic modelling comprising topographic survey, Ground Penetrating Radar (GPR) profiling and Geochemical and Multivariate Statistical analyses. Situated in the core of the Araçuaí Orogen, the region's main lithological units are the Neoproterozoic metasedimentary Tumiritinga and São Tomé Formations, which are intruded by syn to late-tectonic Santa Rosa Granite and São Vitor Tonalite. Several granite-related pegmatite-hosted gem deposits are found throughout the District's surroundings, thus making gem-mining an important activity for the local economy. Nevertheless, it is yet carried out under very rudimentary conditions of logistics, machinery and operation. Hence, the performed geological modelling aimed to assist creating a default research methodology for pegmatitic mineral deposits, ensuing gem-mining optimization in the future. GPR, though successfully applied by several branches of Geoscience, is an asset yet scarcely deployed on pegmatite exploration. However, during profiling radar proved itself an appropriate tool for detecting both rock contacts and anomalies within the pegmatite body – which may correspond to mineralized gem pockets. Geochemical and Multivariate Statistical analyses, even with a lean space sample, were able to characterize the Antônio Ferreira pegmatite as lowly differentiated, and to point differences between the sampling points. Tourmalines from the mural zone and feldspars from the base contact distinguish themselves from the remaining minerals as anomalous geochemical and statistical groups. This may hold connection to factors relative to the crystallization of these portions of the rock. Connecting these data to the topographic survey made it possible to create a computerized spatial reproduction of the mine and the pegmatite body with its structural anomalies. Therefore, the proposed methodological approach proved to be a valid alternative, which can be expanded into broader, more robust and extensive surveys for more fruitful and definitive results to guide gemstones prospecting in pegmatites.

Keywords: Antônio Ferreira, pegmatite, tourmaline, GPR, Geochemistry, Multivariate Statistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da localização e das vias de acesso ao pegmatito de Antônio Ferreira, Franciscópolis/MG.	21
Figura 2. Climogramas dos municípios de Franciscópolis e Itambacuri.	22
Figura 3. Montagem de fotografias formando vista panorâmica a partir do alojamento na propriedade do garimpo estudado, evidenciando o aspecto de mar de morros do relevo local. O depósito pegmatítico localiza-se no fundo do vale mais próximo, à direita da imagem.....	23
Figura 4. Imagem aérea (fonte: <i>software</i> Google Earth) e perfil topográfico da região entre os distritos de Antônio Ferreira e São José da Fortuna.....	24
Figura 5. Mapa de solos da região entre os municípios de Franciscópolis e Itambacuri/MG, adaptado do mapa de solos para o Vale do Mucuri. Fonte: Oliveira (2016, modificado de CECS, 2014).....	25
Figura 6. Levantamento topográfico com estação total em galeria secundária do garimpo.	27
Figura 7. Execução de um perfil com aparelho de GPR em parede de túnel do garimpo.....	28
Figura 8. Esquema do arranjo <i>common offset</i> do aparelho GPR empregado nos levantamentos.	28
Figura 9. Estrutura interna de pegmatitos zonados. a) Padrão concêntrico das zonas primárias; b) Alterações causadas por fraturamento e metassomatismo. Fonte: Černý (1993).	34
Figura 10. Esquema simplificado de um sistema de levantamento GPR. Fonte: Davis e Annan (1989).	36
Figura 11. Levantamentos de GPR com antenas de a) 25MHz e b) 900MHz. Fonte: Conyers (2002).	37
Figura 12. Em um perfil de GPR realizado em uma localidade (a), as anomalias pontuais formam hipérboles, enquanto os refletores planares apresentam curvas semelhantes a sua morfologia no radargrama (b). Fonte: Davis e Annan (1989).....	38
Figura 13. Registros dos trabalhos no pegmatito da Mina Himalaia (EUA). a) Padrão textural típico procurado e b) Morfologia de cavidade associada; c) Seção investigada, sem feições usuais; Radargramas d) antes e e) após a escavação; f) Nova cavidade encontrada, com formato diferente do usual. Fonte: Patterson e Cook (2002).	40
Figura 14. O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, limitado pelo Cráton do São-Francisco-Congo a leste, oeste e norte, em reconstrução do continente Gondwana Ocidental. S: Salvador (Brasil), C: Cabinda, L: Luanda (Angola). Fonte: Alkmim et al. (2007).	41
Figura 15. Mapa geológico e coluna estratigráfica do Orógeno Araçuaí. Fonte: Pedrosa-Soares et al. (2007).	42

Figura 16. Estágios evolutivos do Orógeno Araçuaí. a) Bacia precursora Macaúbas (800Ma); b) Início do fechamento da bacia (600Ma), induzido pela construção da Faixa Brasília; c) Edificação do arco magmático (570); d) Escape lateral e colapso do Orógeno (500Ma). Fonte: Alkmim et al. (2006).	44
Figura 17. Coluna estratigráfica da Folha Teófilo Otoni. Fonte: Paes (1997).	46
Figura 18. Rochas da Formação São Tomé na região do distrito de Antônio Ferreira. a) Xisto com apófises graníticas; b) Gnaisse bandado. Fonte: Oliveira (2016).	47
Figura 19. Pegmatito associado ao Granito Santa Rosa com xenólito de xisto da Formação São Tomé, registrando processo de fragmentação e turmalinização. Fonte: Oliveira (2016).	49
Figura 20. Zonamento interno e crescimento de cristais e aglomerados de turmalinas perpendiculares às bordas do pegmatito do garimpo de Antônio Ferreira/MG. a) Zona mural; b) Zona marginal; c) Xisto da Formação São Tomé.	52
Figura 21. Geodo vazio encontrado no corpo pegmatítico, em meio a feldspatos decimétricos e muscovita asteriforme.	52
Figura 22. Classificação dos feldspatos do pegmatito de Antônio Ferreira no sistema Microclina-Albita-Anortita.	56
Figura 23. Gráfico de teor de K versus teor de Rb para os feldspatos potássicos do pegmatito de Antônio Ferreira. As linhas representam o valor médio (230, linha cheia) e os limites comumente observados (450 e 130, linhas tracejadas) para a razão K/Rb em diversos tipos de rocha, definidos por Ahrens et al. (1952) e Taylor et al. (1956).	57
Figura 24. Teores de rubídio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. A distribuição desse elemento é aleatória ao longo da extensão do garimpo.	58
Figura 25. Teores de urânio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. O ponto adjacente ao caldeirão sem turmalina (ponto 7) mostra valores acima da média geral.	58
Figura 26. Teores de disprósio e praseodímio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. No ponto adjacente ao caldeirão sem turmalina (ponto 7), uma amostra tem quantidade apreciável desses elementos, entretanto, o conteúdo das demais é inferior ao limite de detecção.	59
Figura 27. Teores de háfnio e nióbio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. No ponto adjacente ao caldeirão sem turmalina (ponto 7), uma amostra tem quantidade apreciável desses elementos, entretanto, o conteúdo das demais é inferior ao limite de detecção.	59
Figura 28. Diagrama CaO+MnO (%) versus MgO+FeO (%) para as granadas do pegmatito de Antônio Ferreira. A seta azul indica a tendência de distribuição para granadas de diversos pegmatitos e o aumento do grau de diferenciação, conforme as definições de Heimann (2014). 60	

Figura 29. Diagrama ternário de classificação por proporções em Mn, Mg e Ca para as granadas do pegmatito de Antônio Ferreira. Os campos foram separados por Teraoka et al. (1997), com as condições de pressão e temperatura quando da formação desses minerais: L – P e T baixas; Ia – P e T intermediárias (até fácies anfíbolito); H – P e T altas; Ig ₁ e Ig ₂ – P e T intermediárias (fácies granulito); E – Eclogito; G – Granada grandita.....	61
Figura 30. Variação intragranular nas concentrações de alumínio e silício em amostras de granada do ponto do garimpo adjacente ao caldeirão que continha turmalina azul de valor gemológico (ponto 6). Observa-se, em todas as curvas, zonamento marcado pelo aumento na quantidade dos elementos do centro para as bordas dos grãos.....	62
Figura 31. Classificação das turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira baseada na proporção de (a) vacância ou (b) ocupação do sítio X da estrutura mineral por sódio e cálcio.....	63
Figura 32. Classificação por proporções de Al, Fe e Mg na fórmula estrutural para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. Os campos indicam os tipos de rochas aos quais os minerais se associam conforme sua composição química: a – Pegmatitos graníticos ricos em Li; b – Granitóides pobres em Li e pegmatitos e aplitos associados; c – Rochas quartzo-turmalínicas ricas em Fe ³⁺ (granitos alterados por hidrotermalismo); d – Metapelitos e metapsamitos coexistentes com fase saturada em Al; e – Metapelitos e metapsamitos não-coexistentes com fase saturada em Al; f – Rochas quartzo-turmalínicas ricas em Fe ₃₊ , cálcio-silicáticas e metapelitos; g – Rochas metaultramáficas com pouco Ca e metassedimentos ricos em Cr e V; h – Metacarbonatos e metapiroxenitos (Henry e Guidotti, 1985).....	63
Figura 33. Classificação por proporções de Ca, Vacâncias e Na+K no sítio X da estrutura mineral para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. Os campos foram definidos por Hawthorne e Henry (1999).....	64
Figura 34. Relações dos teores de MgO e FeO para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. A seta azul indica o sentido do crescimento da distância de um pegmatito até o granito ao qual se associa (Pirajno e Smithies, 1992).	65
Figura 35. Relações entre as proporções de vacância ou ocupação por Na no sítio X e ocupação por Al ou Fe no sítio Y da estrutura mineral conforme Selway et al. (1999) e Tindle et al. (2002) para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. A seta azul indica o trajeto da diferenciação de um pegmatito. A região com pouco alumínio é marcada por forte interação entre o pegmatito e a rocha encaixante.	65
Figura 36. Distribuição dos teores de alumínio nas turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira.	66
Figura 37. Distribuição dos teores de ferro nas turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. ...	66

Figura 38. Distribuição dos teores de manganês nas turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira.	66
Figura 39. Diagramas de <i>scores</i> nas duas primeiras componentes principais para as amostras de turmalina de todos os pontos de coleta no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.	68
Figura 40. Diagramas de <i>scores</i> nas duas primeiras componentes principais para as amostras de turmalina dos pontos adjacentes a caldeirões no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.	69
Figura 41. Diagramas de <i>scores</i> nas duas primeiras componentes principais para as amostras de feldspato de todos os pontos de coleta no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.....	70
Figura 42. Diagramas de <i>scores</i> nas duas primeiras componentes principais para as amostras de feldspato dos pontos adjacentes a caldeirões no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.....	71
Figura 43. Topografia e Geologia da superfície das adjacências do garimpo. Digitalizado a partir do mapa geológico simplificado disponível nas instalações de suporte à mina.	72
Figura 44. Planta das galerias do garimpo, com a localização dos pontos de amostragem, dos perfis de GPR executados e estruturas interpretadas.....	73
Figura 45. Modelo do corpo pegmatítico principal – corpo central da Figura 43 – gerado a partir dos dados de superfície integrados às interpretações dos perfis de GPR.....	74
Figura 46. Bloco diagrama da Geologia do entorno do garimpo de Antônio Ferreira.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias de precipitação e temperaturas máxima, média e mínima dos municípios de Franciscópolis e Itambacuri.	22
Tabela 2. Amostras e conjuntos de minerais coletados no garimpo de Antônio Ferreira/MG. 29	
Tabela 3. Associações mineralógicas encontradas nas diferentes zonas de um pegmatito, das bordas para o centro.	34
Tabela 4. Classificação dos pegmatitos graníticos.	35
Tabela 5. Detecções do aparelho de GPR em cada perfil realizado.	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPMTC	Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa
DEMIN	Departamento de Engenharia de Minas
FIPP	Feira Internacional de Pedras Preciosas
GPR	Radar de Penetração no Solo (do inglês <i>Ground Penetrating Radar</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-MS	Espectrometria de Massa por Plasma Acoplado Indutivamente (do inglês <i>Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>)
ICP-OES	Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (do inglês <i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry</i>)
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IGC	Instituto de Geociências
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PCA	Análise de Componentes Principais (do inglês <i>Principal Component Analysis</i>)
PIB	Produto Interno Bruto
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UTM	Coordenadas segundo a projeção Universal Transversa de Mercator
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico do estado de Minas Gerais

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação versa sobre uma pesquisa conduzida em um depósito pegmatítico na região entre os municípios de Itambacuri e Franciscópolis, Minas Gerais. O objetivo do estudo foi produzir o modelo computadorizado de um garimpo, conjugando um levantamento topográfico subterrâneo e de superfície com dados obtidos pelo método geofísico GPR e por análises químicas de minerais. Pretende-se desenvolver e promover essa abordagem para ampliar sua aplicação a pegmatitos, atualmente muito restrita.

O texto está estruturado em oito capítulos, que organizam por tema as informações, de modo a facilitar sua transmissão.

O **Capítulo 1** introduz o tema do ponto de vista histórico e acadêmico, e caracteriza a área escolhida para estudo de caso. Também se descreve a abordagem metodológica utilizada para alcançar os objetivos propostos.

O **Capítulo 2** apresenta uma síntese do estado de conhecimento sobre pegmatitos, rochas que hospedam depósitos de turmalina e outras gemas.

Dado o importante papel do GPR neste trabalho, realiza-se uma pormenorização desse método geofísico e de suas aplicações a pegmatitos no **Capítulo 3**.

O **Capítulo 4** apresenta brevemente o contexto geotectônico no qual está inserida a área estudada: o Orógeno Araçuaí e seu núcleo cristalino. O **Capítulo 5** dá seguimento à contextualização geológica regional, mas com foco na Folha Teófilo Otoni e na região entre os municípios de Itambacuri e Franciscópolis.

No **Capítulo 6**, realiza-se uma exposição objetiva dos resultados dos levantamentos, das análises e do modelamento geológico realizados. O significado dos dados gerados e suas implicações são discutidos no **Capítulo 7**.

O **Capítulo 8** traz as considerações finais quanto aos resultados atingidos pelo estudo realizado e sua pertinência em relação aos objetivos propostos.

SUMÁRIO

Capítulo 1. Introdução	18
1.1. Histórico	18
1.2. Motivação	19
1.3. Objetivos	19
1.4. Localização e Acesso	20
1.5. Aspectos Fisiográficos	21
1.5.1. <i>Clima</i>	21
1.5.2. <i>Hidrografia</i>	23
1.5.3. <i>Vegetação</i>	23
1.5.4. <i>Geomorfologia</i>	23
1.5.5. <i>Solos</i>	24
1.6. Aspectos Socioeconômicos	25
1.7. Metodologia e Sistematização do Trabalho	26
1.7.1. <i>Levantamento Bibliográfico</i>	26
1.7.2. <i>Aquisição de Dados e Amostragem</i>	26
1.7.3. <i>Investigação Petrográfica</i>	29
1.7.4. <i>Análises de Composição Química dos Minerais</i>	29
1.7.5. <i>Aplicação de Estatística Multivariada</i>	31
1.7.6. <i>Modelamento do Garimpo</i>	32
Capítulo 2. Pegmatitos	33
2.3. <i>A Província Pegmatítica Oriental do Brasil</i>	35
Capítulo 3. O Método GPR	36
3.1. Aplicações do Método em Pegmatitos	38
3.1.1. <i>Os trabalhos de Patterson e Cook</i>	39
Capítulo 4. O Orógeno Araçuaí	41
4.1. Estratigrafia	42
4.1.1. <i>Embasamento</i>	42
4.1.2. <i>Bacia Precursora Macaúbas-Salinas</i>	43
4.1.3. <i>Bacias Orogênicas</i>	43
4.1.4. <i>Supersuítas Graníticas</i>	43

4.2. Evolução Tectônica	43
4.3. Arcabouço Estrutural	45
4.3.1. <i>O Núcleo Cristalino do Orógeno Araçuaí</i>	45
Capítulo 5. A Folha Teófilo Otoni e o Distrito de Antônio Ferreira	46
5.1. Estratigrafia	46
5.1.1. <i>Grupo Rio Doce</i>	46
5.1.2. <i>Suítes Orogênicas</i>	48
5.1.3. <i>Coberturas Aluvionares</i>	49
5.2. Geologia Estrutural	49
5.3. Recursos Minerais	50
Capítulo 6. Resultados	51
6.1. Topografia	53
6.2. GPR	53
6.3. Investigações Mineraloquímicas	55
6.3.1. <i>Feldspato</i>	55
6.3.2. <i>Granada</i>	59
6.3.3. <i>Turmalina</i>	62
6.4. Estatística Multivariada	67
6.5. Modelamento Geológico	71
Capítulo 7. Discussão	76
7.1. Caracterização do Pegmatito Santa Rosa no Garimpo de Antônio Ferreira	76
7.2. Avaliação dos Resultados da Aplicação do GPR	76
7.4. Avaliação dos Dados Químicos de Minerais para a Prospecção de Gemas	77
7.4.1. <i>Granadas</i>	77
7.4.2. <i>Turmalinas</i>	77
7.4.3. <i>Feldspatos</i>	77
7.5. Sugestões de Pesquisa	78
Capítulo 8. Considerações Finais	80
Referências Bibliográficas	81

Apêndice A – Descrição das Seções Polidas	92
Apêndice B – Radargramas dos Perfis dos Túneis	94
Apêndice C – Cálculos de Fórmula Estrutural	103
Apêndice D – Autovalores e Matrizes de Scores Definidos por PCA para os Dados Químicos de Minerais	106
Apêndice E – Representação em Planta das Galerias do Garimpo, dos Pontos de Amostragem, dos Perfis de GPR e dos Contatos Detectados	116
Apêndice F – Modelo Digital do Pegmatito Santa Rosa	117
Apêndice G – Bloco Diagrama do Entorno do Garimpo do Distrito de Antônio Ferreira	118
Anexo A – Tabela de Análises Químicas – ICP	119
Anexo B – Tabela de Análises Químicas – Microsonda Eletrônica	126

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Este estudo foi realizado em um pegmatito da Província Pegmatítica Oriental do Brasil (Paiva, 1946; Putzer, 1976), uma faixa orientada 800 quilômetros na direção norte-sul e 150 quilômetros na direção leste-oeste que abrange o leste de Minas Gerais, o oeste do Espírito Santo e o sul da Bahia. Na região de Itambacuri e Franciscópolis, os pegmatitos são provavelmente associados à intrusão do Granito Santa Rosa em rochas das Formações Tumiritinga e São Tomé do Grupo Rio Doce, que alojam também corpos intrusivos do Tonalito São Vitor (Oliveira, 2016; Paes, 1997). Essas unidades são neoproterozóicas, e o plutonismo ocorreu nas fases sin e tardicolisionais da edificação do Orógeno Araçuaí, durante a Orogenia Brasileira-Panafricana (Morteani et al., 2000, 1999, Pedrosa-Soares et al., 2011, 2007, 2001; Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos, 2000; Vieira, 2007).

O trabalho integra o projeto de pesquisa “Desenvolvimento de técnica de mapeamento de pegmatito com utilização de GPR, geoquímica e topografia de detalhe”, financiado pelo CNPq e realizado no garimpo de interesse, na zona rural entre os municípios de Itambacuri e Franciscópolis, Minas Gerais, e no IGC/UFMG, sob coordenação do Prof. Dr. Paulo R. A. Aranha. Complementando este estudo, Oliveira (2016) mapeou em detalhe os arredores do depósito em seu Trabalho de Graduação em Geologia pela UFMG.

1.1. Histórico

Os primeiros registros de gemas e atividade garimpeira nos pegmatitos de Minas Gerais remontam à ocupação portuguesa do Brasil. Nos séculos XVI e XVII, as Coroas Europeias e grupos particulares financiaram campanhas de busca a recursos minerais no interior da América (Holanda, 2014). O mito do El Dorado, especialmente, atraía expedições rumo ao coração da Amazônia, e a descoberta de Potosí, na moderna Bolívia, pela Coroa Espanhola, reforçou entradas e bandeiras em direção àquele local.

Nesse panorama, a lenda indígena da Serra das Esmeraldas, supostamente situada no leste da Capitania do Espírito Santo, motivou incursões luso-brasileiras a desbravar o sertão, no afã de desvendar o análogo esmeraldino da cidade dourada dos chibchas (Reis, 2010). A bandeira de Fernão Dias Paes Leme localizou gemas nos vales dos Rios Doce, Mucuri e Jequitinhonha. Na Serra Resplandecente, hoje Serra do Cruzeiro, em Santa Maria do Suaçuí, foram encontradas pedras verdes (IBGE, 2015a). Todavia, o sucesso da descoberta no local, porém, durou apenas até a identificação dos minerais como turmalinas, que à época não tinham valor. O bandeirante faleceu antes de ser informado.

Desde então, e ganhando força durante o Ciclo do Ouro no século XVIII, o garimpo de pedras preciosas na região tornou-se uma prática tradicional de renome mundial. Ironicamente, as turmalinas estão atualmente entre seus principais produtos. No século XX, durante as Guerras Mundiais, os pegmatitos foram também fonte de minerais para a indústria bélica.

Esse histórico alçou Teófilo Otoni ao posto de pólo global de extração e comércio de gemas. A cidade recebe importantes eventos relativos ao setor, com destaque para a FIPP, que movimentam a economia de sua microrregião. Aí se insere o distrito de Antônio Ferreira, que abriga, entre alguns depósitos pegmatíticos de turmalina, o alvo deste estudo.

1.2. Motivação

Apesar de sua importância econômica, o garimpo de pedras preciosas em pegmatitos ainda é praticado em condições rudimentares. Normalmente, os detentores de autorização de lavra relegam a exploração ao método de Tentativa e Erro, confiando apenas na experiência dos trabalhadores, que guiam sua busca a gemas por padrões texturais da rocha. Levantamentos indiretos de investigação e reconhecimento geológico de detalhe para refinar a busca são raros e seus resultados muitas vezes não são publicados. Assim, a literatura contém poucos registros da aplicação dessas tecnologias em pegmatitos, um claro atraso em relação à prospecção de outros bens minerais que experimentaram um progressivo processo de profissionalização, como metais e diamante.

Nas últimas décadas, o GPR vem se tornando uma ferramenta geofísica de investigação do subsolo mais acessível, e é aplicado mundialmente com sucesso em diversas áreas das geociências. Os trabalhos que utilizam o aparelho na prospecção de pegmatitos produtores de pedras preciosas, no entanto, são escassos. Os levantamentos apresentados por Patterson e Cook (1999, 2000, 2002, 2004) são as mais importantes referências nesse campo, e mostram ainda que gemas podem ser encontradas inclusive em pontos em que não são observados os padrões indicadores usualmente seguidos. Porém, mesmo estes autores não fazem ligação de dados de GPR a métodos analíticos. Essa prática, aplicada ao modelamento de uma área de interesse, é uma vertente de pesquisa ainda inexplorada nos dias atuais.

1.3. Objetivos

Este trabalho objetiva a criação de um modelo computadorizado do garimpo do distrito de Antônio Ferreira, empregando o GPR em duas modalidades. A primeira, mais tradicional, é aplicada para delimitar os contatos do corpo pegmatítico com o xisto encaixante. A segunda,

mais vanguardista, é usada para detectar anomalias na rocha e integrá-las às análises geoquímicas para demarcar potenciais zonas e cavidades propícias à mineralização de gemas.

Dessa forma, esta dissertação visa a contribuir para o desenvolvimento de um modelo geral e de uma metodologia padrão de pesquisa em pegmatitos, para uma futura otimização do aproveitamento econômico de pedras preciosas, incursionando nesse novo terreno da ciência.

1.4. Localização e Acesso

O distrito de Antônio Ferreira, localmente conhecido como Bananal, pertence ao município de Franciscópolis e situa-se no sudoeste da Folha Teófilo Otoni (IBGE SE.24-V-C-IV) próximo ao limite com a Folha Itambacuri (IBGE SE.24-Y-A-I), na região do Vale do Rio Mucuri, no nordeste de Minas Gerais. O alvo deste estudo é um garimpo de turmalinas pertencente à empresa Mine Invest Brazil Ltda., localizado nas cercanias desse distrito, nas coordenadas geográficas 17°58'55"S/41°51'34"W, ou UTM 24K 197167E/8009463N, a uma distância de 448 quilômetros de Belo Horizonte.

O melhor trajeto ao local a partir da capital passa por rodovias pavimentadas até Itambacuri, e a partir deste município segue por vias rurais até a mina. Não é recomendável trafegar sob condições chuvosas pelas estradas do último trecho, dadas as precárias condições observadas (até a conclusão deste trabalho). A seguir, descreve-se o caminho em maior detalhe:

- A partir de Belo Horizonte, segue-se, rumo a leste, 109 quilômetros pelo trecho coincidente das rodovias BR-262 e BR-381 até a região entre João Monlevade e Bela Vista de Minas;
- No desvencilhamento das estradas, por uma rampa de saída à direita, passa-se a acompanhar a BR-381 para nordeste, por 195 quilômetros até Governador Valadares;
- Nesta cidade, toma-se a BR-116 (regionalmente conhecida como Rio-Bahia) no sentido norte, rumo a Teófilo Otoni, e segue-se por 104 quilômetros até o acesso a Itambacuri;
- Atravessa-se este município pela Av. Farmacêutico Jovino, pela Av. Frei Arcângelo de Mota, pela R. Serafica e pela R. São José;
- Esta última rua se conecta à estrada local que liga Itambacuri a Franciscópolis, pela qual se segue por 17,5 quilômetros até o distrito de São José da Fortuna;
- A partir deste distrito, toma-se, à direita, uma via rural por 18 quilômetros até o garimpo.

A Figura 1 mostra o trajeto descrito, bem como as cidades e os distritos de referência ao longo de seu curso, com suas principais saídas rodoviárias, a fim de facilitar a identificação do

acesso correto em uma viagem até o pegmatito. Ainda, apresenta uma rota alternativa, na qual, a partir de São José da Fortuna, segue-se até os arredores de Franciscópolis e, a partir daí, até a mina, passando-se pelo distrito de Antônio Ferreira, o que totaliza 50,5 quilômetros.

Outras vias que chegam ao destino têm declividade muito alta e encontram-se em mau estado de conservação (com muitos buracos, valetas, pedregulhos e detritos). Isso as torna perigosas e inacessíveis mesmo para veículos com tração nas quatro rodas.

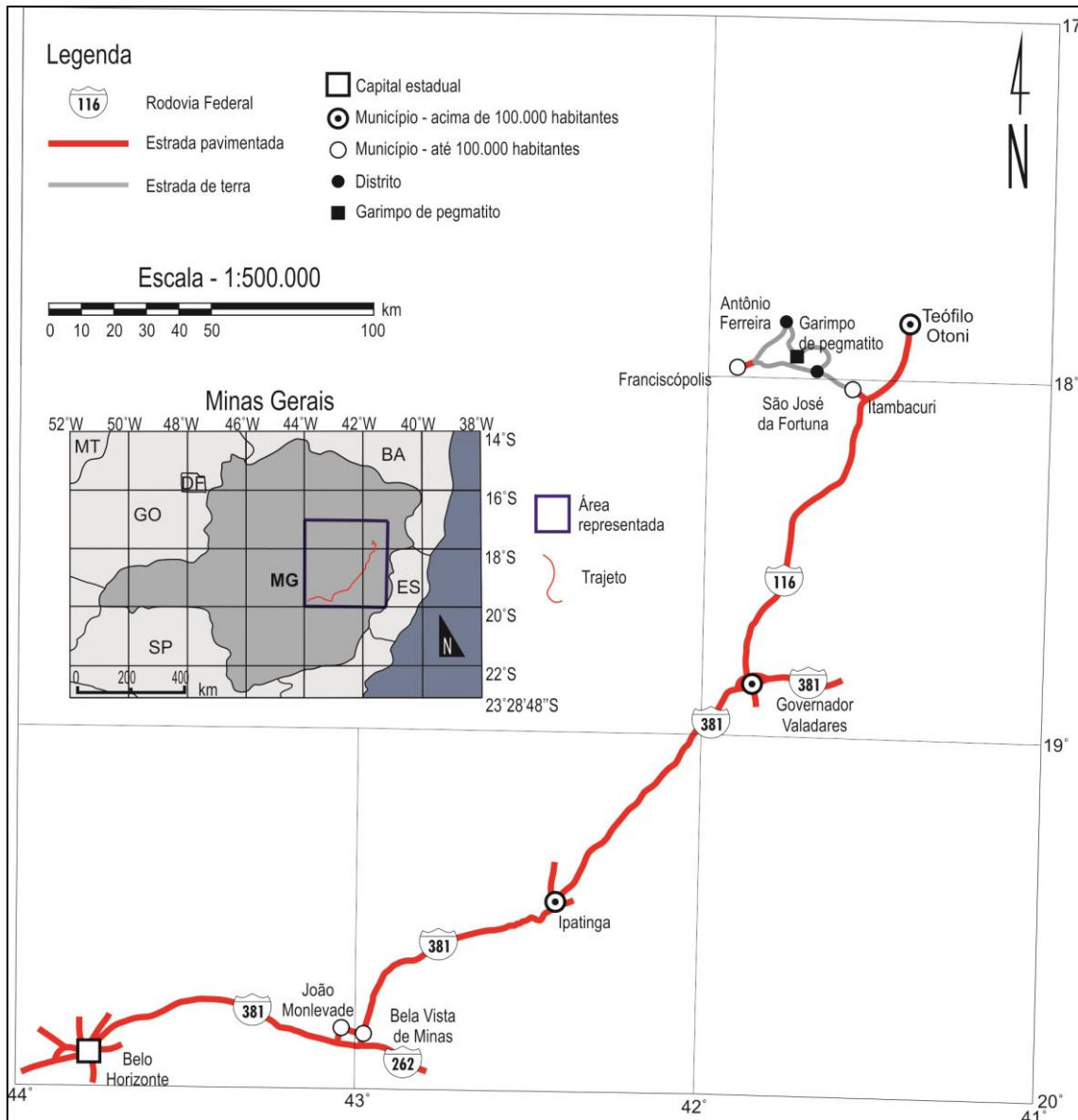


Figura 1. Mapa da localização e das vias de acesso ao pegmatito de Antônio Ferreira, Franciscópolis/MG.

1.5. Aspectos Fisiográficos

1.5.1. Clima

Segundo o banco de dados do INMET (2009), a estação A527, em Teófilo Otoni, mostra que na microrregião desta cidade vigora um clima tropical com um verão quente e chuvoso e

Modelamento e prospecção de pegmatito com aplicação de Radar de Penetração no Solo (GPR) e geoquímica no distrito de Antônio Ferreira – Franciscópolis/MG

um inverno ameno e seco, o que se enquadra na categoria Aw da classificação Köppen-Geiger. Com base em informações reunidas pelo compilador de dados meteorológicos Climate Data (2016a, 2016b), foram elaboradas a Tabela 1, com os valores médios mensais da pluviosidade e das temperaturas máximas, médias e mínimas nos municípios de Itambacuri e Franciscópolis; e a Figura 2, que os representa sob a forma de climograma.

Tabela 1. Médias de precipitação e temperaturas máxima, média e mínima dos municípios de Franciscópolis e Itambacuri. Fonte: Climate Data (2016a, 2016b).

Franciscópolis													
Mês		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitação (mm)		185	116	102	66	25	15	17	10	27	108	186	232
Temperatura (°C)	Máxima média	32,1	31,3	30,4	29,1	27,8	27,2	27,7	28,7	29,3	29,9	30,3	29,8
	Média	25,8	25,4	24,5	23,0	21,3	20,5	20,9	21,9	23,1	24,2	24,7	24,1
	Mínima média	19,6	19,6	18,7	17,0	14,9	13,8	14,1	15,2	17,0	18,6	19,2	18,4
Itambacuri													
Mês		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Precipitação (mm)		191	122	98	74	31	20	22	14	30	113	181	239
Temperatura (°C)	Máxima média	32,3	31,0	30,5	29,3	27,9	27,2	27,7	28,6	29,2	29,9	30,5	29,8
	Média	26,0	25,4	24,7	23,2	21,6	20,7	21,2	22,3	23,4	24,4	25,0	24,1
	Mínima média	19,8	19,9	18,9	17,2	15,3	14,3	14,8	16,1	17,6	18,9	19,5	18,4

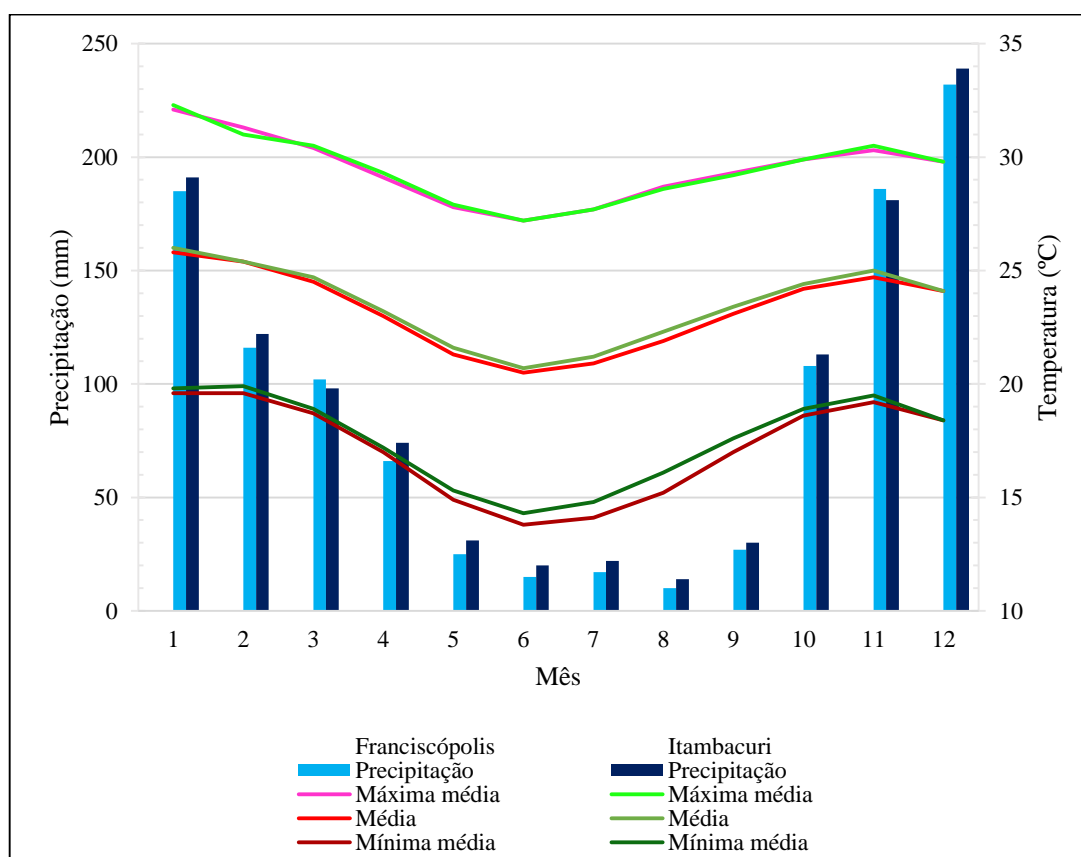


Figura 2. Climogramas dos municípios de Franciscópolis e Itambacuri.

1.5.2. Hidrografia

Franciscópolis e Itambacuri encontram-se na Sub-Bacia do Rio Suaçuí (DO4), uma das constituintes da margem esquerda da Bacia do Rio Doce (IGAM, 2005). Abastecido por córregos e riachos, o principal agente de drenagem da região de Antônio Ferreira é o Ribeirão Norete, um dos poucos cursos d'água de regime perene do local, que corre para sul até desaguar no Rio Urupuca, um dos afluentes do Rio Suaçuí Grande.

1.5.3. Vegetação

A vegetação original da região estudada apresenta árvores de médio a grande porte, remanescentes da Mata Atlântica, caracterizando-se como floresta estacional semidecidual submontana. Entretanto, esse bioma foi largamente desmatado para instauração de atividade agropecuária (Carvalho et al., 2008; IBGE, 2004).

1.5.4. Geomorfologia

O Vale do Mucuri está inserido, na compartimentação geomorfológica de Minas Gerais, no Domínio Unidades Denudacionais em Rochas Cristalinas ou Sedimentares. Em escala local, os arredores do garimpo investigado são classificados nos Domínio Montanhoso, de Colinas e de Morros e Serras (Baptista et al., 2010; CECS, 2014a).

Nos arredores do garimpo investigado, o relevo tem o aspecto de mar de morros (Figura 3), com algumas escarpas e pontões de granito se destacando na paisagem. A altitude média decresce de sudeste para noroeste, e entre os distritos de São José da Fortuna e Antônio Ferreira encontra-se uma planície (Figura 4) sujeita a inundações dos cursos d'água no período chuvoso. As maiores elevações atingem cerca de 770m acima do nível do mar, enquanto nos pontos mais baixos podem diminuir até cerca de 300m.



Figura 3. Montagem de fotografias formando vista panorâmica a partir do alojamento na propriedade do garimpo estudado, evidenciando o aspecto de mar de morros do relevo local. O depósito pegmatítico localiza-se no fundo do vale mais próximo, à direita da imagem.

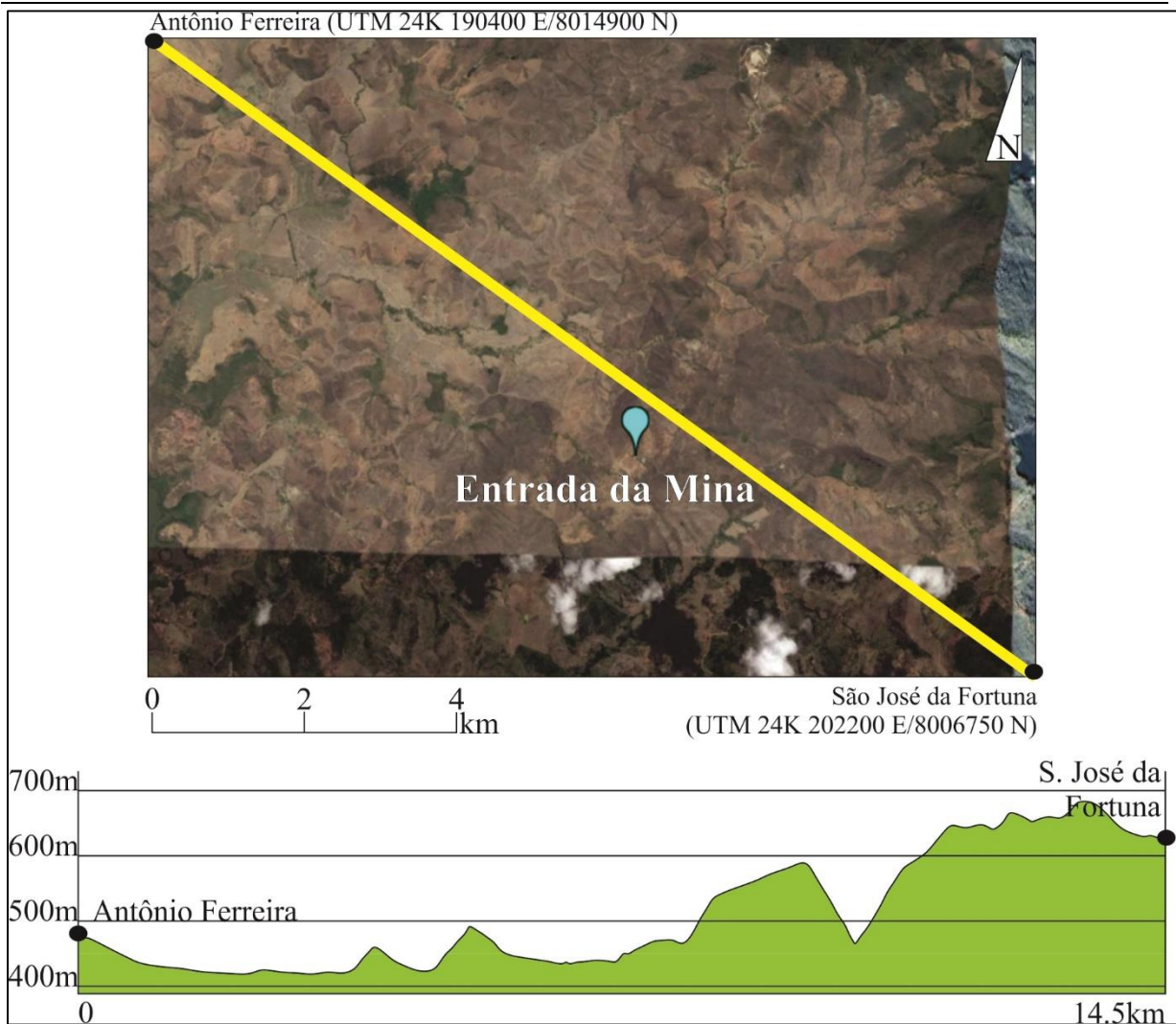


Figura 4. Imagem aérea (fonte: *software* Google Earth) e perfil topográfico da região entre os distritos de Antônio Ferreira e São José da Fortuna.

1.5.5. Solos

Dois tipos de solo são encontrados na área de estudo (Figura 5). Os argissolos vermelhos ou amarelos predominam no terreno, sendo observado em suas porções central, norte, oeste e no extremo sudeste. No centro-leste, ocorrem cambissolos háplicos, comuns em regiões de relevo ondulado ou montanhoso (CECS, 2014b; Santos et al., 2013).

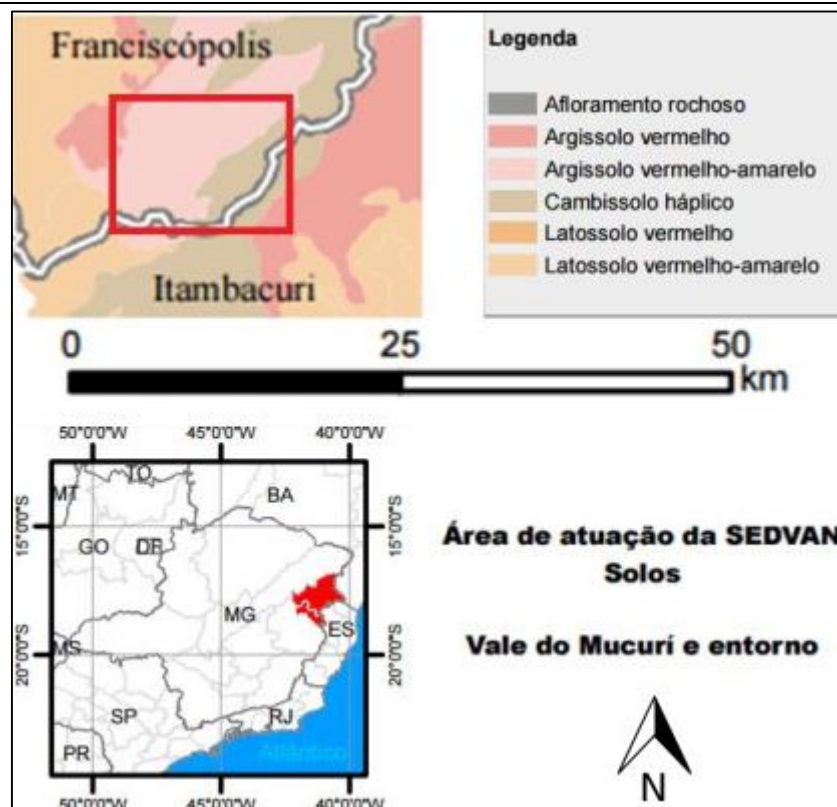


Figura 5. Mapa de solos da região entre os municípios de Franciscópolis e Itambacuri/MG, adaptado do mapa de solos para o Vale do Mucuri. Fonte: Oliveira (2016, modificado de CECS, 2014).

1.6. Aspectos Socioeconômicos

Franciscópolis era um antigo distrito de Malacacheta que foi emancipado e elevado à categoria de município em 1995. Atualmente, possui 5.800 habitantes. A produção local destina-se ao consumo internos e ao abastecimento de Teófilo Otoni. O garimpo de pedras preciosas e o cultivo de café e de cana-de-açúcar são as maiores fontes de divisas e empregam a maior parte da população economicamente ativa do município (IBGE, 2015b).

A fundação de Itambacuri ocorreu em 1873. Atualmente, a cidade tem uma população estimada em 23.585 habitantes. O comércio e a prestação de serviços são as principais atividades locais, e a economia é mais conectada à de outros municípios nas proximidades, como Campanário e Frei Inocência, além do micropolo regional, Teófilo Otoni (IBGE, 2015c).

Franciscópolis e Itambacuri experimentaram, nas últimas décadas, importantes avanços em infra-estrutura, saúde pública e educação básica. Isso se reflete em seus IDHs, que saltaram, respectivamente, de 0,203 para 0,603 e de 0,365 para 0,634, no período de 1991 a 2010. Entre 1999 e 2013, os respectivos PIBs dos municípios cresceram de R\$10.415,00 e R\$46.864,00 para R\$47.876,00 e R\$216.064,00 (IBGE, 2015b, 2015c). Essa realidade, contudo, não é suficiente para colocar as cidades em posições atrativas para investimentos. O ZEE (Scolforo

et al., 2008), considerando os componentes produtivo, natural, humano e institucional, classifica as potencialidades sociais de Franciscópolis no nível mais baixo do levantamento (muito precária) e as de Itambacuri, no intermediário (pouco favorável).

1.7. Metodologia e Sistematização do Trabalho

1.7.1. Levantamento Bibliográfico

Para agregar conhecimento sobre a região de Antônio Ferreira e estabelecer parâmetros para aplicação da metodologia proposta, foram consultadas diversas fontes. A respeito do contexto geológico e das ocorrências de depósitos pegmatíticos, foram importantes os trabalhos de Netto et al. (1997) e Paes (1997), no âmbito do Projeto Leste, e os de Oliveira (2016) e Pedrosa-Soares et al. (2011). Gandini (1999) e Souza (1999) constituíram a base de referência para as caracterizações químicas. A aplicação de GPR ao pegmatito foi calcada nas idéias de Cook (1997, 2002), nos estudos de Patterson e Cook (1999, 2000, 2002, 2004) e em trabalhos não publicados do orientador desta dissertação nas regiões de Coronel Murta, Galiléia, Virgem da Lapa.

1.7.2. Aquisição de Dados e Amostragem

A aquisição de dados foi iniciada pelos orientadores deste projeto, em levantamentos anteriores ao início deste estudo. Uma vez iniciado este trabalho, foram feitos trabalhos de campo entre janeiro de 2015 e setembro de 2016. Cada campanha teve duração de dois a cinco dias. Dentro das galerias, foram realizados três tipos de atividades, descritas a seguir.

a) Levantamento Topográfico

Com uma estação total Topcon ES-107, foi efetuado um levantamento topográfico (Figura 6) com séries de leituras a *laser* dos principais túneis do garimpo, dos pontos de amostragem e dos pontos iniciais e finais dos perfis de GPR. As coordenadas de partida, obtidas com aparelho de GPS, para a correta localização do aparelho foram:

- Entrada da mina (base): UTM 24K 196643E/8009467N, Altitude 537m;
- Poste na estrada de acesso à mina (ré): UTM 24K 196822E/8009435N, Altitude 571m.

Já em ambiente subterrâneo, eram demarcadas com piquetes no chão bases intermediárias, que tinham sempre as anteriores como referências de ré.



Figura 6. Levantamento topográfico com estação total em galeria secundária do garimpo.

b) Perfis elaborados com uso de GPR

Em nove seções nas paredes dos túneis, foram realizados perfis com o aparelho de GPR (Figura 7) para detectar o contato entre o pegmatito e o xisto encaixante e localizar anomalias estruturais no corpo pegmatítico que poderiam corresponder a possíveis geodos (popularmente conhecidos como caldeirões ou *pockets*). As antenas, de frequências centrais de 100 e 200MHz, foram dispostas em paralelo (*common offset*) e conectadas à unidade de processamento, por sua vez ligada a um computador ao qual retransmitia o sinal captado (Figura 8), registrado com uso do programa Malâ Groundvision. A captação foi efetuada a cada cinco centímetros percorridos. No Laboratório de Geofísica da UFMG, processaram-se os dados brutos com o programa Gradix, efetuando-se os passos descritos a seguir:

- *Declipping* – reconstrução da onda;
- *Dewow* – remoção de ruídos de baixa frequência;
- Demarcação de tempo zero – demarcação do início da chegada da onda refletida;
- Janelamento – definição da região de interesse do radargrama bruto;
- Remoção de ruído de fundo (*background*);
- Filtragem gaussiana – definição da frequência central, no caso, 100 ou 200MHz;
- Correção topográfica da parede;
- Conversão de tempo de chegada da onda para profundidade do refletor.



Figura 7. Execução de um perfil com aparelho de GPR em parede de túnel do garimpo.

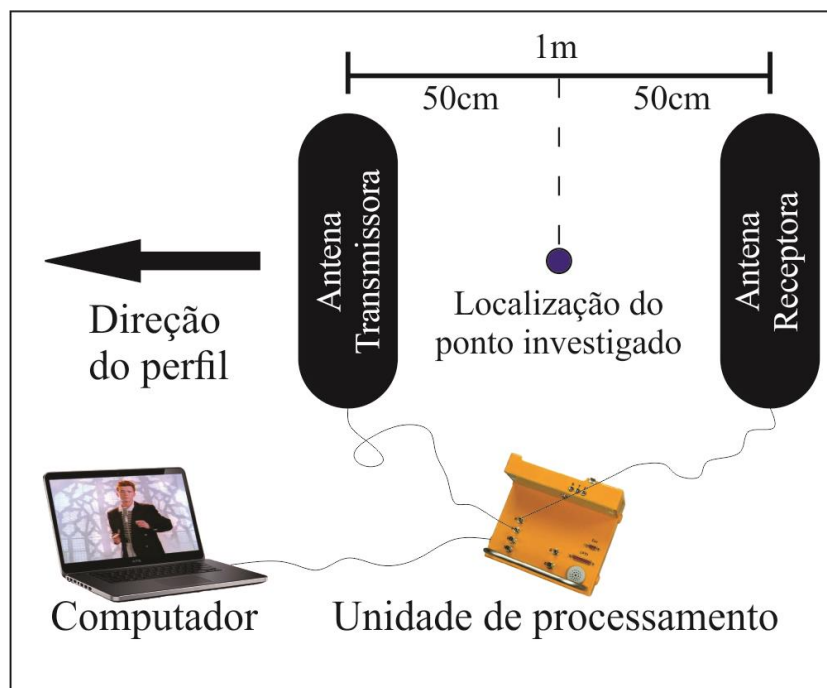


Figura 8. Esquema do arranjo *common offset* do aparelho GPR empregado nos levantamentos.

c) Coleta de Amostras

A amostragem do pegmatito foi feita em diferentes contextos da mina: a pilha de rejeito, a rocha maciça, o contato com o xisto encaixante e as imediações de caldeirões com ou sem turmalinas. No total, foram coletadas 21 amostras, das quais foram separados manualmente 42 conjuntos contendo um mineral entre turmalina, feldspato e granada (Tabela 2).

Tabela 2. Amostras e conjuntos de minerais coletados no garimpo de Antônio Ferreira/MG.

Ponto	Amostra	Conjunto de Mineral			Rocha	Contexto
		Turmalina	Granada	Feldspato		
1	1A	X	X	X	Pegmatito	Rejeito
	1B	X	X	X	Pegmatito	
2	2A	X			Pegmatito	Contato de base (pegmatito a NW)
	2B			X	Pegmatito	
3	3	X			Pegmatito	Pegmatito maciço
4	4	X	X	X	Pegmatito	Contato de base
5	5A	X	X	X	Pegmatito	Caldeirão com turmalinas pretas
	5B		X	X	Pegmatito	
6	6A	X		X	Pegmatito	Caldeirão com turmalinas azuis
	6B			X	Pegmatito	
	6C	X		X	Pegmatito	
	6D			X	Pegmatito	
	6E	X	X	X	Pegmatito	
7	7A	X		X	Pegmatito	Caldeirão sem turmalina na região do contato de base
	7B	X		X	Pegmatito	
	7C	X	X	X	Pegmatito	
	7D	X			Xisto	
	7E	X	X	X	Pegmatito	
	7F	X	X	X	Pegmatito	
8	8	X			Pegmatito	Pegmatito maciço
9	9	X			Pegmatito	

1.7.3. *Investigação Petrográfica*

No CPMTC-IGC/UFGM, foi realizada a descrição das amostras de mão coletadas em campo. De 23 conjuntos de minerais, sendo 14 de turmalina e nove de granada, foram elaboradas seções polidas, que foram descritas sob microscópio de luz refletida, para identificar os grãos e os perfis mais favoráveis às análises por microsonda eletrônica. O Apêndice A apresenta as descrições das seções polidas.

1.7.4. *Análises de Composição Química dos Minerais*

As análises geoquímicas empregadas neste trabalho tiveram o intuito de comparar a composição química de minerais de diferentes contextos do garimpo. Dois métodos foram aplicados para essa avaliação. O primeiro foi a microsondagem eletrônica, que investiga variações de constituição no interior de um grão mineral. O segundo foi o método ICP em suas variantes ICP-MS e ICP-OES, que determinam a composição geral de uma amostra. A combinação dessas análises permite que se estabeleça se há zonamentos internos característicos ou padrões de distribuição de elementos nos minerais dos diferentes pontos de amostragem.

a) Microsonda Eletrônica

As seções polidas de turmalina e granada produzidas foram enviadas para o laboratório de microsonda do Centro de Microscopia da UFMG. A preparação das amostras foi feita com aplicação de película de carbono, procedimento padrão para esse tipo de análise. As análises foram realizadas por um aparelho JXA-8900RL, sob voltagem de aceleração de 15kV. Efetuaram-se perfis ao longo de diversos grãos, para avaliar variações internas em sua composição.

O método de microsondagem eletrônica consiste na emissão de um feixe de elétrons sobre uma amostra polida sob alto vácuo. A radiação provoca a ionização dos átomos atingidos pela excitação de elétrons de orbitais internos (*inner shell ionization*), que são ejetados e deixam vago um sítio de baixa energia. Este, então, pode ser ocupado por outra partícula negativa, oriunda de um nível mais externo e, portanto, mais energético. Esse salto ocorre com a emissão de radiação na forma de raios-X, que são captados por um detector. O comprimento de onda emitido nesse processo é específico para cada elemento químico. Assim, o aparelho é capaz de determinar a composição do material analisado. A aplicação prévia de películas de metal ou carbono, materiais condutores, é efetuada para garantir a circulação de corrente elétrica na superfície da amostra (Chatterjee, 2012; Goldstein et al., 2003).

b) ICP-MS e ICP-OES

Os conjuntos de minerais foram pulverizados com pilão de ágata e no moinho de bolas do CPMTIC-IGC/UFMG. As amostras moídas foram submetidas aos métodos ICP-MS e ICP-OES nos laboratórios da SGS Geosol Ltda., localizada em Vespasiano/MG, para determinar as diferenças composicionais entre os pontos de amostragem da mina.

Nesses métodos, a amostra é transformada em um aerossol pela fusão com outra substância. O preparado é então introduzido em uma câmara, onde se encontra uma tocha de plasma de argônio, capaz de atingir temperaturas superiores a 6000K. Ao sistema, aplica-se um campo eletromagnético. Nessas condições, os átomos da amostra são ionizados positivamente e transferidos a uma câmara de vácuo. A partir desse momento, surgem diferenças nos métodos ICP-OES e ICP-MS. No primeiro, apropriado para a avaliação dos elementos maiores, os íons excitados retornam ao seu estado de equilíbrio, liberando energia sob a forma de fótons. Essa radiação é captada por sensores, que, baseados no comprimento de onda detectado, identificam os átomos que compõem a amostra (Hou e Jones, 2000). No segundo, propício à avaliação de

elementos traços, os íons são transferidos a uma câmara de vácuo, onde passam por um filtro de massa quadrupolar. A intensidade dos pólos pode ser regulada de acordo com a razão entre a massa e a carga de um elemento de interesse, para que somente este seja capaz de atravessar o filtro. Finalmente, na câmara posterior, uma voltagem negativa é aplicada para atrair o íon ao detector. Este, quando atingido, emite uma corrente elétrica que amplifica o sinal para que o aparelho registre a presença do átomo na amostra (Wolf, 2005).

1.7.5. Aplicação de Estatística Multivariada

Aos dados geoquímicos obtidos por ICP foi aplicado o método estatístico de PCA, no programa Minitab 17. Os valores brutos foram convertidos ao espaço *simplex* pela transformada *centred logratio* (Aitchison, 1982), e as matrizes utilizadas na análise foram de correlação. A análise foi feita tanto para a composição geral dos minerais quanto para grupos menores de elementos – maiores, traços e terras-raras.

Foram investigadas as diferenças entre os tipos de amostras coletadas e se havia fatores que se destacassem com papéis construtivos ou deletérios no que tange à formação de gemas. As relações estatísticas entre minerais estabelecidas por esse método podem ter correspondência física, isto é, o agrupamento de amostras em um mesmo campo pode significar que os mesmos fatores atuantes na cristalização do pegmatito influenciaram na geração desses minerais. Entretanto, esse tipo de interpretação foge ao escopo desta dissertação e exigiria uma base de dados mais ampla que a disponível para garantir razoabilidade a eventuais hipóteses. Filzmoser et al. (2009a, 2009b), Kufs (1979) e Temple (1978) discutiram como a aplicação de Estatística Multivariada a dados composicionais exige atenção e, sem o devido cuidado, pode induzir conclusões errôneas. Assim, este trabalho adota cautela para não incorrer no equívoco de teorizar sem fundamentação confiável, e não atribui sentido físico às relações obtidas, embora esse seja um tema válido para pesquisas futuras.

A PCA produz, com transformações ortogonais, combinações lineares de um conjunto de variáveis – potencialmente – relacionadas, gerando um número igual ou menor de variáveis independentes, chamadas de Componentes Principais. Cada nova variável corresponde a um autovetor da matriz de correlação ou covariância gerada na transformação, e quanto maior o seu módulo (autovalor), maior a sua contribuição individual na variabilidade dos dados. A contribuição de cada variável inicial dentro dos vetores tem o nome de coeficiente ou *loading*, e a de cada amostra é denominada *score*. Esses valores abrem margem para interpretação de

possíveis significados para as Componentes Principais determinadas (Aitchison, 1982; Johnson e Wichern, 2007; Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006).

Como dados composicionais têm variação em um intervalo restrito, é necessário aplicar, inicialmente, uma transformação que os converte a um espaço não-euclidiano denominado *simplex*, no qual as variáveis assumem variação livre e podem ser submetidas a análises e operações estatísticas (Aitchison, 1982; Kucera e Malmgren, 1998; Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006).

1.7.6. Modelamento do Garimpo

A elaboração do modelo computadorizado teve início com a digitalização do mapa geológico e topográfico simplificado do terreno do garimpo, de circulação interna e disponível nas instalações de apoio à mina. Essa etapa foi realizada com uso do programa ArcMap 10.2.2. A partir dos dados vetorizados, a visualização tridimensional do relevo da superfície foi criada no programa Studio 3, ao qual foram também adicionados os pontos dos túneis adquiridos com a estação total. Finalmente, no Laboratório de Pesquisa Mineral do DEMIN/UFMG, utilizou-se o programa Micromine 2014 para a produção do modelo tridimensional definitivo do garimpo, no qual constam:

- Topografia da superfície e das galerias da mina;
- Localização dos pontos de coleta das amostras;
- Contatos geológicos entre o pegmatito e o xisto encaixante em superfície e subterrâneos, conforme a detecção nos perfis de GPR;
- Anomalias estruturais no interior do corpo pegmatítico detectadas pelo aparelho de GPR.

CAPÍTULO 2. PEGMATITOS

Pegmatitos são rochas holocristalinas intrusivas, caracterizadas por granulação muito grossa, que pode atingir dimensões até decimétricas (Landes, 1933), e ocorrem como apófises, veios e diques, subordinados a suítes plutônicas ou cinturões metamórficos. Os depósitos pegmatíticos são fontes de gemas, minerais industriais e elementos raros (Linnen et al., 2012; Shigley e Kampf, 1984; Simmons et al., 2012). A formação de pedras preciosas acontece sob condições de temperatura e pressão baixas, em consequência da ação de componentes fundentes no fluido pegmatítico, que provocam a formação de geodos (Chakoumakos e Lumpkin, 1990; London, 2005, 1987, 1986a; Quirke e Kremers, 1943; Simmons et al., 2012).

Cameron et al. (1949) classificaram os pegmatitos como simples (não-zonados) ou complexos (não-zonados), conforme as variações mineralógicas e texturais observadas ou não ao longo da extensão da rocha. Conforme ilustrado na Figura 9, o zonamento, quando definido apenas pela cristalização primária do fluido pegmatítico, tende a se desenvolver de forma concêntrica. Esse padrão, no entanto, pode ser alterado por reações de metassomatismo e pela presença de fraturas (Černý, 1993). A estrutura interna de pegmatitos zonados foi dividida em quatro partes principais, das bordas para o centro (Cameron et al., 1949):

- Zona marginal: localizada na região dos contatos e pouco espessa, tem textura aplítica e granulação fina;
- Zona mural: tem granulação mais grossa que a anterior, porém mais fina que as subsequentes. Nessa região, é comum a presença de intercrescimento de feldspatose e quartzo, formando textura gráfica;
- Zona intermediária: frequentemente é a porção mais volumosa de um pegmatito, e tende a apresentar os minerais de maior dimensão. Minerais metálicos, quando presentes, normalmente se concentram nessa região;
- Núcleo: localiza-se na parte central do corpo pegmatítico, pode ser descontínuo, e seu principal constituinte é quartzo.

Norton (1983) definiu nove associações minerais tipicamente encontradas nas diferentes zonas de um pegmatito (Tabela 3), reduzindo em três a proposta original de Cameron et al. (1949).

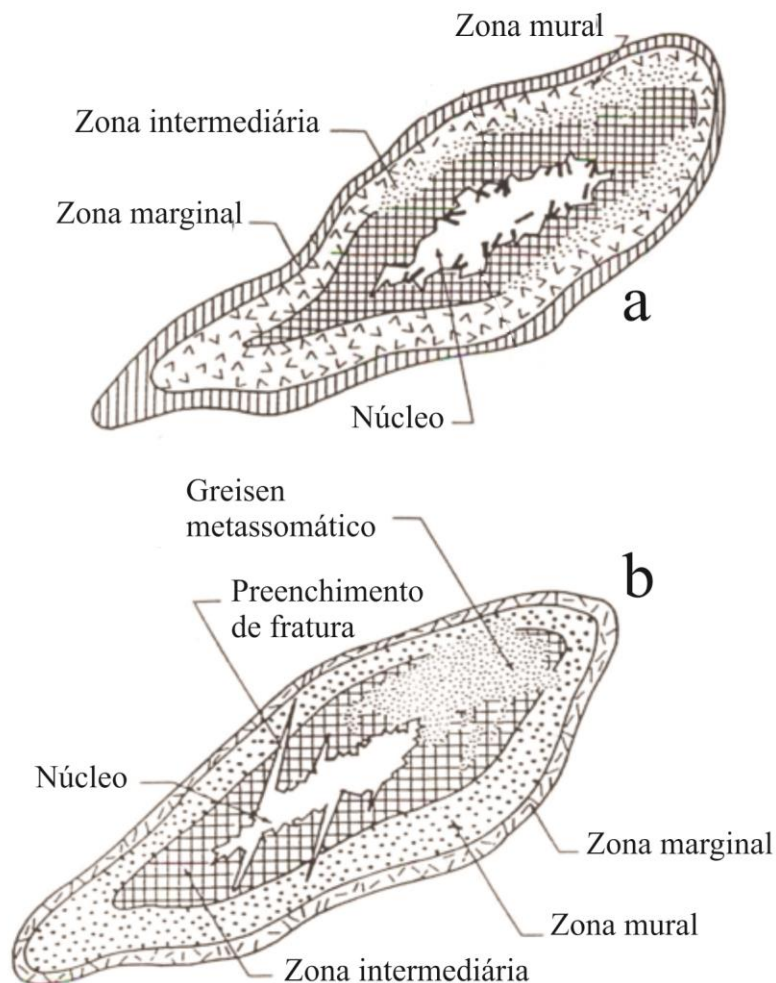


Figura 9. Estrutura interna de pegmatitos zonados. a) Padrão concêntrico das zonas primárias; b) Alterações causadas por fraturamento e metassomatismo. Fonte: Černý (1993).

Tabela 3. Associações mineralógicas encontradas nas diferentes zonas de um pegmatito, das bordas para o centro. Fonte: Norton (1983, modificado de Cameron, 1949).

Zona	Associação mineralógica
1	Plagioclásio + quartzo + muscovita
2	Plagioclásio + quartzo
3	Quartzo + pertita + plagioclásio
4	Pertita + quartzo
5	Quartzo + plagioclásio + pertita + espodumênio (ou petalita) + ambligonita
6	Quartzo + espodumênio (ou petalita)
7	Quartzo + microclina (ou pertita)
8	Quartzo
9	Lepidolita (ou mica rica em lítio) + plagioclásio + quartzo + microclina

Ginsburg et al. (1979) e, posteriormente, Černý (1992) propuseram a classificação de corpos pegmatíticos com base na sua profundidade de formação e sua relação com processos metamórficos ou plútons graníticos (Tabela 4). A partir de dados geoquímicos, os pegmatitos de origem ígnea foram, por sua vez, subdivididos nas famílias Lítio-Césio-Tântalo, associada a suítes orogênicas, de regime compressional; e Nióbio-Ítrio-Fluor, associada a suítes anorogênicas, de sistemas extensionais (Černý e Ercit, 2005; Martin e De Vito, 2005; Simmons, 2004).

Tabela 4. Classificação dos pegmatitos graníticos. Fonte: Černý (1992, modificado de Ginsburg et al., 1979).

Classe	Mineralizações	Formação
Abissal	Pobre	Segregação de leucossomas anatóticos gerados sob condições de fácies granulito (400 a 900MPa, 700 a 800°C)
Muscovita	Micas e minerais cerâmicos	Corpos anatóticos, fusão parcial de rochas sob condições de fácies anfibolito (500 a 800MPa, 580 a 650°C)
Muscovita/ Terras-Raras	Micas, minerais cerâmicos, minerais raros	Fusão parcial de rochas sob condições de fácies anfibolito ou diferenciação de plútons graníticos (400 a 600MPa, 550 a 650°C)
Terras-Raras	Gemas, minerais raros, minerais cerâmicos	Diferenciação de plútons graníticos (200 a 400MPa, 500 a 650°C)
Miarolítica	Pobre	Rasos a sub-vulcânicos, originados da diferenciação de plútons graníticos (200 a 400MPa)

2.3. A Província Pegmatítica Oriental do Brasil

No Brasil, existem três grandes províncias minerais que hospedam depósitos pegmatíticos: a Província Nordestina, a Província Oriental e a Província Meridional (Paiva, 1946; Putzer, 1976).

A Província Oriental tem 800km de extensão e 150km de largura, e ocupa porções ao norte do Rio de Janeiro, leste de Minas Gerais, oeste do Espírito Santo e sul da Bahia. Pedrosa-Soares et al. (2011) propuseram relações genéticas entre os pegmatitos dessa província e as supersuítes graníticas do Orógeno Araçuaí, enquanto Netto et al. (1997) cadastraram os campos pegmatíticos que a constituem. O depósito estudado neste trabalho está contido no Campo Pegmatítico de Santa Rosa, no limite entre as Folhas Teófilo Otoni, Itambacuri, Malacacheta e Santa Maria do Suaçuí.

Esse campo tem importância histórica na região nordeste de Minas Gerais, principalmente por causa da Lavra Santa Rosa, uma das dez maiores produtoras de turmalina do mundo (Cornejo et al., 2014).

CAPÍTULO 3. O MÉTODO GPR

O *Ground Penetrating Radar* (Radar de Penetração no Solo), georadar ou GPR é um método eletromagnético de investigação geofísica, aplicado para pesquisas de subsuperfície com base na interação de ondas de rádio, de frequência entre 10MHz e 1,3GHz, com o subsolo. Concebida na primeira metade do século XX, a ferramenta popularizou-se a partir da década de 1970, quando foi preferida ao aparato de sísmica nas investigações da Lua, por sua maior praticidade de transporte e operação. Desde então, a aplicação do método difundiu-se nos mais variados campos, principalmente nas investigações forenses, arqueológicas, geocientíficas e de construção civil (Busby et al., 2004; Daniels, 2004; Everett, 2013). Em Geociências, diversas áreas lançam mão do GPR em suas pesquisas, com resultados satisfatórios, como Estratigrafia (Hager e Carnevale, 2006), Geotecnia (Aranha et al., 2006; Benson, 1995; Hara e Sakayama, 1984; Santos, 2014), Pedologia (Chaplot et al., 2004; Huggenberger et al., 1994), Geomorfologia (Aranha, 2002; Augustin e Aranha, 2006), Geologia Ambiental (Parizzi et al., 2011) e Mineração (Francke, 2012; Rafezi et al., 2015; Strange et al., 2005).

O GPR tem princípio de funcionamento (Figura 10) semelhante ao da sísmica de reflexão. Porém, emprega ondas eletromagnéticas no lugar de acústicas e tem alcance centimétrico a decamétrico. Uma fonte emite a onda EM, que penetra o subsolo e interage com seu interior, sofrendo mudanças nos padrões de reflexão ao encontrar interfaces com contraste de permissividade elétrica, o que marca anomalias estruturais ou contatos geológicos. A onda EM refletida é captada por um receptor. Uma unidade de processamento amplifica e ajusta o sinal adquirido e o retransmite a um computador, que o exibe e armazena (Busby et al., 2004; Davis e Annan, 1989; Everett, 2013; Milson, 2003; Santos, 2014).

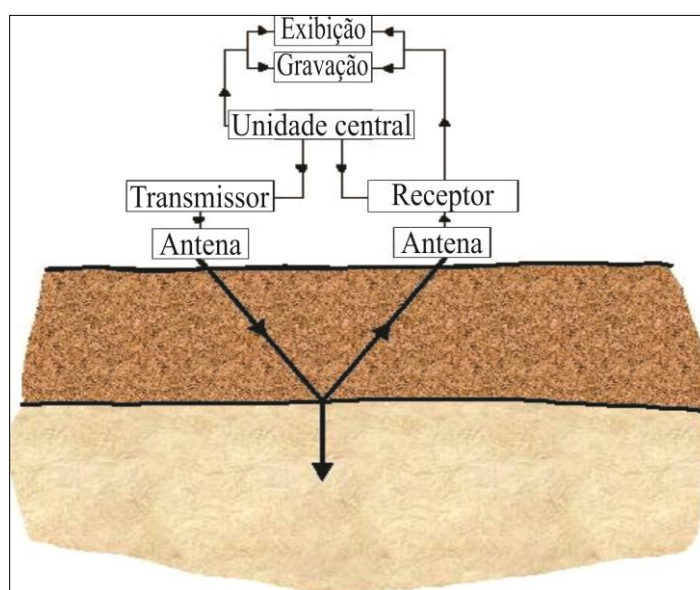


Figura 10. Esquema simplificado de um sistema de levantamento GPR. Fonte: Davis e Annan (1989).

A profundidade e a resolução de um caminhamento de GPR dependem da frequência central das antenas utilizadas. O alcance pode variar de ordem centimétrica (50cm) a decamétrica (50m). Frequências mais baixas têm maior comprimento de onda, assim, possuem maior alcance e são ideais para identificação de estruturas de grande porte, mas oferecem menor riqueza de detalhes. Alternativamente, frequências mais altas fornecem maior detalhamento do subsolo e identificam feições menores, mas limitam-se aos níveis mais rasos. Ainda, as antenas de baixa frequência são grandes, o que dificulta seu transporte e seu manejo no terreno. Muitas precisam ser desmontadas após o uso e podem necessitar de uma armação auxiliar para viabilizar sua aplicação em campo (Figura 11a). Já as de alta frequência são pequenas (Figura 11b), fáceis de transportar e manusear, a ponto de poderem ser facilmente carregadas nas mãos de um operador. Portanto, para a preparação adequada do levantamento, é importante que seus objetivos sejam claros e que parâmetros prévios acerca das dimensões do alvo desejado sejam bem definidos (Conyers, 2002; Everett, 2013).



Figura 11. Levantamentos de GPR com antenas de a) 25MHz e b) 900MHz. Fonte: Conyers (2002).

O registro de dados é feito em um diagrama chamado radargrama, que relaciona a distância percorrida pelo aparelho e o tempo decorrido entre as emissões e captações de ondas em cada ponto de aquisição. O processamento do sinal envolve amplificação de sinal e remoção de ruído e ondas diretas de uma antena à outra. As reflexões mais evidentes são geradas por altos contrastes de constantes dielétricas entre os materiais atravessados. Conforme ilustrado na Figura 12, refletores planares são observados como linhas contínuas, enquanto anomalias

puntuais se manifestam como hipérbolos (Busby et al., 2004; Everett, 2013; Gruber e Ludwig, 1996). A partir do resultado final, inferências podem ser tecidas no que concerne à estruturação do subsolo e à presença de anomalias localizadas em um corpo contínuo. Ainda, a partir da velocidade de propagação da onda, é possível determinar possíveis constituições para os materiais investigados (Milson, 2003).

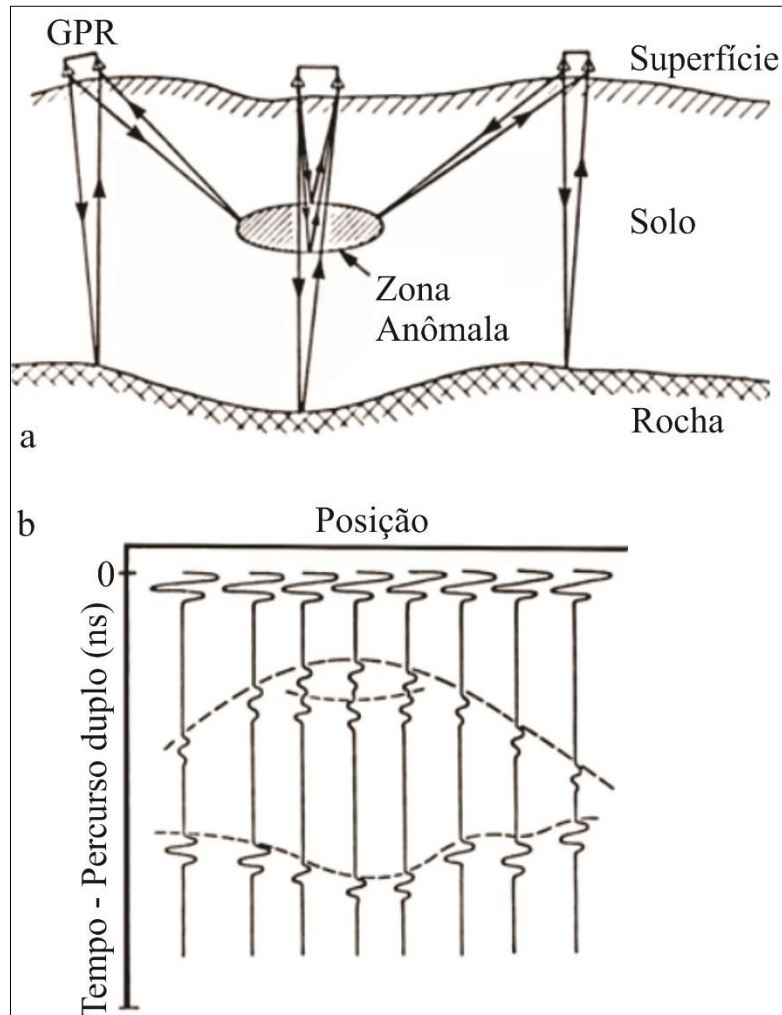


Figura 12. Em um perfil de GPR realizado em uma localidade (a), as anomalias puntuais formam hipérbolos, enquanto os refletores planares apresentam curvas semelhantes a sua morfologia no radargrama (b). Fonte: Davis e Annan (1989).

3.1. Aplicações do Método em Pegmatitos

Trabalhos acadêmicos sobre a aplicação do georadar em pegmatitos são poucos. Em geral, as pesquisas realizadas são privadas e seus resultados, restritos. De fato, apenas dois autores produziram publicações a respeito, no estado da Califórnia (EUA): Frederick A. Cook, PhD, e Jeffrey E. Patterson, PhD, inicialmente em trabalhos independentes e posteriormente em pesquisas conjuntas.

3.1.1. Os trabalhos de Patterson e Cook

Patterson (1996) realizou o primeiro levantamento voltado à detecção de geodos em pegmatitos com uso de radar na Mina Little 3. Posteriormente, Cook (1997, 2002) incluiu o GPR em uma relação dos métodos geofísicos favoráveis à exploração de gemas.

Em conjunto, Patterson e Cook (1999, 2000, 2002, 2004) passaram a divulgar os resultados de suas investigações na Mina de Himalaia, que até hoje são os trabalhos mais importantes do ramo. No local, a procura era guiada por padrões observados na forma, na cor e na disposição de minerais (Figura 13a). As gemas eram encontradas normalmente em cavidades oblongas, achatadas, preenchidas com argila ou zeólita com bordas paralelas ao contato do pegmatito com a rocha encaixante (Figura 13b). O alvo das buscas eram as feições descritas a seguir:

- Turmalinas pretas (schorlitas) que se projetavam perpendicularmente da borda do pegmatito para o seu interior, tornando-se mais largas, avermelhadas e ricas em Li (elbaítas) rumo ao centro;
- Aglomerados (*pods*) de lepidolita e morganita finas;
- Presença de albita azulada;
- Microclina de dimensões decimétricas (localmente chamada de *blocky* ou *chocolate feldspar*).

Apesar de serem válidos para a localização de cavidades mineralizadas, nem sempre esses indicadores eram facilmente visíveis.

Em um setor desativado da mina, onde esses padrões minerais de referência não estavam presentes (Figura 13c), foi realizado um perfil de GPR com frequência central de 1GHz. Foram detectadas anomalias (Figura 13d) que se revelaram, após escavação, bolsões de ar com formato distinto dos usualmente encontrados (Figura 13f), contendo cristais de elbaíta gemológica. Um escaneamento posterior no mesmo ponto indicou sinais anômalos mais discretos (Figura 13e), o que levou à conclusão de que a presença de turmalina no interior de uma cavidade contribuiu para respostas mais evidentes no radargrama.

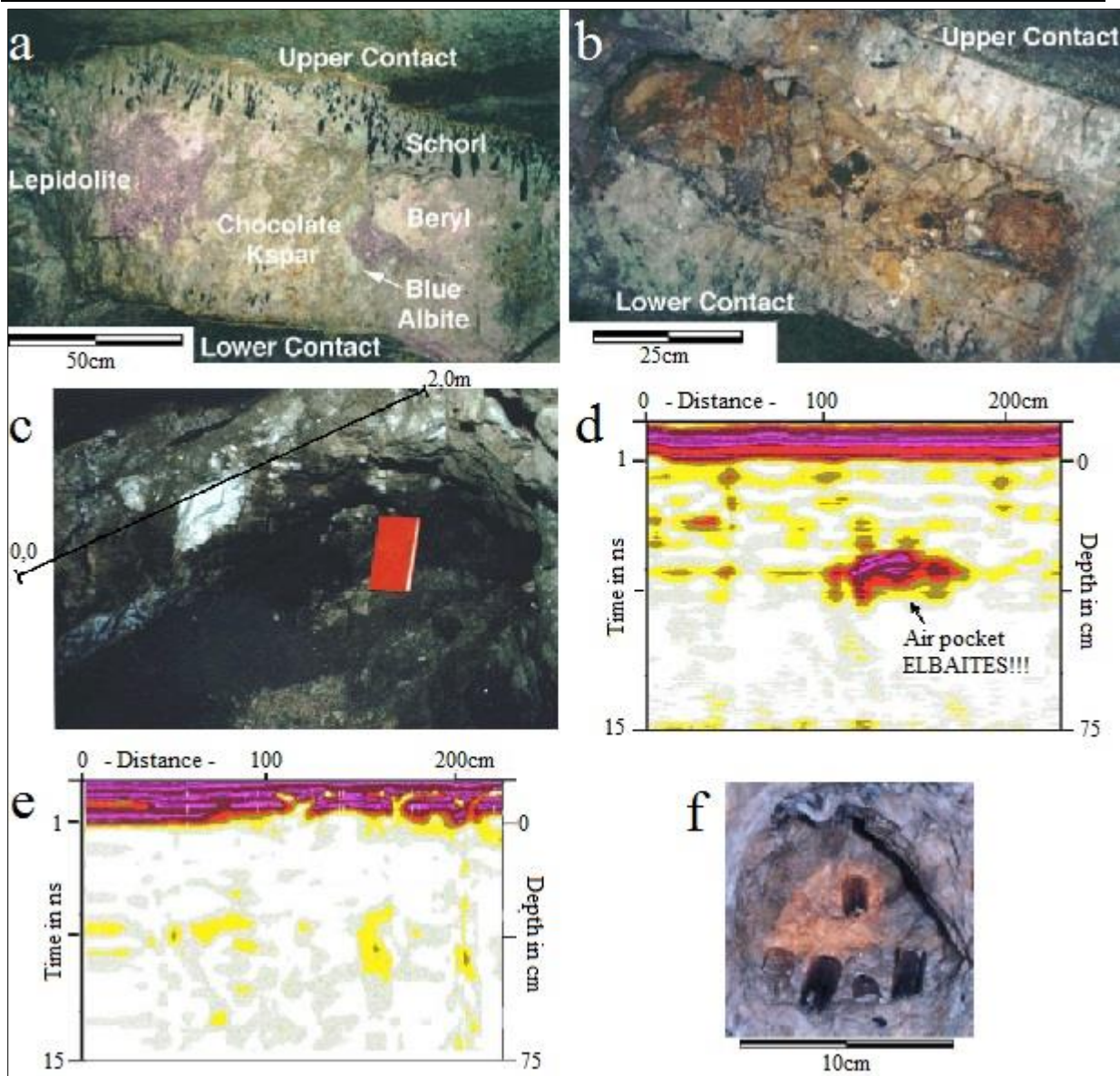


Figura 13. Registros dos trabalhos no pegmatito da Mina Himalaia (EUA). a) Padrão textural típico procurado e b) Morfologia de cavidade associada; c) Seção investigada, sem feições usuais; Radargramas d) antes e e) após a escavação; f) Nova cavidade encontrada, com formato diferente do usual. Fonte: Patterson e Cook (2002).

O mesmo procedimento foi adotado em vários outros pontos, com sucesso. Assim, os autores concluíram que o método GPR é uma boa ferramenta para a localização de zonas mineralizadas em um corpo pegmatítico, mesmo onde os padrões indicadores pré-definidos não estão presentes.

Patterson (2003) realizou mais um levantamento de georadar, desta vez na Mina Cryo-Genie, após a descoberta de elbaíta gemológica no local por Kampf et al. (2003). Mais uma vez, o método foi bem-sucedido na identificação de geodos e anomalias estruturais no pegmatito.

CAPÍTULO 4. O ORÓGENO ARAÇUAÍ

Almeida (1977) definiu os limites entre a Província São Francisco e a Província Mantiqueira (Almeida, 1967). Desde então, estudos na porção oriental do Brasil e no oeste da África detalharam, modificaram e expandiram esses conceitos. Entende-se, hoje, que essas regiões eram conectadas no Ciclo Orogênico Brasileiro-Panafricano, uma das etapas finais da formação do supercontinente Gondwana Ocidental ao final do Neoproterozóico (Figura 14), constituindo o Cráton do São Francisco-Congo e o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, um arco magmático confinado com estágios evolutivos acrescionários, colisionais e pós-colisionais (Alkmim et al., 2007, 2006; Brito-Neves e Cordani, 1991; Pedrosa-Soares et al., 2007, 2001, 1998, 1992; Porada, 1989; RADAMBRASIL, 1987).

Estendendo-se por 1000km na direção norte-sul e 500km na direção leste-oeste, e compreendendo os terrenos acima do paralelo 21°S entre o Cráton do São Francisco e a margem continental atlântica, a parcela brasileira do representa cerca de 65% da área total do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental e abarca nove de seus dez componentes tectônicos, inclusive o núcleo cristalino e a zona de sutura. Assim, é habitual a adoção, como recurso acadêmico e textual, do termo Orógeno Araçuaí nos trabalhos sobre essa região. A contraparte africana engloba a margem leste do Orógeno e é usualmente referida como Faixa Oeste Congoleza (Alkmim et al., 2007; Pedrosa-Soares et al., 2008).

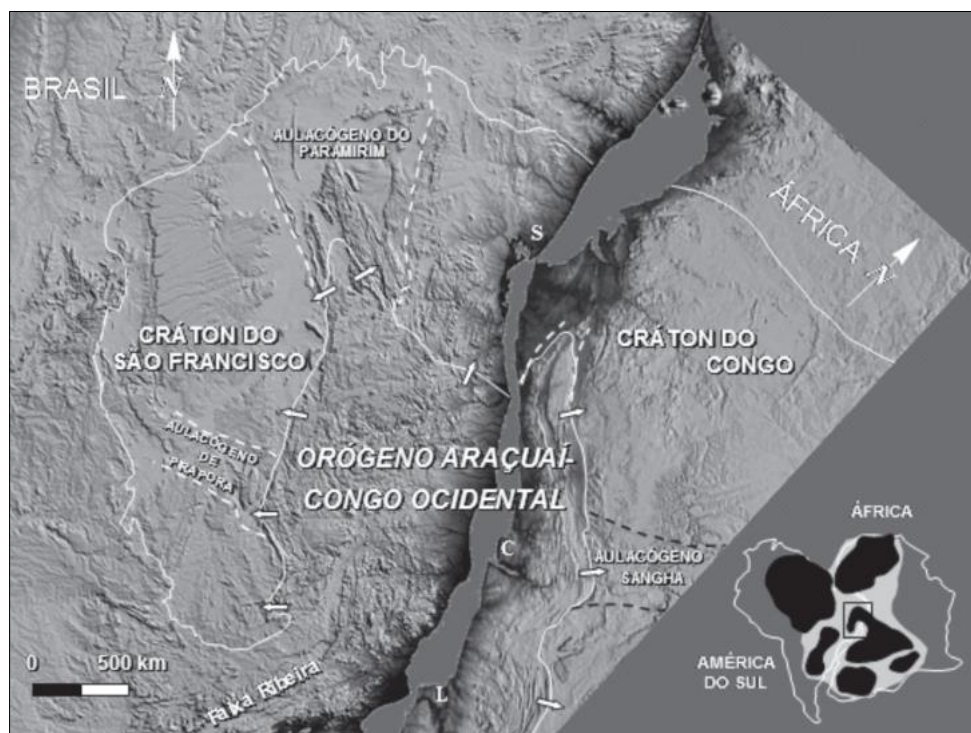


Figura 14. O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, limitado pelo Cráton do São-Francisco-Congo a leste, oeste e norte, em reconstrução do continente Gondwana Ocidental. S: Salvador (Brasil), C: Cabinda, L: Luanda (Angola). Fonte:

Alkmim et al. (2007).

4.1. Estratigrafia

O Orógeno Araçuai é formado por rochas metassedimentares e metaígneas neoproterozóicas, com embasamento arqueano a mesoproterozóico. Seu mapa geológico e a coluna estratigráfica com suas principais unidades litológicas são apresentados na Figura 15.

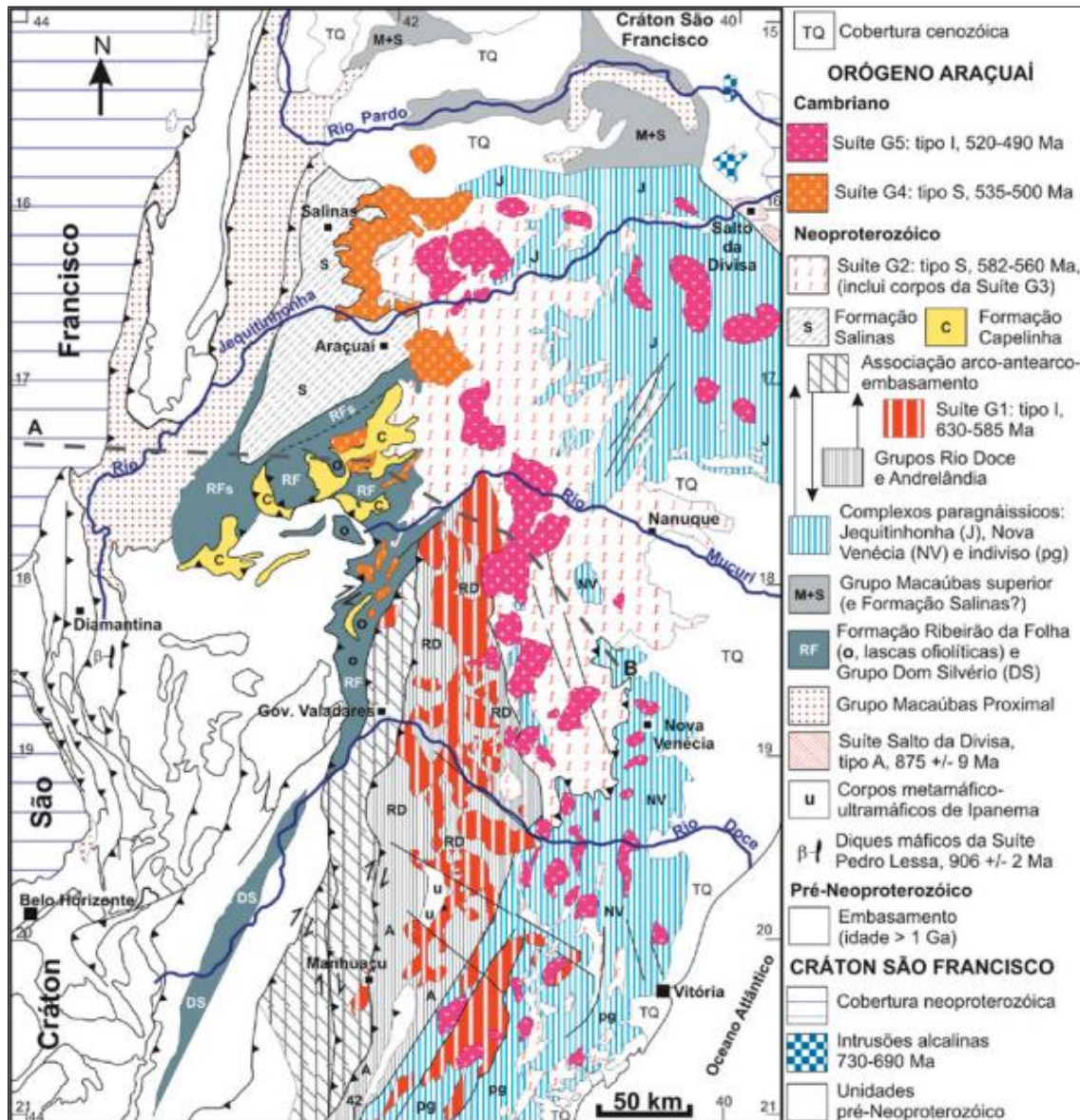


Figura 15. Mapa geológico e coluna estratigráfica do Orógeno Araçuai. Fonte: Pedrosa-Soares et al. (2007).

4.1.1. Embasamento

O embasamento do Orógeno Araçuai (Almeida et al., 1981) engloba complexos granito-gneissicos arqueanos, suítes anorogênicas e as rochas metassedimentares da Bacia Espinhaço, aberta pela Tafrogênese Estateriana entre o Paleo e o Mesoproterozóico (Brito-Neves et al., 1996; Dussin, 2000; Heilbron et al., 2004; Martins-Neto, 1998; Martins-Neto et al., 2001; Noce et al., 2007; Schöll e Fogaça, 1979; Uhlein et al., 1995).

4.1.2. *Bacia Precursora Macaúbas-Salinas*

Um segundo rifteamento se superpôs à Bacia Espinhaço no Neoproterozóico (Uhlein et al., 1995) e gerou a Megassequência Macaúbas-Salinas (Martins-Neto et al., 2001). Durante a abertura e com contribuição glacial (Karfunkel e Hoppe, 1988), sedimentou-se o Grupo Macaúbas. A essa etapa, seguiu-se magmatismo bimodal (Suíte Salto da Divisa) e máfico a ultramáfico (como a Suíte Pedro Lessa e algumas fácies do Grupo Macaúbas), o que indica geração de crosta oceânica e evolução do rifte para margem passiva (Alkmim et al., 2006; Aracema et al., 2000; Pedrosa-Soares et al., 2008, 2007, 2001, 1998, 1992; Queiroga, 2010). Já nesse novo regime, depositaram-se os Complexos Jequitinhonha e Paraíba do Sul, a Formação Salinas e o Grupo Dom Silvério, que receberam, ainda, sedimentos oriundos do Orógeno que se erguia (Gonçalves-Dias et al., 2011; Pedrosa-Soares et al., 2001; Santos et al., 2009).

4.1.3. *Bacias Orogênicas*

A sedimentação e o vulcanismo nas bacias orogênicas de antearco e retroarco e a seção supracrustal e vulcanossedimentar do Orógeno Araçuaí correspondem ao Grupo Rio Doce e ao Complexo Nova Venécia (Noce et al., 2004; Pedrosa-Soares et al., 2006; Vieira, 2007).

4.1.4. *Supersuítas Graníticas*

O plutonismo orogênico associado ao Orógeno Araçuaí é organizado em cinco supersuítas, conforme o estágio evolutivo da orogenia em que o magmatismo ocorreu. A Supersuíte G1, pré-colisional, é composta por granodioritos e tonalitos do tipo I. A Supersuíte G2 corresponde à fase sincolisional, e contém predominantemente granitos do tipo S e, subordinadamente, do tipo I. A Supersuíte G3 é formada por leucogranitos originados da refusão das rochas da Supersuíte G2, no período tardi a pós-colisional. Do mesmo estágio, a Supersuíte G4, do tipo S, está relacionada ao colapso do Orógeno. A Supersuíte G5, dos tipos I e A2, é composta por granitos, granodioritos, charnockitos e gabronoritos pós-colisionais (Bayer et al., 1987, 1985; Campos et al., 2004; Heilbron et al., 2004; Marshak et al., 2006; Pedrosa-Soares et al., 2011, 2007, 2006; Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos, 2000; Whittington et al., 2001).

4.2. Evolução Tectônica

A análise cinemática de Alkmim et al. (2006) é a mais aceita atualmente para a evolução do Orógeno Araçuaí. Dividido em cinco fases, o modelo tem o nome Tectônica de Quebra-Nozes, devido à rotação, em torno de um eixo localizado no Aulacógeno do Paramirim, da

península sanfranciscana, sem rompimento da conexão com o continente congolês pela ponte cratônica Bahia-Gabão (Figura 16). Esse processo foi induzido pelas tensões resultantes das colisões entre os blocos São Francisco-Congo, Paranapanema e Kalahari (Prave, 1996; Seer et al., 2001; Silva et al., 2005; Valeriano et al., 2004).

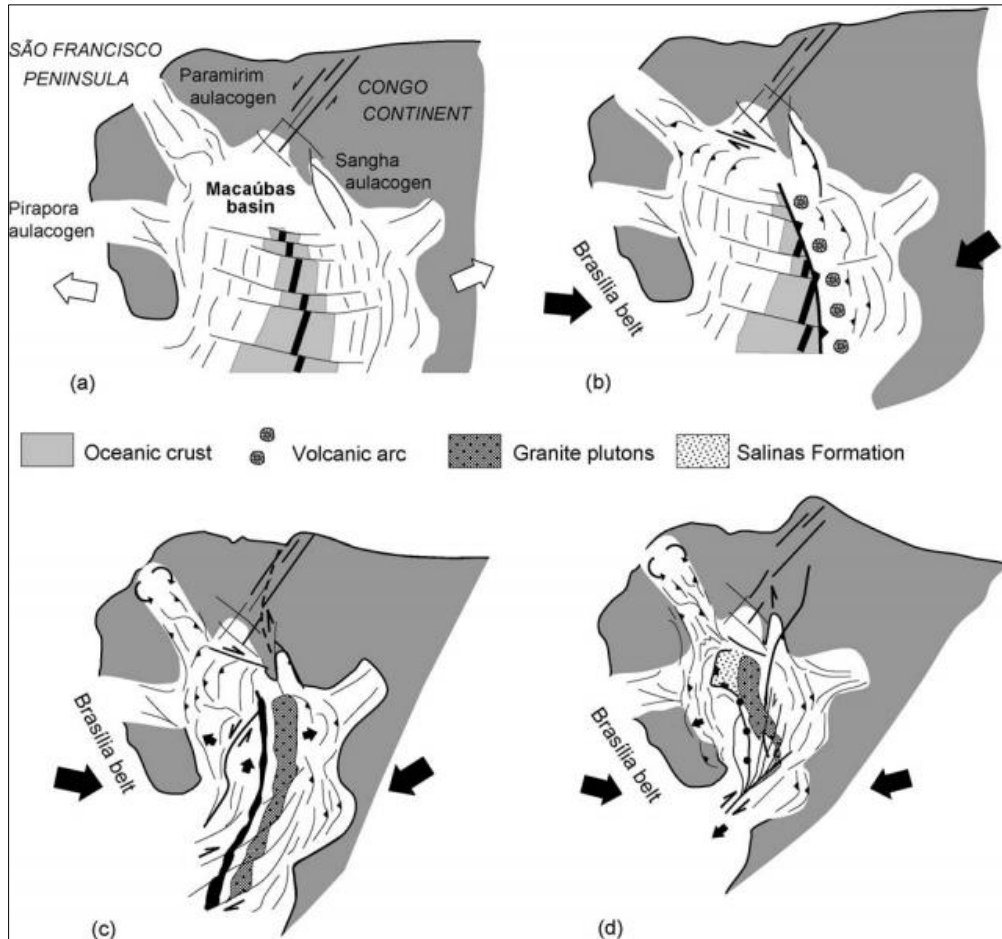


Figura 16. Estágios evolutivos do Orógeno Araçuaí. a) Bacia precursora Macaúbas (800Ma); b) Início do fechamento da bacia (600Ma), induzido pela construção da Faixa Brasília; c) Edificação do arco magmático (570); d) Escape lateral e colapso do Orógeno (500Ma). Fonte: Alkmim et al. (2006).

O modelo parte da abertura da Bacia Macaúbas. Por volta de 800Ma, o rifte havia se propagado e expandido para sul, o bastante para gerar um pequeno oceano. A partir da etapa seguinte, teve princípio a construção do Orógeno Araçuaí, com o magmatismo, o metamorfismo e a deformação associados a cada momento de sua evolução. Em 625Ma, a bacia passou a se fechar e começou a fase de acreção e inversão tectônica nas bordas cratônicas. Entre 585 e 560Ma, completou-se o fechamento e a orogenia chegou ao estágio colisional. De 560 a 535Ma, a deformação na parte sul do orógeno, desconfinada a sudoeste, passou a ser acomodada com escapes laterais de massa nessa direção. Por fim a porção norte, confinada e muito espessa, colapsou entre 520 e 490Ma.

4.3. Arcabouço Estrutural

Pedrosa-Soares et al. (2001) dividiram o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental nos domínios externo, correspondente às faixas móveis vergentes para as áreas cratônicas das bordas, onde predominam estruturas rúpteis de mergulho baixo a moderado e o metamorfismo grada de fácies xisto verde a anfíbolito; e interno, localizado entre a margem atlântica e o meridiano 42°30'W e entre as latitudes de 15°30'-16° e 21°S. Esse compartimento tem vergência geral para oeste e é subdividido em dois setores, separados aproximadamente pelo paralelo 19°S. A norte, encontram-se as melhores exposições da zona anatética do Orógeno, ocorrem frentes de empurrão frontais e oblíquas e predomina a fácies metamórfica anfíbolito. A sul, observam-se zonas de cisalhamento dextrais de alto ângulo de mergulho. Dois complexos granulíticos ocorrem nesse setor, bordejando um núcleo de fácies anfíbolito, um a oeste, composto por rochas do embasamento retrabalhadas durante a orogenia, e um a leste, formado por granulitos neoproterozóicos.

Alkmim et al. (2006) fizeram uma compartimentação mais detalhada, definindo dez domínios geotectônicos: o Cinturão de Cavalgamentos da Serra do Espinhaço Meridional; a Zona de Cisalhamento da Chapada Acauã; a zona de dobramentos de Salinas; o Corredor Transpressivo de Minas Novas; a saliência do Rio Pardo e sua interação com o Aulacógeno do Paramirim; o Bloco de Guanhões; a Zona de Cisalhamento de Dom Silvério e estruturas associadas; a Zona de Cisalhamento de Itapebi e estruturas associadas; o núcleo cristalino; e o Cinturão Oeste-Congolês – único que não se encontra no Brasil. A Folha Teófilo Otoni – na qual está contido o garimpo estudado – insere-se no nono domínio, o núcleo cristalino.

4.3.1. O Núcleo Cristalino do Orógeno Araçuaí

O núcleo cristalino do Orógeno Araçuaí localiza-se a leste da descontinuidade geofísica de Abre Campo, e engloba as supersuítas graníticas neoproterozóicas (Pedrosa-Soares et al., 2011, 2007, 2001), além do Grupo Rio Doce e os Complexos paragnáissicos Jequitinhonha e Paraíba do Sul, depositados nas bacias orogênicas (Vieira, 2007). Nesse domínio, predomina metamorfismo entre as fácies anfíbolito e granulito (Alkmim et al., 2007, 2006).

No setor sul desse compartimento, ocorrem grandes zonas transcorrentes dextrais, sendo a de Abre Campo uma zona de sutura (Pedrosa-Soares et al., 2007; Queiroga, 2010). No setor norte, predomina uma deformação de grande magnitude, expressa por uma foliação penetrativa de mergulhos baixos a moderados, que chega a uma zona de inversão de vergência em torno do meridiano 41°30'W, entre os paralelos 17° e 19°S (Alkmim et al., 2007, 2006).

CAPÍTULO 5. A FOLHA TEÓFILO OTONI E O DISTRITO DE ANTÔNIO FERREIRA

A Folha Teófilo Otoni foi mapeada por Paes (1997), no âmbito do Projeto Leste. Posteriormente, Oliveira (2016) realizou um levantamento de maior detalhe no sudoeste dessa Folha, na região compreendida entre os distritos de Antônio Ferreira e São José da Fortuna, próximo ao limite com a Folha Itambacuri. Ambos os trabalhos identificaram somente suítes orogênicas e rochas metassedimentares do Grupo Rio Doce, além de coberturas aluvionares.

5.1. Estratigrafia

A Figura 17 apresenta a estratigrafia proposta por Paes (1997) para a Folha Teófilo Otoni.

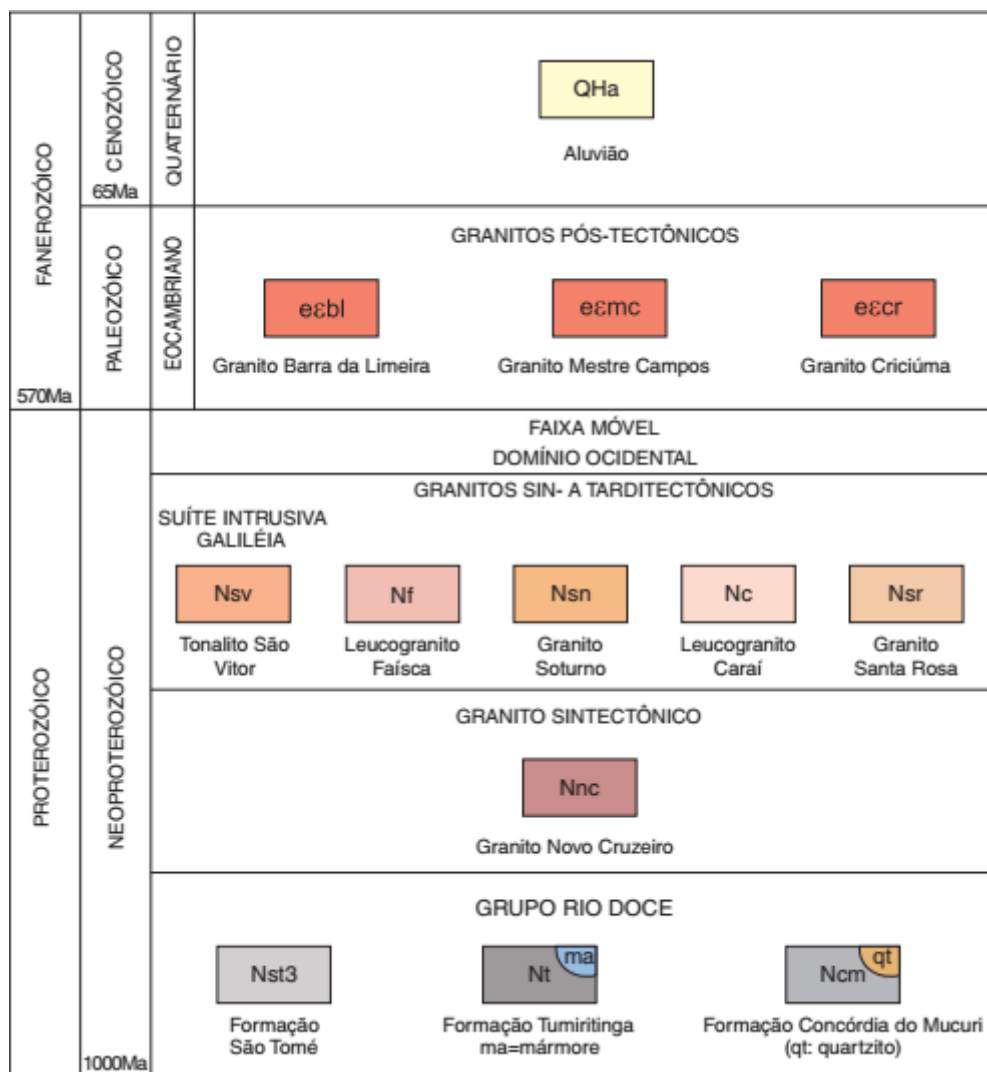


Figura 17. Coluna estratigráfica da Folha Teófilo Otoni. Fonte: Paes (1997).

5.1.1. Grupo Rio Doce

Na Folha Teófilo Otoni, o Grupo Rio Doce é representado pelas Formações São Tomé, a sudoeste, Tumiritinga, a centro-leste, e Concórdia do Mucuri, a oeste. O metamorfismo nessas

Modelamento e prospecção de pegmatito com aplicação de Radar de Penetração no Solo

(GPR) e geoquímica no distrito de Antônio Ferreira – Franciscópolis/MG

unidades atingiu a fácies anfíbolito alto (Paes, 1997), e a última não é encontrada na região do garimpo de Antônio Ferreira (Oliveira, 2016).

a) Formação São Tomé

A Formação São Tomé é constituída predominantemente por quartzo-biotita e biotita-quartzo xistos feldspáticos, que comumente mostram coloração cinza e bandamento, que reflete o acamamento sedimentar. Paralelamente à foliação, níveis tabulares ou lentes de pegmatito ou granito podem ser encontrados. Os corpos pegmatíticos podem atingir dimensões decamétricas e constituem o Campo Pegmatítico de Santa Rosa, enquanto os de composição granítica chegam a tamanho centimétrico. No contato com o Granito Santa Rosa, observam-se migmatitos de injeção. Subordinadamente, ocorrem níveis milimétricos a métricos de rocha verde-clara calcissilicática, por vezes com alternância de bandas mais ricas em quartzo ou diopsídio (Paes, 1997). Na região entre os distritos de Antônio Ferreira e São José da Fortuna, afloram duas fácies dessa formação (Oliveira, 2016).

A primeira é composta por xistos cinzas de grãos finos e com sillimanita, granada, muscovita, biotita e quartzo (Figura 18a). Há menos exposições dessas rochas, por sua maior susceptibilidade às intempéries. Ocasionalmente, observa-se migmatização próximo ao Granito Santa Rosa.

A segunda fácies é formada por gnaisses azulados (Figura 18b), que afloram em pontos de maior elevação, associados ou intrudidos por granitos e pegmatitos. Os minerais observados na rocha são clorita, epidoto, anfibólio, piroxênio, feldspatos e quartzo.



Figura 18. Rochas da Formação São Tomé na região do distrito de Antônio Ferreira. a) Xisto com apófises graníticas; b) Gnaisse bandado. Fonte: Oliveira (2016).

b) Formação Tumiritinga

Em contato transicional com a Formação São Tomé, a Formação Tumiritinga é composta principalmente por biotita gnaisses de aspecto xistoso. Biotita-quartzo xisto e rochas calcissilicáticas ocorrem de forma subordinada. De forma concordante ou não à foliação, são encontrados corpos pegmatíticos e graníticos tabulares, lenticulares ou disformes. Os pegmatitos inserem-se no Campo Pegmatítico de Poté-Ladainha. Ainda, migmatitos de fusão, pequenas intrusões e mármore também são observados (Paes, 1997).

Na região do garimpo estudado, a Formação Tumiritinga ocorre na forma de gnaisses de coloração azulada ou acinzentada, com veios pegmatíticos concordantes com a foliação. O bandamento é fino, e marcado por variação na quantidade de anfibólio, epidoto e feldspato. Piroxênio e quartzo complementam a mineralogia das rochas. Fragmentos de gnaisses da Formação São Tomé podem ser encontrados nas rochas dessa unidade (Oliveira, 2016).

5.1.2. *Suítes Orogênicas*

As suítes aflorantes na Folha Teófilo Otoni são de diferentes fases da edificação do Orógeno Araçuaí. O Granito Novo Cruzeiro é sintectônico. O Tonalito São Vitor, os Leucogranitos Faísca e Caraí, e os Granitos Soturno e Santa Rosa surgiram na fase sin a tarditectônica. Finalmente, os Granitos Barra de Limeira, Mestre Campos e Criciúma foram gerados no período pós-tectônico (Paes, 1997). Na região mapeada por Oliveira (2016), ocorrem apenas o Tonalito São Vitor e o Granito Santa Rosa.

a) Tonalito São Vitor

O Tonalito São Vitor é intrusivo no Grupo Rio Doce e intrudido por granito pós-tectônicos. Subordinadamente aos tonalitos, biotita granodioritos podem ser observados (Paes, 1997). Na região onde foi realizado este trabalho, essa unidade pode ser encontrada tanto maciça quanto gnaissificada ou migmatizada, e frequentemente cortada por veios de granito e pegmatito. A mineralogia observada é constituída por quartzo, plagioclásio e biotita, com zircão e apatita como acessórios. (Oliveira, 2016).

b) Granito Santa Rosa

A composição das rochas dessa unidade varia de tonalítica a granítica. Os principais minerais em sua constituição são plagioclásio, quartzo, biotita, microclina e ortoclásio. Nas regiões de contato com a Formação São Tomé, encontram-se anfibolitos foliados. Muito

importantes para a economia da região, diversos pegmatitos ocorrem associados ao Granito Santa Rosa, formando o Campo Pegmatítico de Santa Rosa (Paes, 1997). Segundo Oliveira (2016), magmas dessa unidade assimilaram borato e alumínio de rochas do Grupo Rio Doce durante sua ascensão, o que favoreceu a geração de turmalina, importante produto local, e turmalinitos, que são encontrados como xenólitos (Figura 19) ou capas de alteração ao redor de granitos.



Figura 19. Pegmatito associado ao Granito Santa Rosa com xenólito de xisto da Formação São Tomé, registrando processo de fragmentação e turmalinização. Fonte: Oliveira (2016).

5.1.3. Coberturas Aluvionares

Os aluviões na Folha Teófilo Otoni e na região do garimpo estudado são comumente arenosos, com níveis argilosos subordinados (Oliveira, 2016; Paes, 1997).

5.2. Geologia Estrutural

Uma falha de empurrão de direção nordeste-sudoeste, com transporte de leste para oeste, atravessa praticamente toda a extensão da Folha Teófilo Otoni. No domínio a norte dessa estrutura, observa-se uma tendência de distribuição das unidades litológicas em direção paralela

à falha. A sul, ocorrem grandes corpos graníticos tardi a pós-tectônicos. As superfícies de foliação ou o bandamento encontrados em rochas do Grupo Rio Doce têm mergulhos predominantemente para leste, e podem refletir o acamamento sedimentar original. Nas suítes orogênicas, essas estruturas podem ter surgido por processos ígneos ou metamórficos (Paes, 1997).

Oliveira (2016), em aparente contradição com o contexto regional, observou mergulhos predominantemente para oeste, o que associou à entrada dos magmas do Tonalito São Vitor e do Granito Santa Rosa na área. Ainda, identificou duas gerações de veios pegmatíticos. A primeira surgiu antes da deformação, e é concordante à foliação dos xistos. A segunda, discordante, foi gerada após as intrusões.

5.3. Recursos Minerais

A Folha Teófilo Otoni tem ocorrências de granito, quartzo, calcário, sulfetos, grafita e alexandrita. Porém, os pegmatitos desempenham o principal papel na economia mineral da região. Esses depósitos são fontes de berílio, nióbio, tântalo, lítio, estanho, minerais industriais e gemas (Netto et al., 1997; Paes, 1997). Entre os municípios de Franciscópolis e Itambacuri, existem requerimentos junto ao DNPM para pesquisa e lavra de berílio, turmalina, granito, gnaisse e ouro (Oliveira, 2016).

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

O pegmatito estudado é granítico, e encaixa-se no biotita xisto da Formação São Tomé de forma principalmente concordante à foliação, com um mergulho de 60° a 70° para noroeste. A mineralogia essencial é constituída por feldspatos alcalinos (microclina, anortoclásio e albita), turmalina, granada, quartzo e muscovita. Apatita e zircão ocorrem como minerais acessórios. No xisto, além de biotita, estão presentes quartzo, feldspato e, próximo ao pegmatito, turmalina.

A estrutura do corpo pegmatítico é complexa. As zonas são brevemente descritas a seguir:

- Zona marginal: trata-se da região do contato entre o pegmatito e o xisto encaixante. É pouco espessa, se comparada ao restante do corpo pegmatítico. A granulação da rocha atinge dimensões de, no máximo, poucos centímetros. Cristais ou aglomerados de turmalina que crescem das bordas para o centro dessa zona são frequentes (Figura 20);
- Zona mural: porção mais volumosa do pegmatito. Observam-se minerais muito grandes. Feldspato gráfico é característico dessa região e, assim como na zona marginal, cristais ou aglomerados de turmalina que aumentam das bordas para o centro da rocha são comumente observados (Figura 20);
- Zona de substituição: também apresenta grandes cristais e feldspato gráfico. Entretanto, nessa zona a muscovita ocorre na forma de livros espessos. Nessa região do pegmatito ocorrem as miároles, cavidades preenchidas por água e argila, que ocasionalmente apresentam grandes cristais de turmalina azul, verde ou preta;
- Núcleo de quartzo: apesar de não muito extensos, corpos maciços de quartzo de até 25cm de comprimento são encontrados no interior do pegmatito.

Na zona de substituição, nas proximidades de geodos, os cristais de feldspato chegam a tamanhos decimétricos (no aspecto *chocolate feldspar*), enquanto os de quartzo são centimétricos e leitosos. Os caldeirões frequentemente têm dimensões decimétricas e formato irregular, e são emoldurados por muscovitas que têm hábito em livro ou uma peculiar geminação asteriforme (Figura 21).

Nas imediações do pegmatito principal, ocorrem dois corpos intrusivos menores. Um, a noroeste, tem pouca espessura e é atravessado pelo túnel de acesso ao garimpo, porém não chega a aflorar na superfície. O ponto de amostragem 2 encontra-se em seu contato de base com o xisto encaixante. O outro pegmatito aflora a sudeste, segundo o mapa básico de circulação interna da mina, mas as escavações não chegam a atingi-lo em subsuperfície.

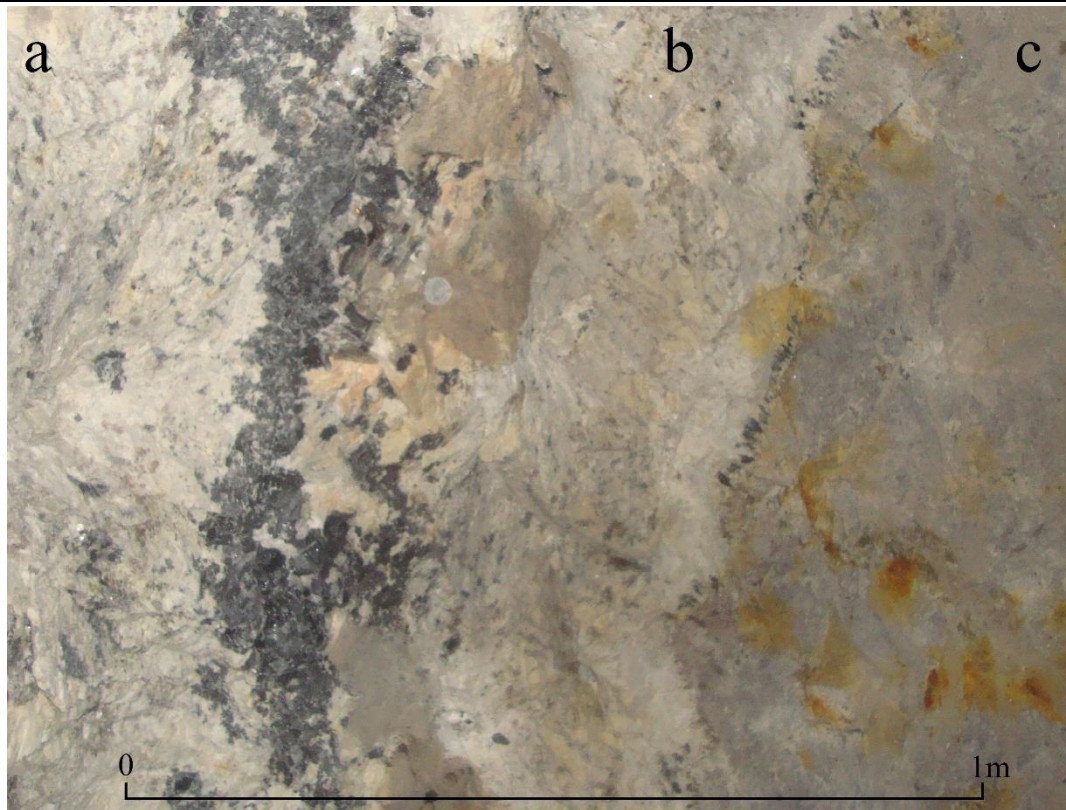


Figura 20. Zonamento interno e crescimento de cristais e aglomerados de turmalinas perpendiculares às bordas do pegmatito do garimpo de Antônio Ferreira/MG. a) Zona mural; b) Zona marginal; c) Xisto da Formação São Tomé.

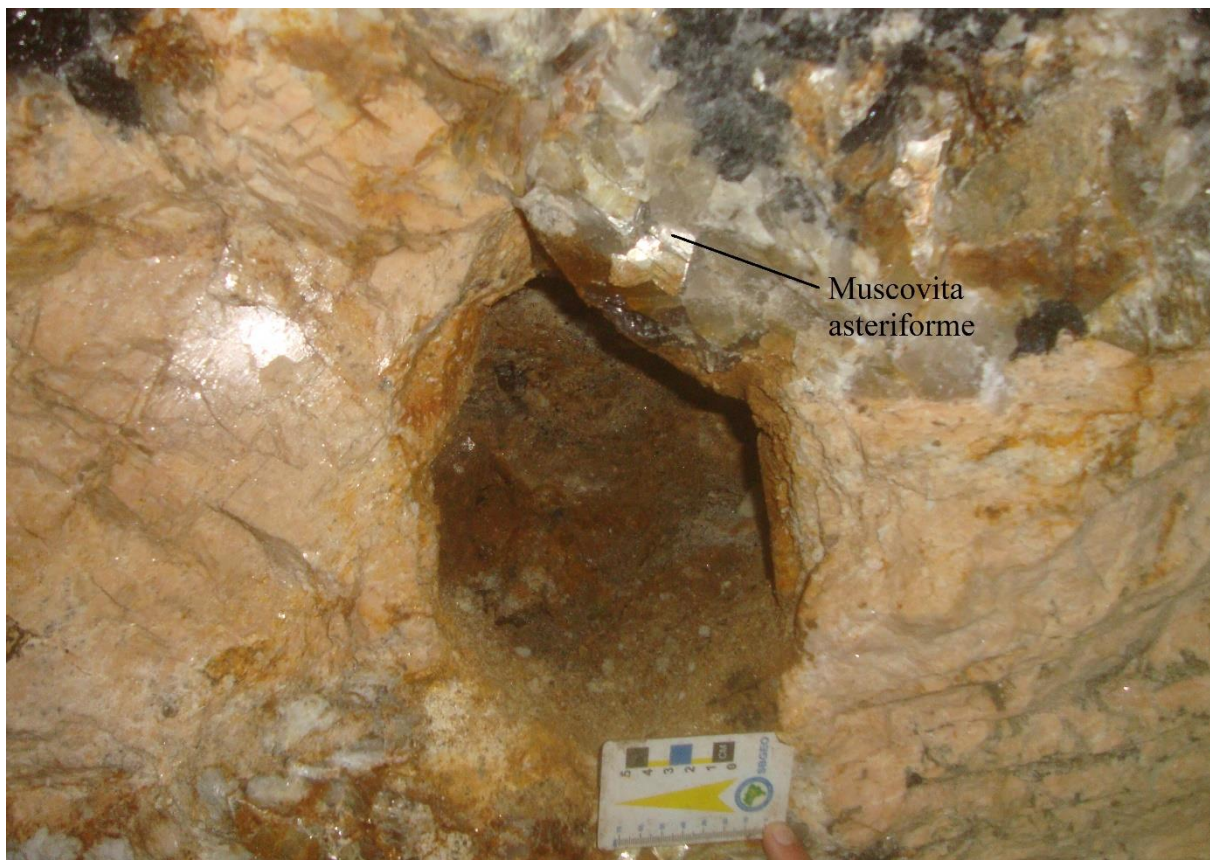


Figura 21. Geodo vazio encontrado no corpo pegmatítico, em meio a feldspatos decimétricos e muscovita asteriforme.

Existem certos empecilhos para a circulação pelas galerias com os equipamentos utilizados na proposta deste trabalho. Os túneis estão sujeitos a inundação quando da subida do nível freático, de modo que é necessário o bombeamento da água para fora do garimpo. Entretanto, algumas poças e trechos mais baixos ainda retêm uma lâmina d'água. Isso prejudica as leituras diretas com *laser* pela estação total. Assim, por vezes é preciso recorrer a um método secundário para complementar o levantamento topográfico, como o uso de um prisma auxiliar ou efetuar medidas com trena a partir de um ponto de referência.

O aparelho de GPR é suscetível à interferência do campo gerado pela rede elétrica e pelos próprios componentes eletrônicos necessários para sua operação, de modo que esse ruído precisa ser devidamente considerado e removido no momento do processamento dos dados.

Finalmente, é importante ressaltar que o garimpo é um sistema dinâmico. As escavações são contínuas e o aspecto dos túneis é alterado constantemente, e detonações inviabilizam a permanência na mina pelo restante do dia. Além da abertura e do fechamento de novas galerias, as operações no local também podem mudar a demanda por iluminação em diferentes setores do garimpo e, ainda, apagar ou destruir marcações de referência deixadas por investigações acadêmicas.

A seguir, apresentam-se os resultados dos diversos levantamentos e análises realizados neste trabalho. Nos diagramas de distribuição de elementos ao longo dos pontos de amostragem do garimpo, as amostras da pilha de rejeito são sempre os primeiros valores, enquanto as demais estão dispostas conforme sua posição relativa entre o topo (ponto 2) e a base (ponto 4) do pegmatito.

6.1. Topografia

Durante o levantamento topográfico, foram registradas com estação total as coordenadas de um total de 5432 pontos dos túneis do garimpo. Os perfis de GPR também foram devidamente localizados, medindo-se, a partir de referências como bifurcações, marcações de tinta e finais de galerias, a distância até o início e o término das linhas de perfil. A nuvem de pontos gerada foi a base utilizada para o modelamento da topografia subterrânea.

6.2. GPR

Nos radargramas gerados pelos perfis de GPR (Apêndice B), foi possível observar variações nos padrões de reflexão das ondas eletromagnéticas, correspondentes a anomalias estruturais pontuais e planares no interior do pegmatito, ou relativas ao contato entre a rocha e

o xisto encaixante (Tabela 5). Pelas hipérbolas detectadas, definiu-se a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no pegmatito como 110m/ns. Associando-se os perfis executados ao levantamento topográfico, foi possível localizar espacialmente as anomalias e adicioná-las ao modelo gerado em computador.

Tabela 5. Detecções do aparelho de GPR em cada perfil realizado.

Perfil	Extensão (m)	Detecção	Posição (m)	Profundidade Estimada (m)	Descrição
1	9,2	Contato	0 - 9,2	10,3 - 12,2	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		A 1.1	1,5	4,2	Hipérbole fechada, correspondente a variação acentuada de composição dentro da estrutura do pegmatito
		S 1.1	3,2 - 9,0	2,5	Superfície com forte sinal de reflexão
2	6,8	Contato	0 - 6,8	6,6 - 21,4	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		A 2.1	1,7	5,5	Hipérbole fechada, correspondente a variação acentuada de composição dentro da estrutura do pegmatito
		A 2.2	5,1	5,0	Hipérbole aberta, correspondente a variação discreta de composição dentro da estrutura do pegmatito
3	7,2	Contato	0 - 7,2	19,2 - 4,8	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		D 3.1	1,1 - 3,2	11,2 - 6,3	Descontinuidade nas linhas de reflexão
		S 3.1	0,3 - 7,2	4,3 - 5,0	Superfície irregular com sinal forte de reflexão, com projeções semelhantes a hipérbolas nas extremidades
4	6,4	Contato	0 - 6,4	13,6 - 4,9	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		A 4.1	0,3	4,7	Pequena hipérbole fechada, correspondente a variação acentuada de composição dentro da estrutura do pegmatito
		D 4.1	1,9 - 4,1	4,0 - 7,3	Descontinuidade nas linhas de reflexão
		S 4.1	2,0 - 6,4	3,5 - 3,0	Superfície irregular com sinal forte de reflexão
		S 4.2	0 - 4,4	7,0 - 5,5	Superfície curva com sinal forte de reflexão
5	6,4	Contato	0 - 6,4	12,3 - 13,9	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		A 5.1	1,4	6,0	Pequena hipérbole fechada, correspondente a variação acentuada de composição dentro da estrutura do pegmatito
		A 5.2	4,5	5,4	Hipérbole aberta, correspondente a variação discreta de composição dentro da estrutura do pegmatito
		D 5.1	0,1 - 3,6	10,8 - 4,0	Descontinuidade nas linhas de reflexão
		S 5.1	0,2 - 6,2	3,8 - 3,7	Superfície irregular com sinal discreto de reflexão
		S 5.2	1,8 - 6,4	8,5 - 9,4	Superfície irregular com sinal forte de reflexão
6	4,5	Contato	0 - 4,5	11,7 - 10,2	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante

Perfil	Extensão (m)	Deteccção	Posição (m)	Profundidade Estimada (m)	Descrição
6	4,5	D 6.1	0 - 3,7	11,0 - 4,9	Descontinuidade nas linhas de reflexão
		S 6.1	0,4 - 4,0	3,5 - 4,4	Superfície com forte sinal de reflexão
7	18,7	Contato	0 - 18,7	10,4 - 10,9	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		A 7.1	15,3	7,7	Hipérbole fechada, correspondente a variação acentuada de composição dentro da estrutura do pegmatito
		S 7.1	1,9 - 11,4	2,2 - 3	Superfície irregular com sinal forte de reflexão, com projeção semelhante a hipérbole a 5,4m
		S 7.2	0,3 - 7,0	5,0 - 6,2	Superfície com forte sinal de reflexão
		S 7.3	15,1 - 17,0	3,9 - 4,1	Superfície curta com forte sinal de reflexão
		S 7.4	16,5 - 18,3	5,7 - 6,2	Superfície curta com forte sinal de reflexão
8	10,6	Contato	0 - 10,6	8,1	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		A 8.1	3,4	3,2	Pequena hipérbole fechada, correspondente a variação acentuada de composição dentro da estrutura do pegmatito
		S 8.1	0,8 - 5,1	3,0	Superfície com forte sinal de reflexão
		S 8.2	7,1 - 9,8	4,3 - 4,9	Superfície irregular com sinal discreto de reflexão
		S 8.3	1,8 - 6,3	8,0 - 7,8	Superfície curva com sinal forte de reflexão
		S 8.4	6,5 - 9,6	8,2 - 9,8	Superfície com forte sinal de reflexão abaixo do contato
9	10,9	Contato	0-10,9	5,1 - 5,0	Fronteira entre pegmatito e xisto encaixante
		S 9.1	0,5 - 5,0	1,5 - 1,9	Superfície com forte sinal de reflexão
		S 9.2	2,8 - 3,7	2,9 - 3,1	Superfície curta com forte sinal de reflexão
		S 9.3	6,8 - 9,4	1,8 - 2,3	Superfície curva com sinal forte de reflexão
		S 9.4	9,4 - 10,9	2,1 - 2,4	Superfície curva com sinal forte de reflexão
		S 9.5	1,0 - 3,8	3,8 - 4,1	Superfície irregular com sinal forte de reflexão
		S 9.6	4,2 - 8,2	3,9 - 5,0	Superfície com forte sinal de reflexão

6.3. Investigações Mineraloquímicas

6.3.1. Feldspato

Os feldspatos do pegmatito têm cor branca ou bege, por vezes apresentando tonalidade rósea. Eventualmente, observam-se lamelas de exsolução das fases mais sódicas e potássicas. O hábito geralmente é tabular, com forma anédrica a subédrica e clivagem pouco marcada. Nos

túneis mais próximos à superfície, mais suscetíveis a processos de alteração, a cor dos minerais torna-se mais amarelada e observa-se caolinização.

No diagrama ternário de classificação de feldspatos, a composição dos minerais amostrados se distribui ao longo da série definida por sódio e potássio (Figura 22). Verifica-se que somente amostras do ponto adjacente ao caldeirão que continha turmalinas azuis (ponto 6) ficam posicionadas acima de 80% em potássio.

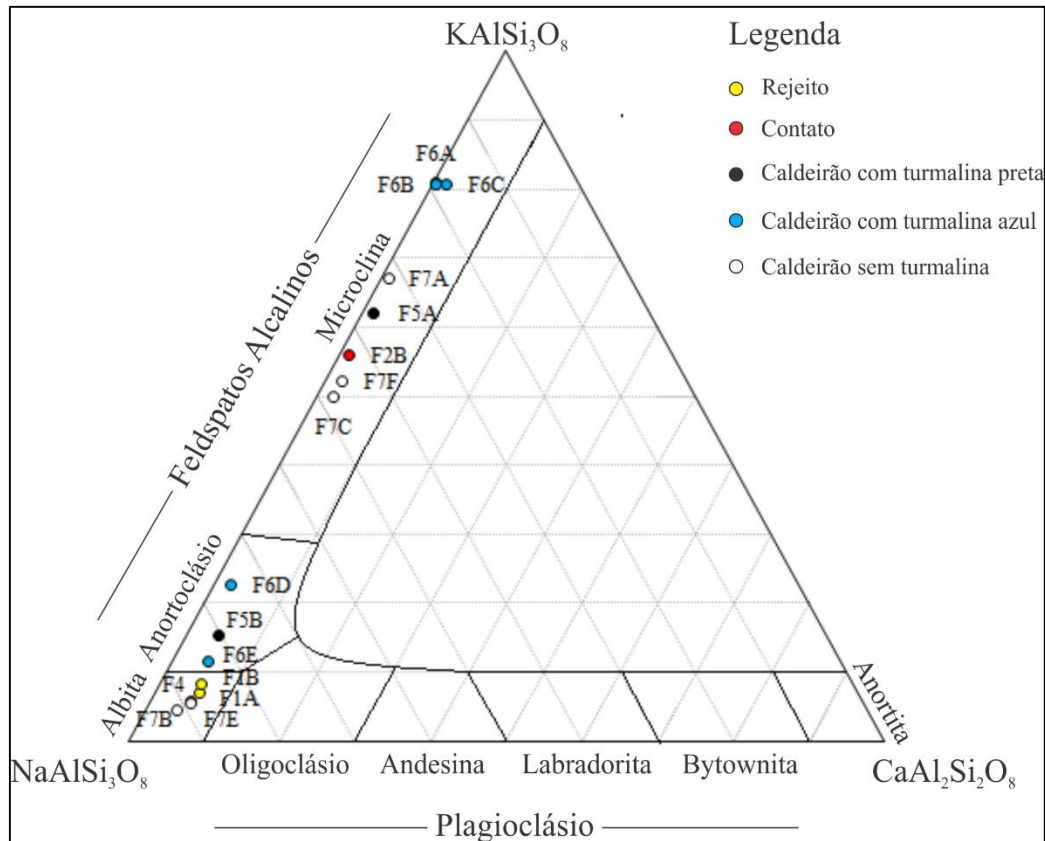


Figura 22. Classificação dos feldspatos do pegmatito de Antônio Ferreira no sistema Microclina-Albita-Anortita.

A Figura 23 mostra o gráfico do teor de potássio *versus* o teor de rubídio dos feldspatos potássicos amostrados. A razão K/Rb observada nas amostras é baixa, de acordo com as definições de Ahrens et al. (1952) e Taylor et al. (1956). Os valores indicam, ainda, que o pegmatito estudado é pouco diferenciado.

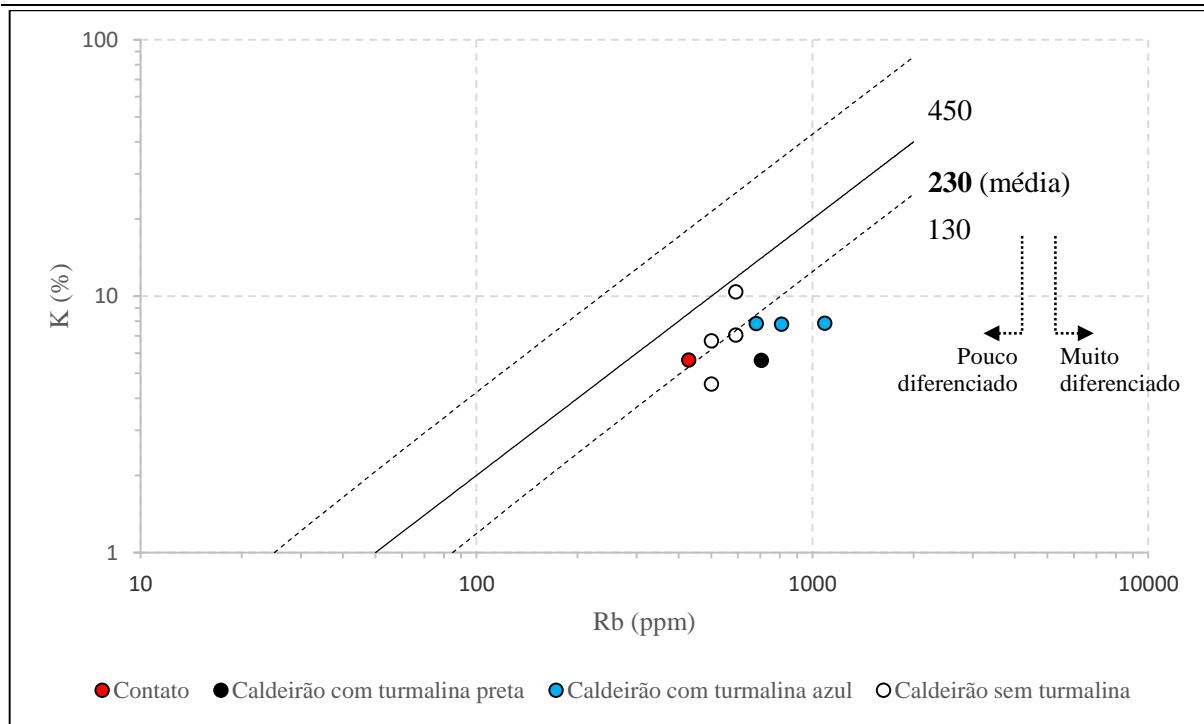


Figura 23. Gráfico de teor de K versus teor de Rb para os feldspatos potássicos do pegmatito de Antônio Ferreira. As linhas representam o valor médio (230, linha cheia) e os limites comumente observados (450 e 130, linhas tracejadas) para a razão K/Rb em diversos tipos de rocha, definidos por Ahrens et al. (1952) e Taylor et al. (1956).

Com relação aos pontos de amostragem, os elementos maiores e a maioria dos traços estão distribuídos de forma homogênea e aleatória nos feldspatos. Minerais de um mesmo ponto podem apresentar teores de um componente muito diferentes entre si, e semelhantes aos de outra localidade da mina, como atestado, por exemplo, pelo rubídio (Figura 24). Entretanto, urânio, disprósio, háfnio, nióbio e praseodímio destoam dessa tendência, todos no ponto adjacente ao caldeirão sem turmalina (ponto 7). Nesse local, a quantidade de urânio é pouco ou muito superior à média do restante do garimpo (Figura 25), enquanto o teor dos demais elementos cai para níveis abaixo do limite de detecção do equipamento de ICP-MS, à exceção da amostra 7A, mais distante do contato (Figura 26 e 27).

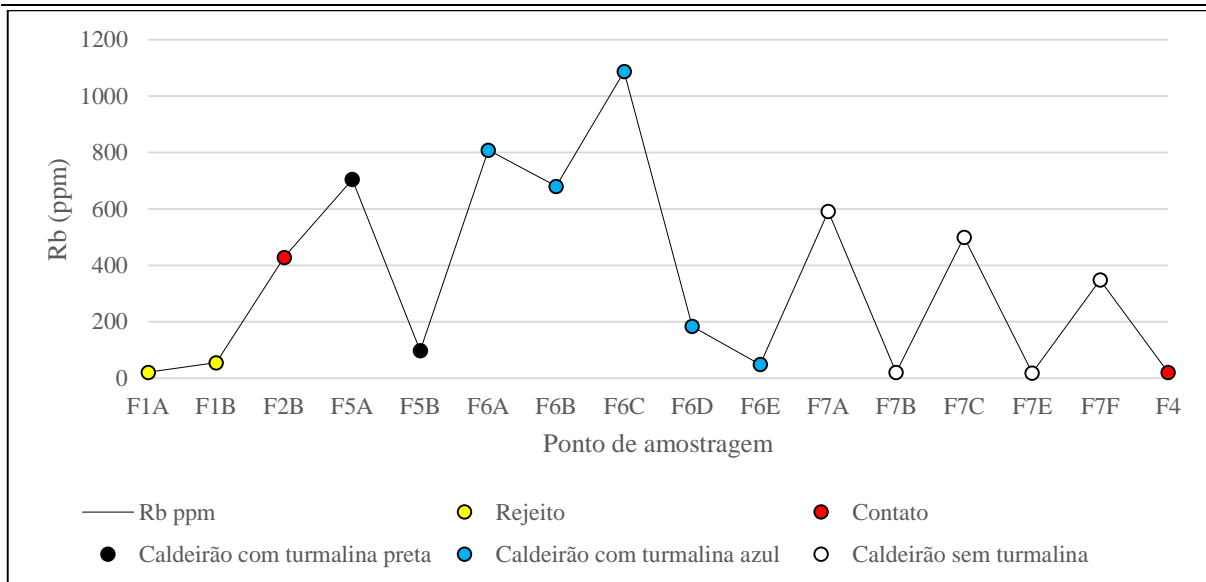


Figura 24. Teores de rubídio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. A distribuição desse elemento é aleatória ao longo da extensão do garimpo.

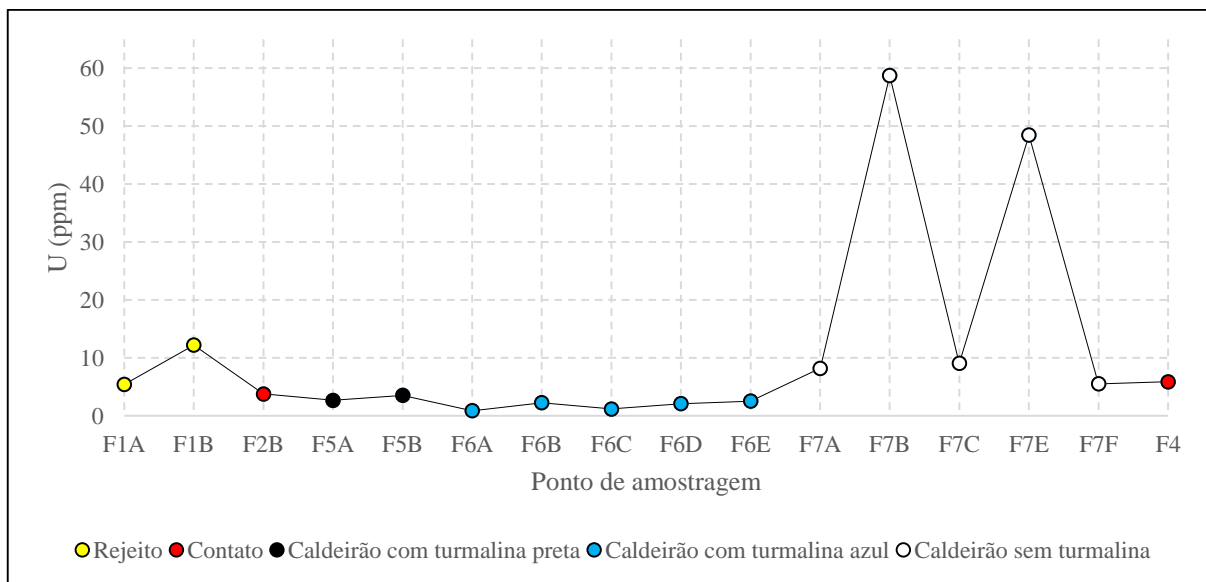


Figura 25. Teores de urânio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. O ponto adjacente ao caldeirão sem turmalina (ponto 7) mostra valores acima da média geral.

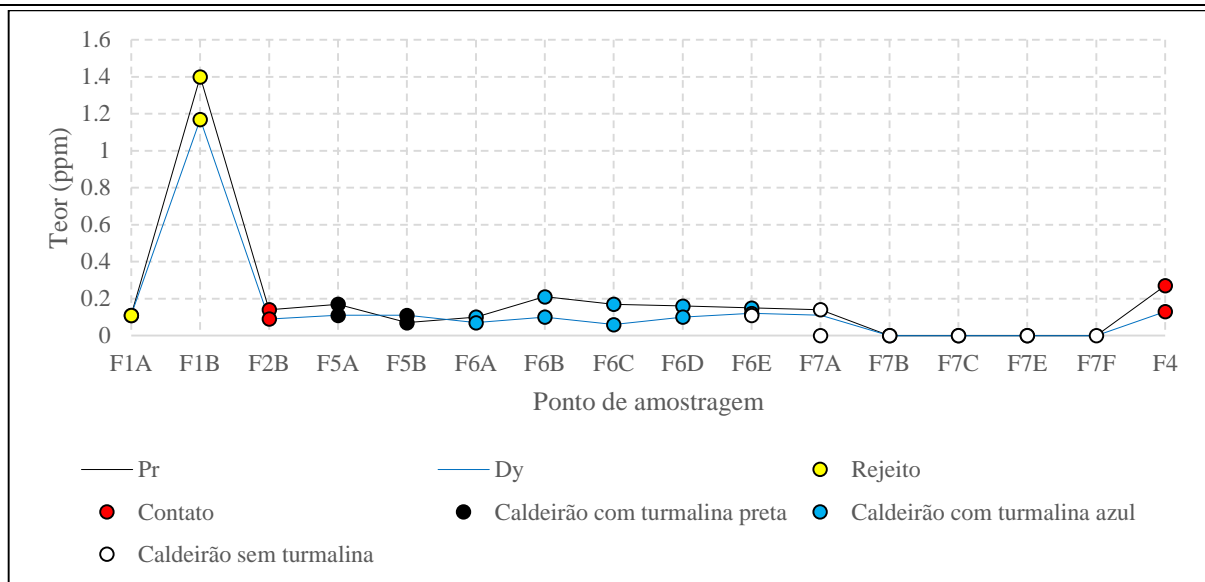


Figura 26. Teores de disprósio e praseodímio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. No ponto adjacente ao caldeirão sem turmalina (ponto 7), uma amostra tem quantidade apreciável desses elementos, entretanto, o conteúdo das demais é inferior ao limite de detecção.

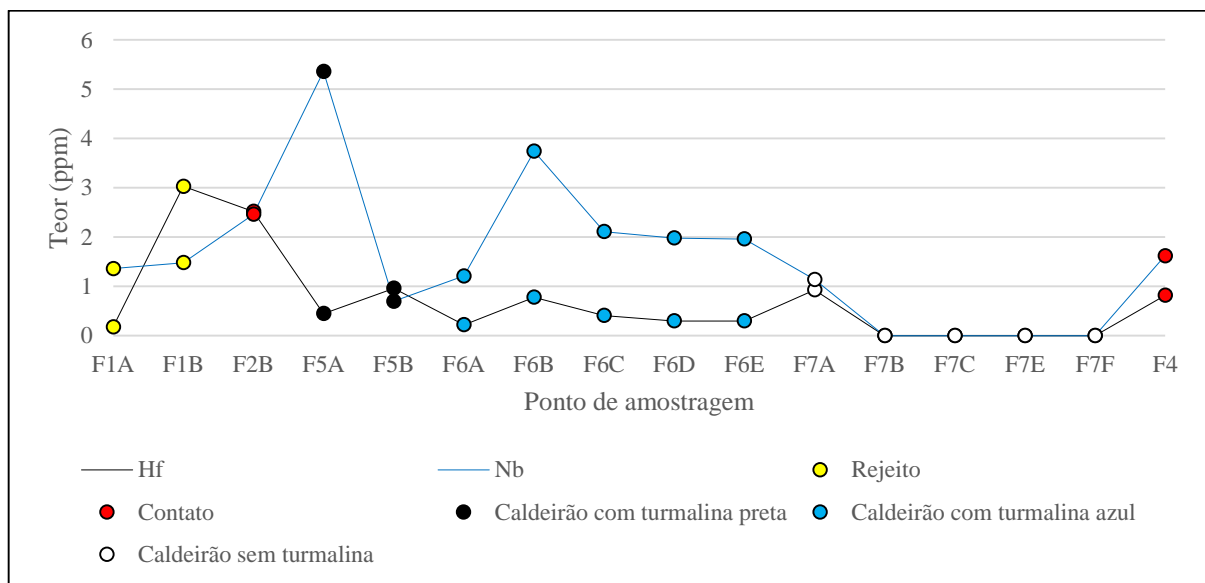


Figura 27. Teores de háfnio e nióbio nos feldspatos de cada ponto de amostragem. No ponto adjacente ao caldeirão sem turmalina (ponto 7), uma amostra tem quantidade apreciável desses elementos, entretanto, o conteúdo das demais é inferior ao limite de detecção.

6.3.2. Granada

As granadas encontradas no pegmatito estudado têm coloração vermelha ou castanha, hábito granular e brilho vítreo. Ainda, são paramagnéticas, sendo levemente atraídas por ímãs.

Na composição química das amostras coletadas, a ocupação do sítio bivalente na estrutura mineral é largamente dominada pela substituição entre o ferro e o manganês. O cálcio e o

magnésio também podem ocupar esse espaço, porém, nas granadas analisadas, esses elementos não chegam a atingir teores de 1% em massa. Desse modo, a fórmula estrutural determinada é $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, e é uma faixa intermediária entre a almandina $(\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3)$ e a espessartina $(\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3)$, com intervalos Alm_{58-76%} e Spss_{21-40%}.

O teor em ferro, magnésio, cálcio e manganês de uma granada permite, também, que se façam considerações sobre as condições genéticas do mineral. O gráfico de CaO+MnO (%) versus FeO+MgO(%) indica o grau de diferenciação de um fluido pegmatítico no qual há formação de granada (Heimann, 2014), enquanto a faixa de temperatura e pressão na qual se originou o mineral pode ser identificada no diagrama ternário com vértices em Mn, Mg e Ca (Teraoka et al., 1997). De acordo com essas classificações, as granadas do pegmatito de Antônio Ferreira cristalizaram a partir de um fluido pouco diferenciado (Figura 28) – assim como atestado pelas razões K/Rb nos feldspatos potássicos mencionadas no item anterior – e sob condições de temperatura e pressão baixas (Figura 29).

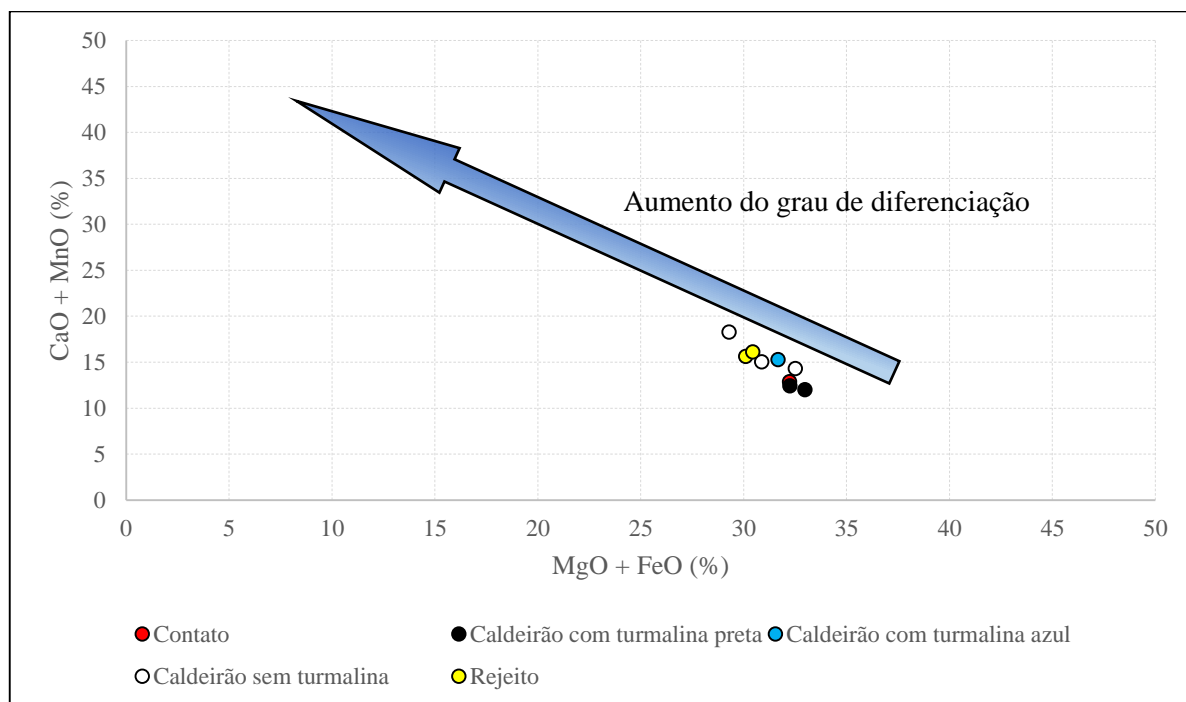


Figura 28. Diagrama CaO+MnO (%) versus MgO+FeO (%) para as granadas do pegmatito de Antônio Ferreira. A seta azul indica a tendência de distribuição para granadas de diversos pegmatitos e o aumento do grau de diferenciação, conforme as definições de Heimann (2014).

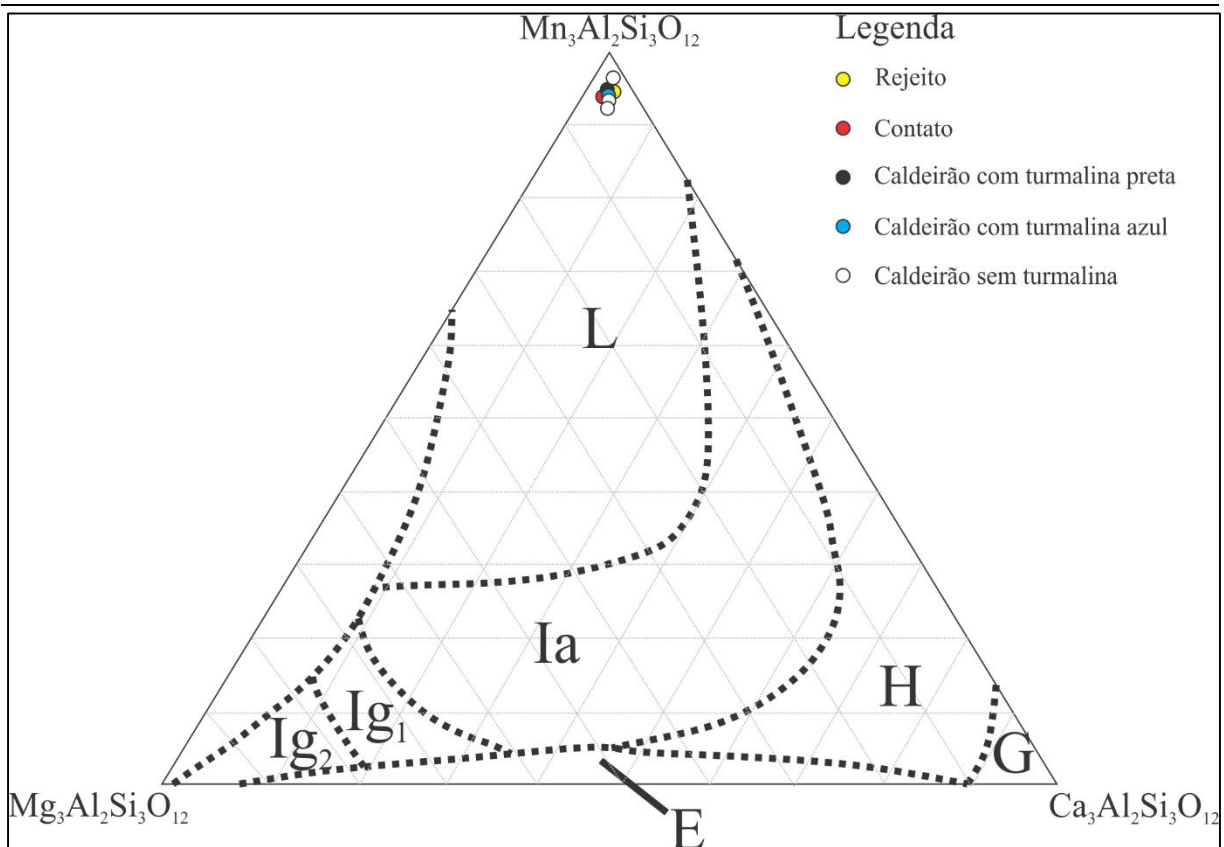


Figura 29. Diagrama ternário de classificação por proporções em Mn, Mg e Ca para as granadas do pegmatito de Antônio Ferreira. Os campos foram separados por Teraoka et al. (1997), com as condições de pressão e temperatura quando da formação desses minerais: L – P e T baixas; Ia – P e T intermediárias (até fácies anfibolito); H – P e T altas; Ig₁ e Ig₂ – P e T intermediárias (fácies granulito); E – Eclogito; G – Granada grandita.

As análises por microsonda mostram que é comum encontrar tanto distribuições aleatórias quanto padrões de incremento ou depleção de elementos das bordas para o centro em granadas do garimpo estudado, independentemente do ponto de amostragem. Um zonamento característico observado em diversos pontos é marcado por diminuição das quantidades de silício e alumínio das margens para o interior dos grãos, sendo que, no ponto adjacente ao geodo do qual foram retiradas turmalinas azuis de valor gemológico (ponto 6), todas as amostras analisadas mostram esse padrão (Figura 30). Por não ser uma característica exclusiva desse local, essa distribuição não pode ser utilizada como referência nas buscas por gemas.

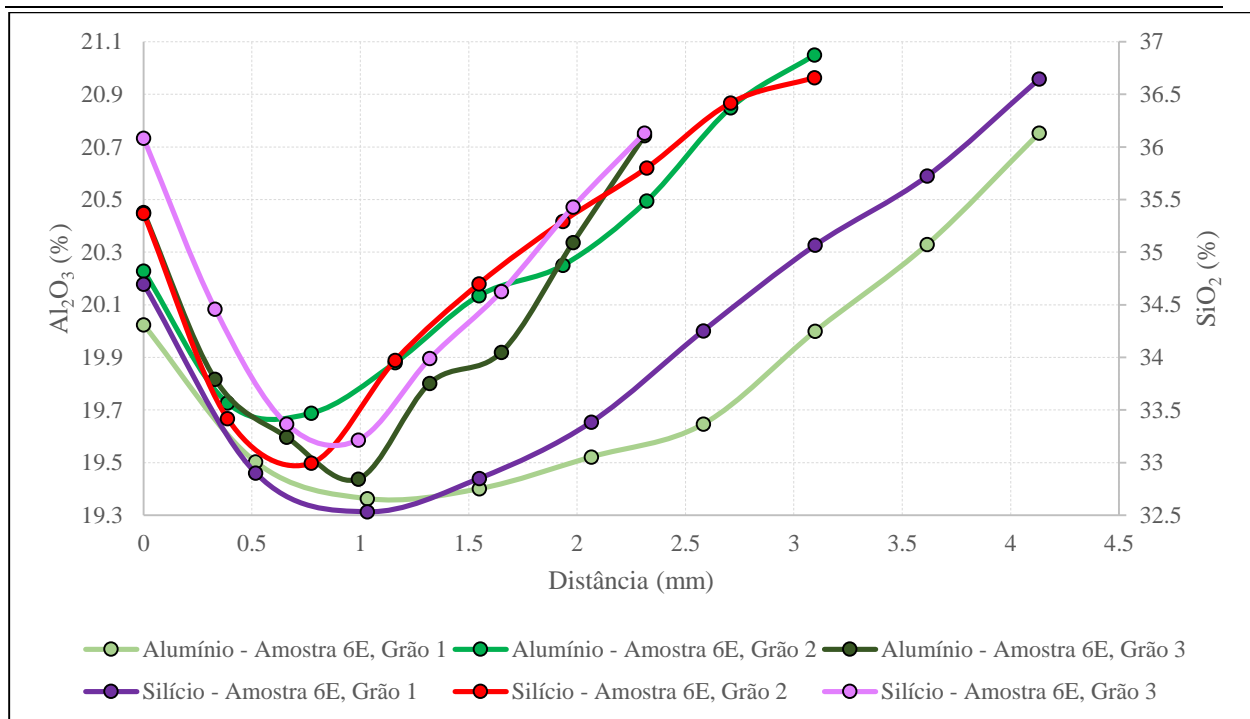


Figura 30. Variação intragranular nas concentrações de alumínio e silício em amostras de granada do ponto do garimpo adjacente ao caldeirão que continha turmalina azul de valor gemológico (ponto 6). Observa-se, em todas as curvas, zonamento marcado pelo aumento na quantidade dos elementos do centro para as bordas dos grãos.

6.3.3. Turmalina

As turmalinas formadas no interior do pegmatito têm hábito prismático ou granular e são, normalmente, opacas. A coloração pode variar entre preto, cinza, marrom, azul e verde. Assim como as granadas, um discreto magnetismo também é característico nesses minerais.

Na complexa fórmula das turmalinas, $XY_3Z_6B_3Si_6(O, OH)_{30}(OF, F)$ (Deer et al., 1992), são comuns substituições de vários elementos ou mesmo vacâncias em cada espaço da estrutura, o que leva à grande diversidade de espécies desses minerais encontradas na natureza. Em pegmatitos, essas diferenças composicionais também refletem fatores como o grau de diferenciação do fluido no qual ocorreu a cristalização das turmalinas.

Nas amostras do pegmatito estudado, os aspectos mais importantes para a classificação estão nos sítios X e Y da estrutura mineral. No primeiro, predomina a ocupação por sódio, mas também há uma significativa parcela de vacâncias. No segundo, destacam-se ferro, alumínio e magnésio. Os diagramas a seguir foram elaborados com base nesses parâmetros, e mostram que as turmalinas do local são das variedades foitita e schorlita (Figura 31 e 32), e pertencem aos subtipos alcalino e de vacância (Figura 33). Também se observa um afastamento da amostra do contato da base do pegmatito em relação às demais.

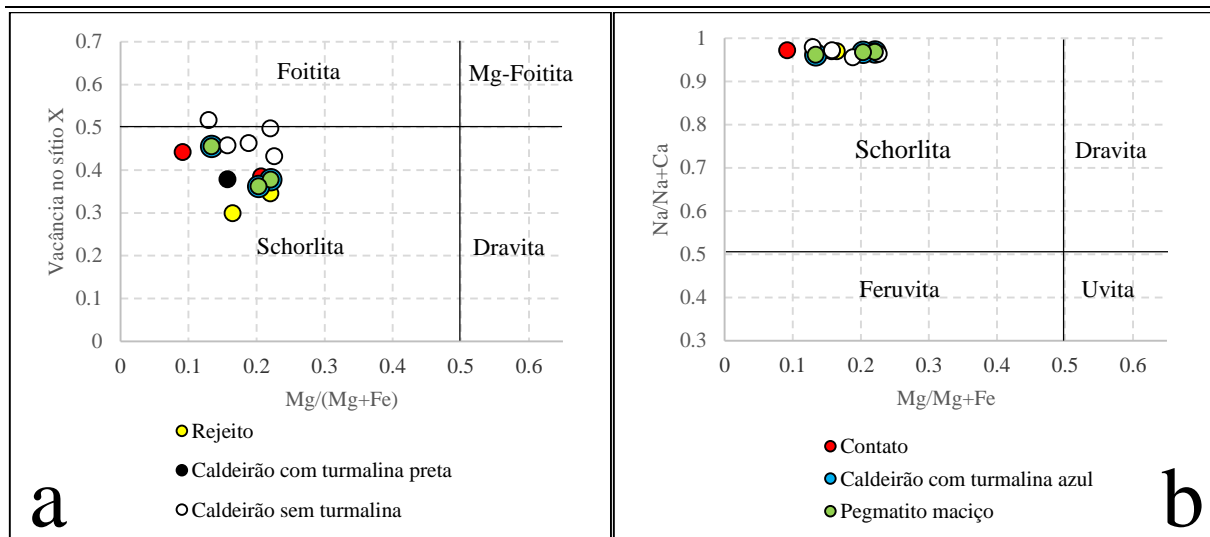


Figura 31. Classificação das turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira baseada na proporção de (a) vacância ou (b) ocupação do sítio X da estrutura mineral por sódio e cálcio.

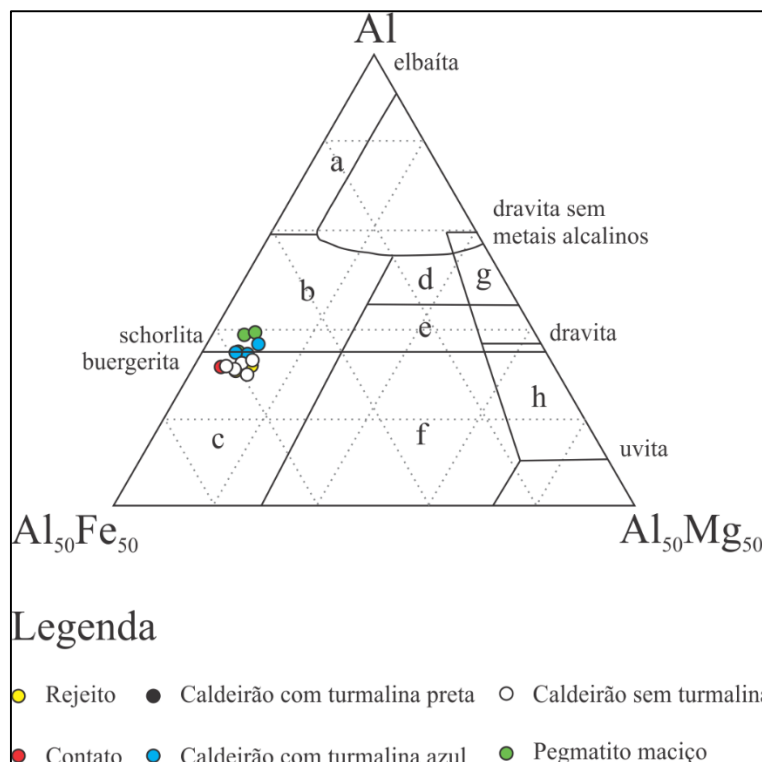


Figura 32. Classificação por proporções de Al, Fe e Mg na fórmula estrutural para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. Os campos indicam os tipos de rochas aos quais os minerais se associam conforme sua composição química: a – Pegmatitos graníticos ricos em Li; b – Granitóides pobres em Li e pegmatitos e aplitos associados; c – Rochas quartzo-turmalínicas ricas em Fe³⁺ (granitos alterados por hidrotermalismo); d – Metapelitos e metapsamitos coexistentes com fase saturada em Al; e – Metapelitos e metapsamitos não-coexistentes com fase saturada em Al; f – Rochas quartzo-turmalínicas ricas em Fe³⁺, cálcio-silicáticas e metapelitos; g – Rochas metaultramáficas com pouco Ca e metassedimentos ricos em Cr e V; h – Metacarbonatos e metapiroxenitos (Henry e Guidotti, 1985).

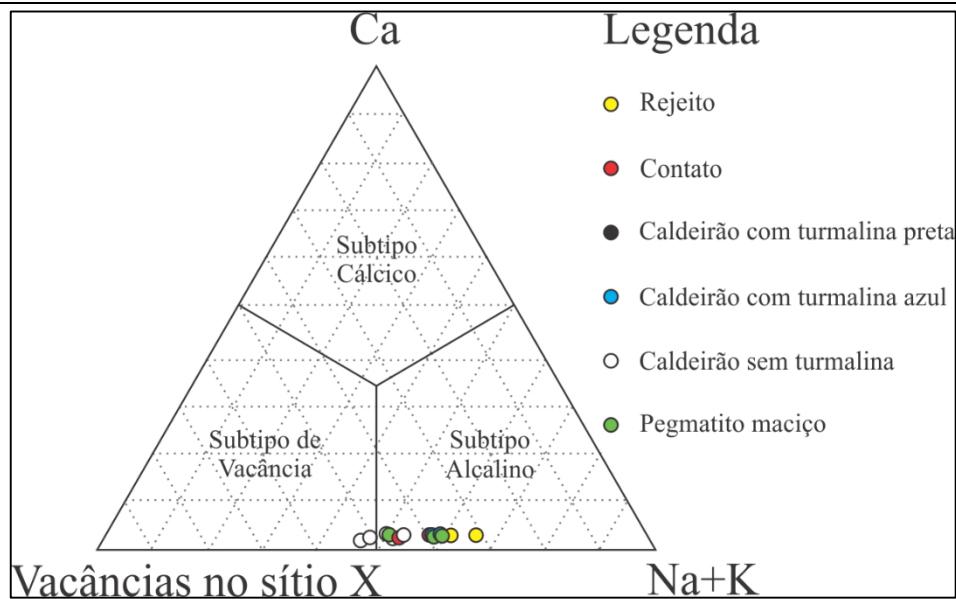


Figura 33. Classificação por proporções de Ca, Vacâncias e Na+K no sítio X da estrutura mineral para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. Os campos foram definidos por Hawthorne e Henry (1999).

No que tange à diferenciação do pegmatito, os dados composicionais das turmalinas do garimpo, a exemplo dos de feldspatos e granadas, também indicam um baixo grau. As relações entre os teores de ferro e magnésio representadas na Figura 34 posicionam a rocha, ainda que não esteja alojada no interior da fonte granítica à qual está associada, no campo endogranítico, conforme as definições de Pirajno e Smithies (1992), o que sugere, ao menos, grande proximidade entre as duas unidades. De maneira complementar, segundo os critérios de Selway et al. (1999) e Tindle et al. (2002), as proporções de ocupação – e vacância – dos sítios X e Y da estrutura mineral da turmalina posicionam as amostras em um campo pouco diferenciado e indicam que o processo de cristalização foi afetado de forma significativa pela interação do fluido com a rocha encaixante (Figura 35).

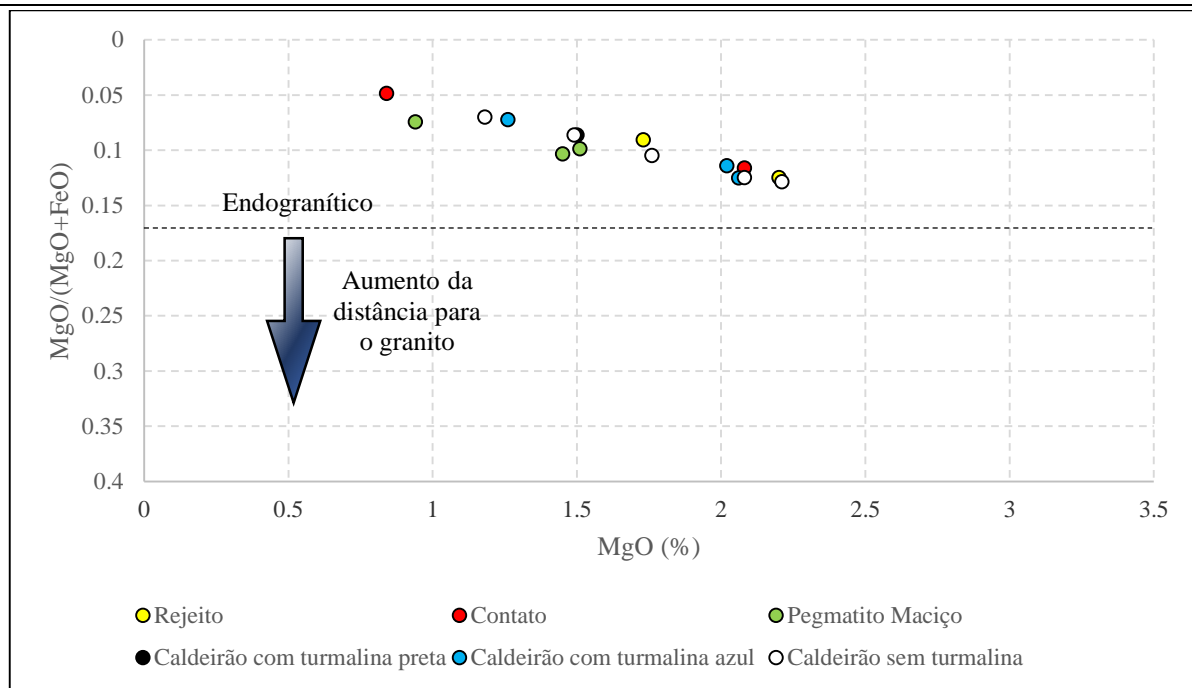


Figura 34. Relações dos teores de MgO e FeO para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. A seta azul indica o sentido do crescimento da distância de um pegmatito até o granito ao qual se associa (Pirajno e Smithies, 1992).

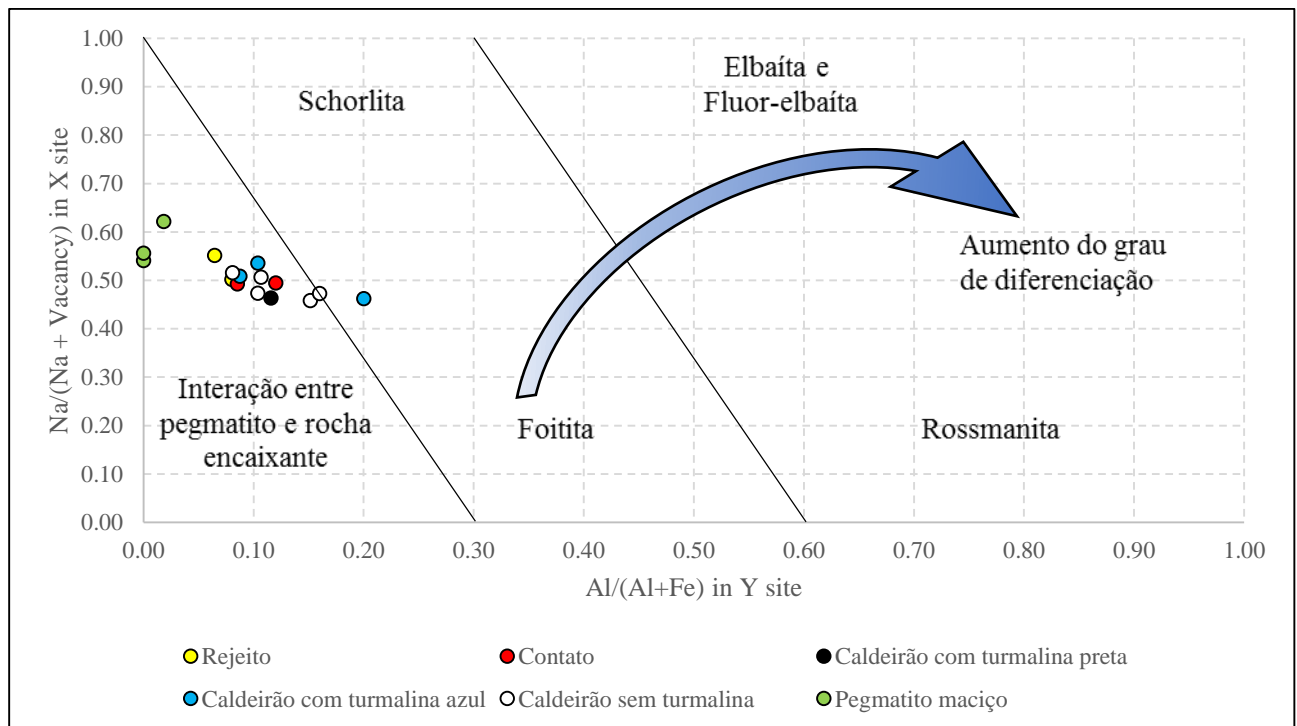


Figura 35. Relações entre as proporções de vacância ou ocupação por Na no sítio X e ocupação por Al ou Fe no sítio Y da estrutura mineral conforme Selway et al. (1999) e Tindle et al. (2002) para as turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira. A seta azul indica o trajeto da diferenciação de um pegmatito. A região com pouco alumínio é marcada por forte interação entre o pegmatito e a rocha encaixante.

Comparando-se os pontos de amostragem, observam-se algumas tendências na distribuição de elementos nas turmalinas conforme sua região de proveniência no garimpo. Na porção

Modelamento e prospecção de pegmatito com aplicação de Radar de Penetração no Solo (GPR) e geoquímica no distrito de Antônio Ferreira – Franciscópolis/MG

central do pegmatito (pontos 3, 8 e 9), os minerais contêm os mais baixos teores em alumínio (Figura 36). O ferro e o manganês têm distribuições relativamente constantes. Porém, observa-se um enriquecimento desses elementos nas zonas de borda e, ainda, uma diminuição nas adjacências do caldeirão portador de gemas. Ainda, os teores de manganês são levemente mais elevados a partir do centro do pegmatito para a base do que no sentido oposto (Figura 37 e 38).

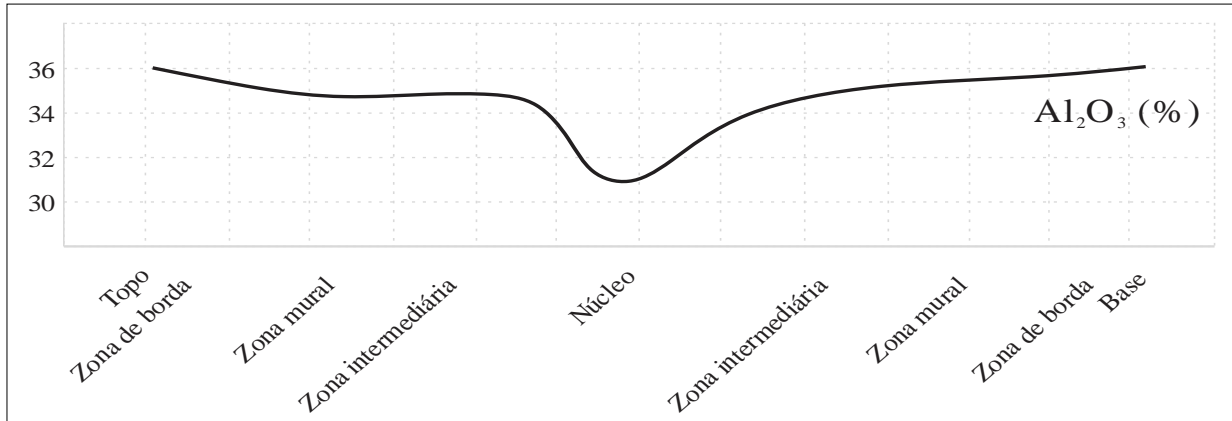


Figura 36. Distribuição dos teores de alumínio nas turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira.

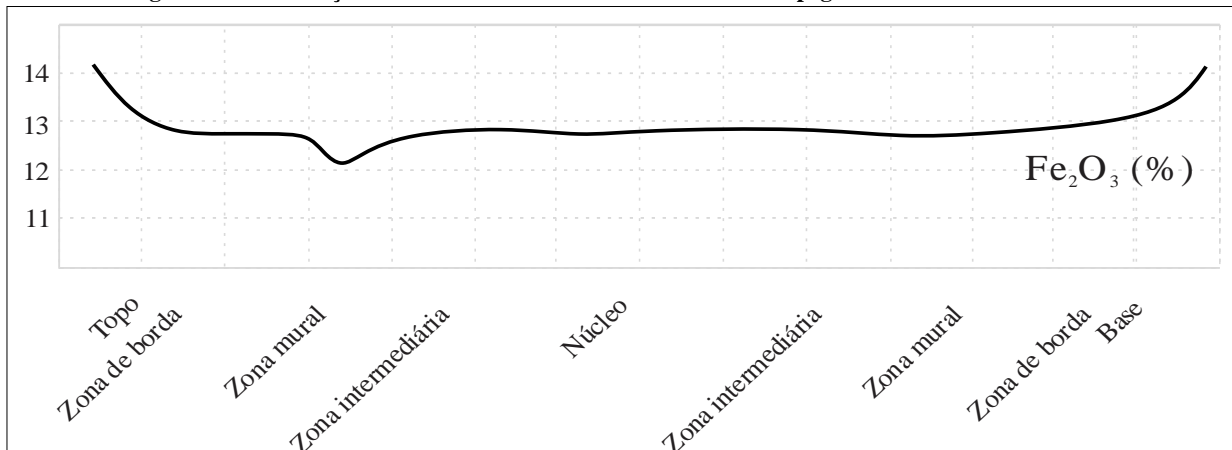


Figura 37. Distribuição dos teores de ferro nas turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira.

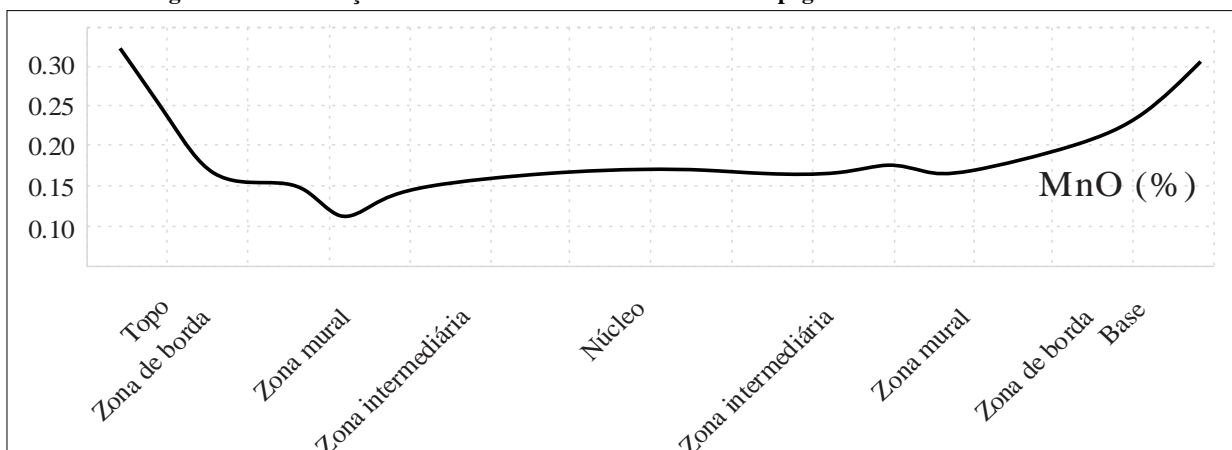


Figura 38. Distribuição dos teores de manganês nas turmalinas do pegmatito de Antônio Ferreira.

6.4. Estatística Multivariada

Aplicando-se a PCA, observa-se, para as componentes principais calculadas, que a maior parte dos pontos de amostragem na mina forma, um grupo relativamente homogêneo, cuja constituição foi influenciada, presumivelmente, pelos mesmos fatores em intensidades similares. De fato, para as granadas, não há distinções estatísticas significativas entre as amostras de nenhum local. Porém, observam-se, dentro dos conjuntos de turmalina e feldspato, projeções de grupos estatísticos separados em relação ao restante da população. Isso pode apontar, portanto, que, nos locais de coleta correspondentes às amostras anômalas, determinados condicionantes da cristalização do pegmatito exerceram um papel mais expressivo na química mineral gerada.

Na análise aplicada à constituição química geral das turmalinas, as amostras dos pontos 3, 8 e 9, trechos de pegmatito maciço, destacam-se das demais, sendo que as duas primeiras são as mais afastadas. Essa tendência reflete uma composição de ordens subjacentes dominada principalmente pelos elementos traços, com contribuição em menor escala dos terras-raras, enquanto os elementos maiores mostram uma distribuição aleatória (Figura 39).

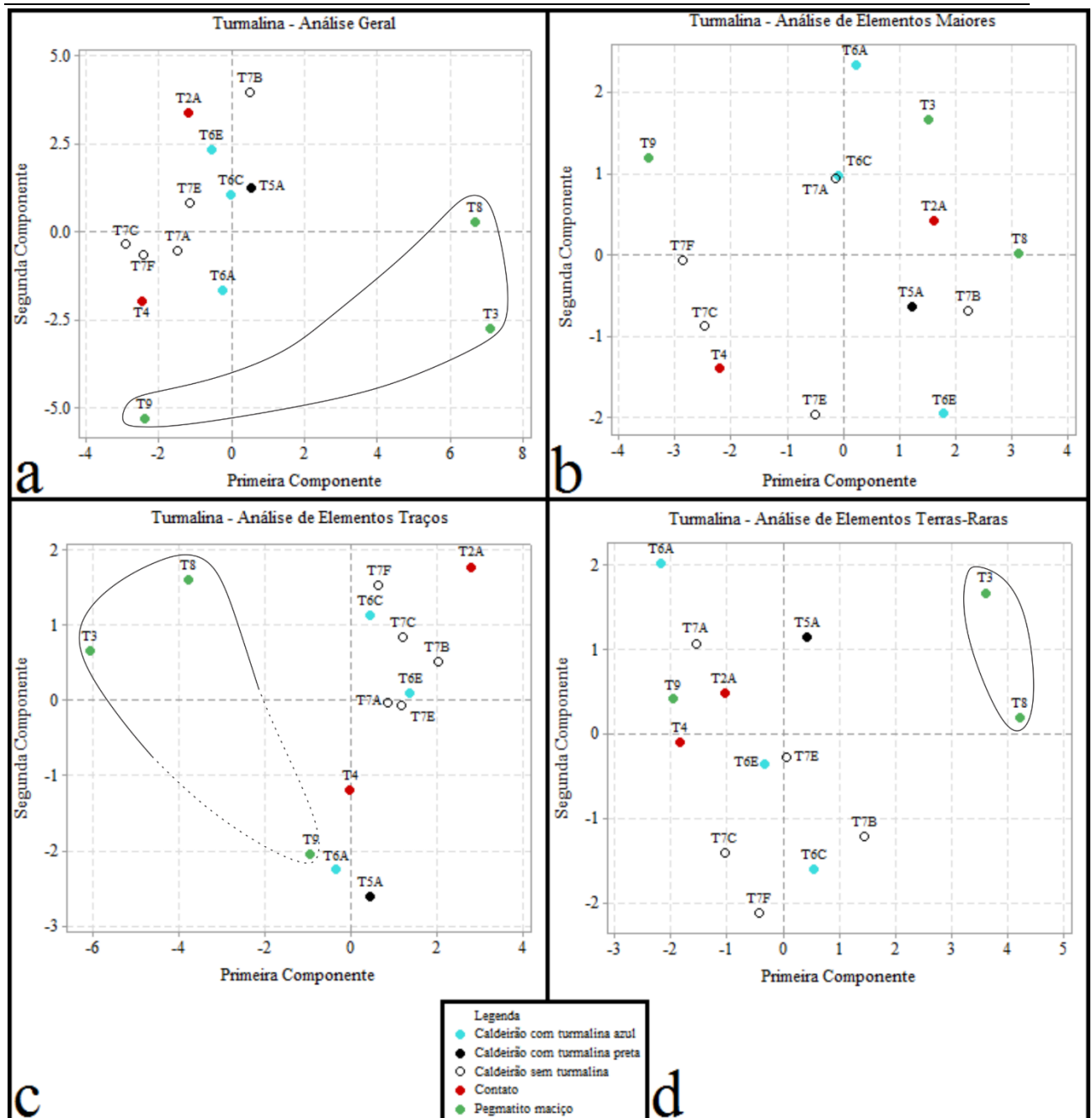


Figura 39. Diagramas de scores nas duas primeiras componentes principais para as amostras de turmalina de todos os pontos de coleta no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.

Um caso semelhante é verificado, isolando-se os pontos adjacentes a caldeirões (pontos 5, 6 e 7), para as amostras coletadas no *pocket* de onde foram retiradas turmalinas pretas sem valor gemológico (ponto 5). Os minerais deste local ficam afastados dos demais na análise geral, como resultado da distribuição para elementos traços e terras-raras, enquanto, para elementos maiores, não se observa diferença estatística entre os pontos. (Figura 40).

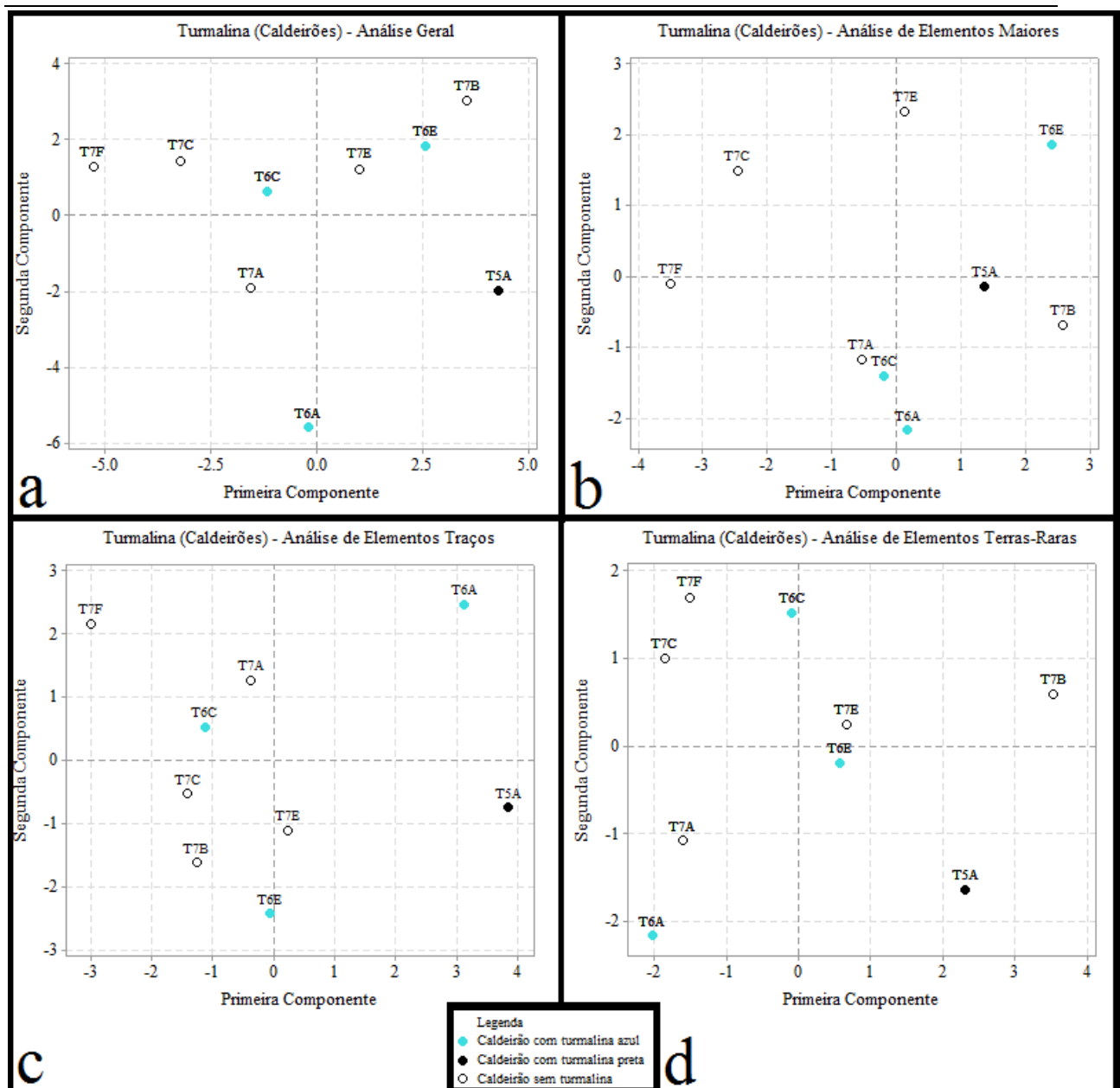


Figura 40. Diagramas de *scores* nas duas primeiras componentes principais para as amostras de turmalina dos pontos adjacentes a caldeirões no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.

No caso dos feldspatos, os minerais do ponto próximo ao caldeirão sem turmalinas (ponto 7), à exceção da amostra mais distante do contato (7A), se distinguem como um conjunto disperso, à parte dos demais. Esse padrão persiste em todos os grupos de elementos analisados (Figura 41). Analisando-se separadamente os caldeirões (pontos 5, 6 e 7), o mesmo tipo de agrupamento é observado.

A mais importante feição de destaque, entretanto, é a dos feldspatos do ponto adjacente ao caldeirão de onde foram obtidas as turmalinas gemológicas. As amostras se posicionam em dois pólos de distribuição estatística, ambos com *scores* negativos na primeira componente principal

e valores positivos ou negativos de módulo elevado na segunda. Esse quadro se mantém mesmo quando os *pockets* são investigados separadamente Figura 42.

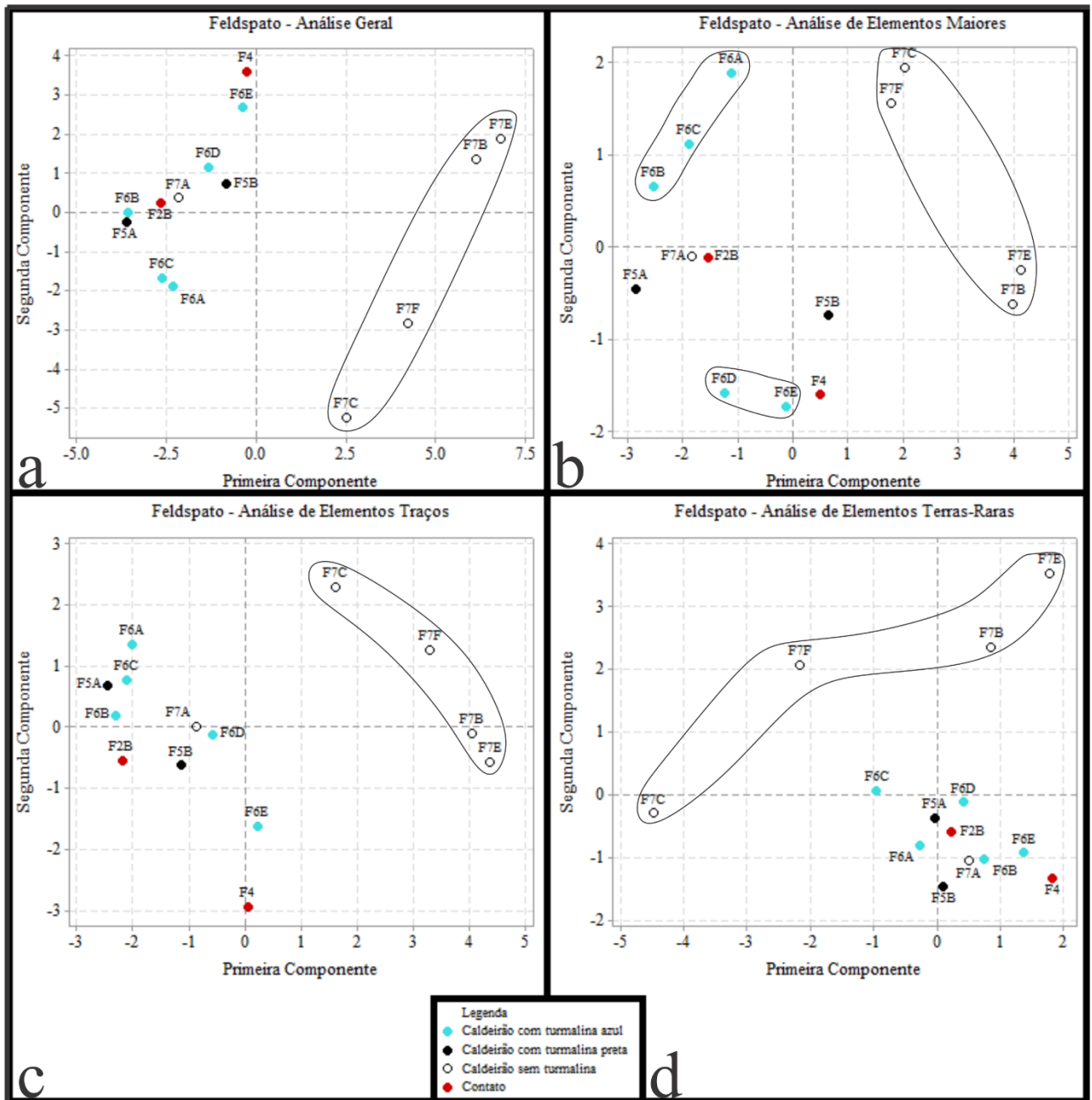


Figura 41. Diagramas de scores nas duas primeiras componentes principais para as amostras de feldspato de todos os pontos de coleta no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.

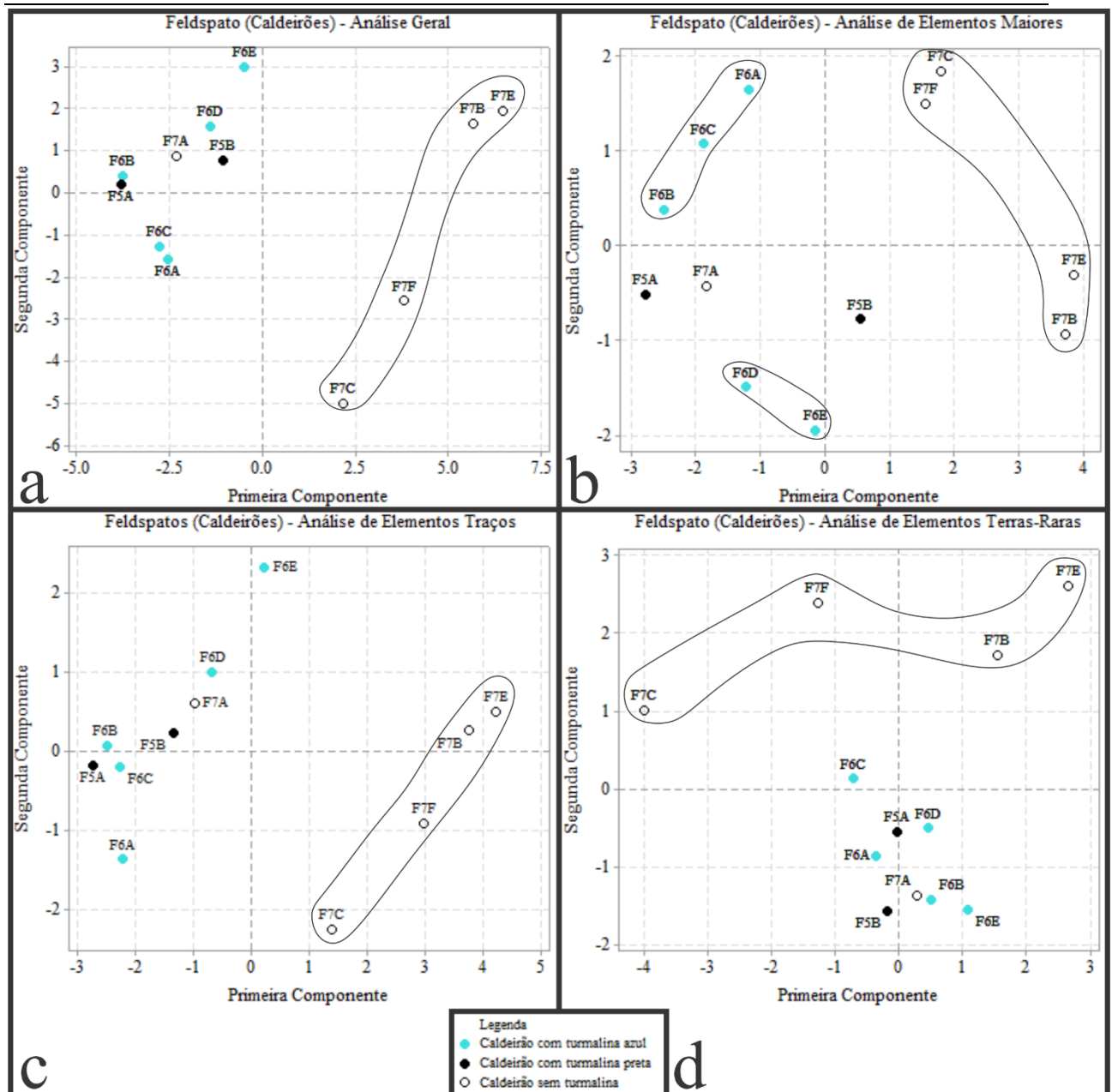


Figura 42. Diagramas de scores nas duas primeiras componentes principais para as amostras de feldspato dos pontos adjacentes a caldeirões no garimpo de pegmatito de Antônio Ferreira.

6.5. Modelamento Geológico

A superfície do terreno foi o primeiro elemento gerado no modelo. A partir do mapa geológico simplificado (Figura 43), foram inseridos o relevo local e os contatos geológicos entre o xisto e os corpos pegmatíticos. Em seguida, adicionou-se a topografia subterrânea a partir nuvem de pontos subterrâneos levantada com estação total, na qual constam ainda os pontos de início e término dos perfis de GPR, os pontos de amostragem. A partir das interpretações dos radogramas, foram acrescentadas as anomalias estruturais identificadas no

pegmatito e os contatos da rocha com o xisto encaixante (Figura 44). Dessa maneira, o modelamento foi concluído com a representação da forma do corpo pegmatítico (Figura 45) e a criação de bloco diagrama da geologia local (Figura 46).

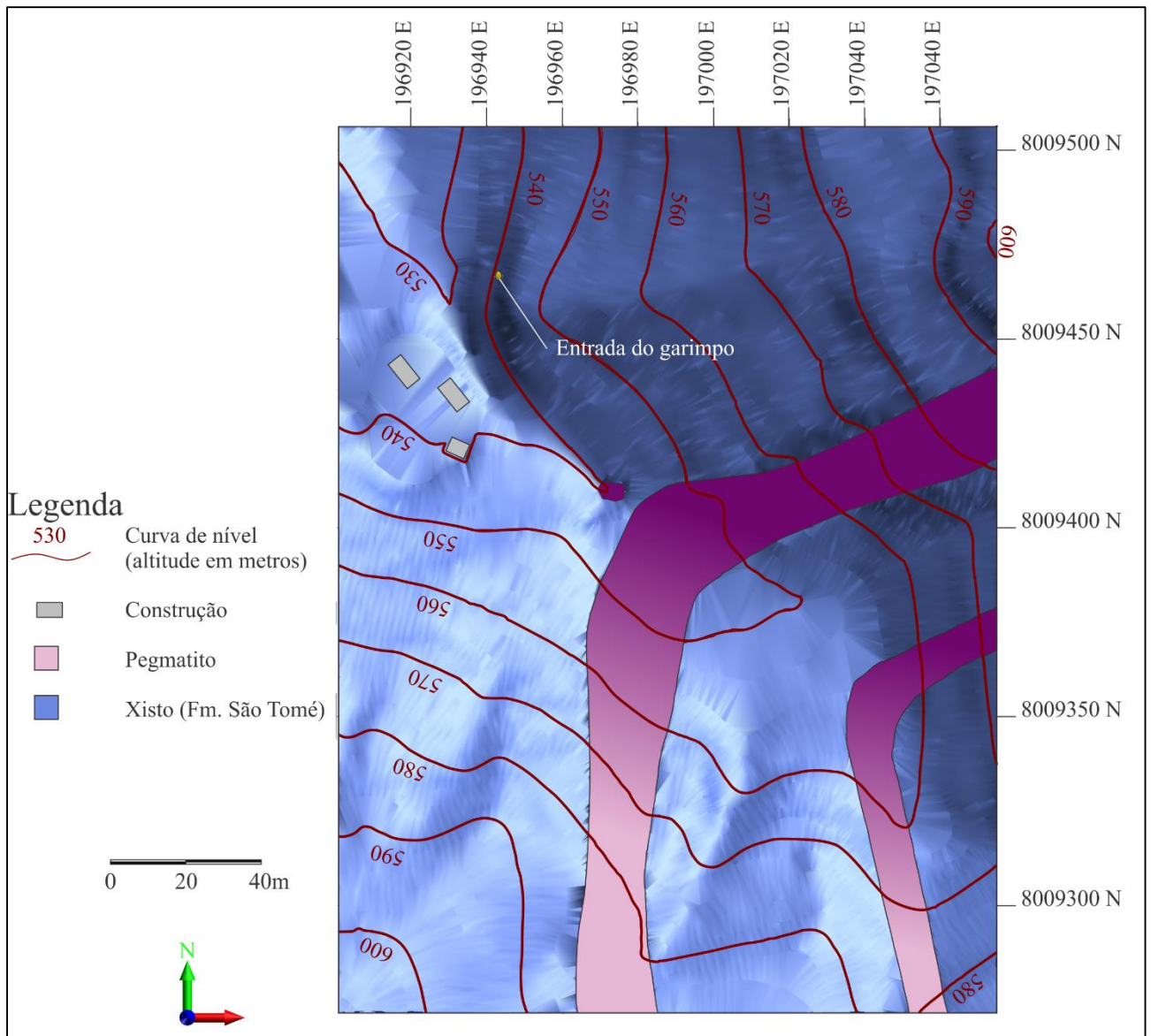


Figura 43. Topografia e Geologia da superfície das adjacências do garimpo. Digitalizado a partir do mapa geológico simplificado disponível nas instalações de suporte à mina.

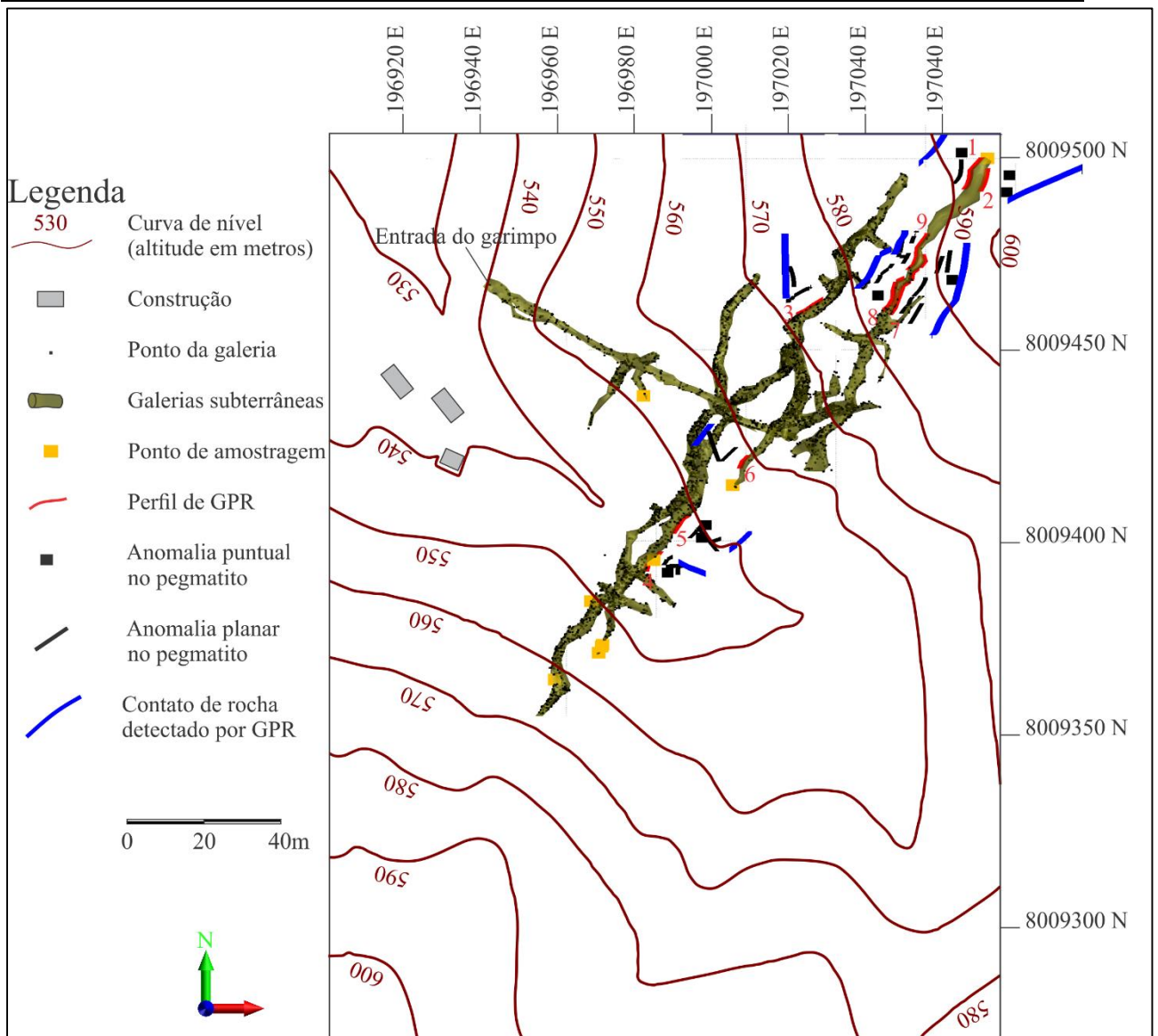


Figura 44. Planta das galerias do garimpo, com a localização dos pontos de amostragem, dos perfis de GPR executados e estruturas interpretadas.

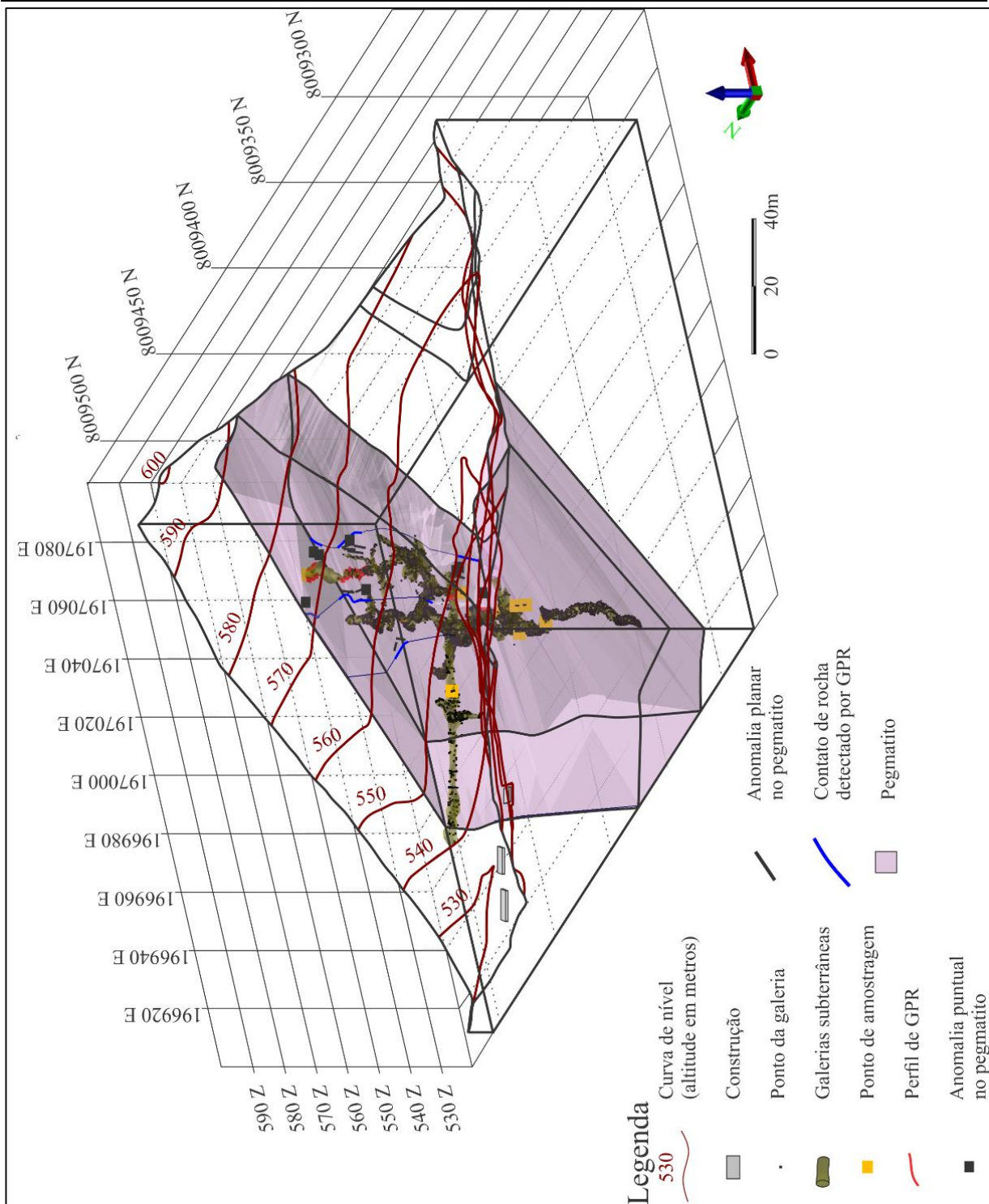


Figura 45. Modelo do corpo pegmatítico principal – corpo central da Figura 43 – gerado a partir dos dados de superfície integrados às interpretações dos perfis de GPR.

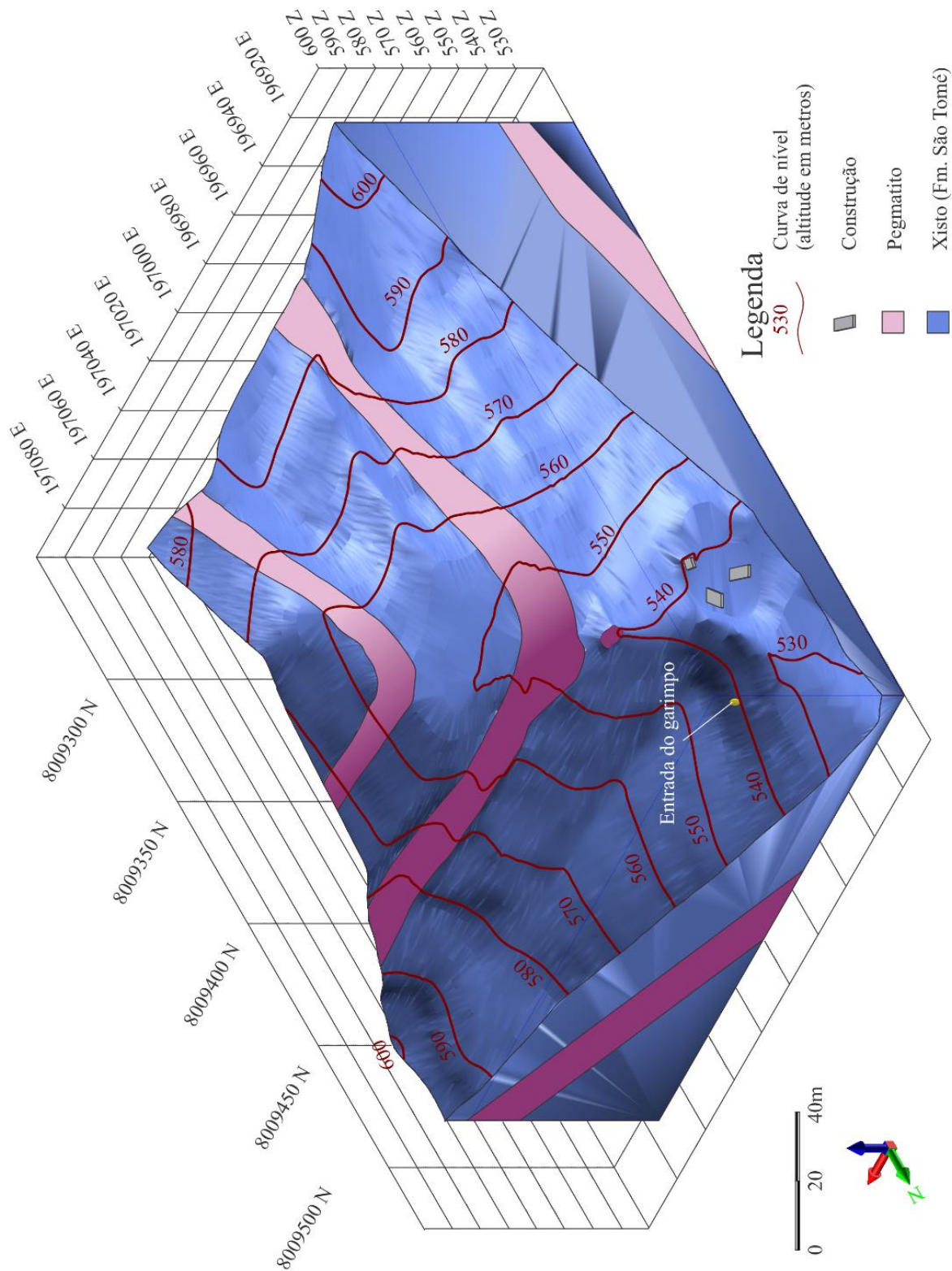


Figura 46. Bloco diagrama da Geologia do entorno do garimpo de Antônio Ferreira.

CAPÍTULO 7. DISCUSSÃO

7.1. Caracterização do Pegmatito Santa Rosa no Garimpo de Antônio Ferreira

Assim como atestado pelos dados de superfície, os contatos subterrâneos localizados denotam que o corpo pegmatítico possui direção nordeste-sudoeste e mergulho para noroeste. Isso, associado ao alojamento concordante com a foliação do xisto da Formação São Tomé, enquadra o pegmatito do garimpo de Antônio Ferreira na primeira geração de intrusões definida por Oliveira (2016).

A constituição química dos minerais analisados corrobora, sob diversos parâmetros, a associação das ocorrências de pegmatitos aos corpos intrusivos locais. Nas granadas, tem-se o indicativo de pouco distanciamento entre o corpo pegmatítico e sua fonte granítica, enquanto os dados composicionais desse mineral, bem como os de feldspatos e turmalinas, apontam para um baixo grau de diferenciação, como os das intrusões regionais (Oliveira, 2016; Paes, 1997; Signorelli, 1997).

A composição das granadas também indica cristalização a pressão e temperatura baixas. Isso vai ao encontro das expectativas para as condições de formação do pegmatito (Chakoumakos e Lumpkin, 1990; London, 2014, 1986b; Quirke e Kremers, 1943). As turmalinas também se mostram variedades comuns para o tipo de rocha estudado (Henry e Guidotti, 1985).

7.2. Avaliação dos Resultados da Aplicação do GPR

Da mesma forma que nos diversos campos das Geociências que o empregam, o GPR provou-se uma ferramenta eficaz na investigação do pegmatito, corroborando as propostas de Cook (1997, 2002) e Patterson e Cook (1999, 2000, 2002, 2004). Os perfis realizados detectaram não apenas os limites da rocha com sua encaixante, como também anomalias estruturais em seu interior.

As anomalias planares encontradas são predominantemente paralelas à direção do corpo pegmatítico. Seu significado é discutível. Essas superfícies podem ser relacionadas a variações composicionais ou estruturais dentro do pegmatito, marcando, por exemplo, o limite entre a zona mural e a zona de borda. Uma outra possibilidade é a de as anomalias corresponderem a um conjunto de fraturas de direção paralela à foliação do xisto da Formação São Tomé. A presença das diáclases, além da própria xistosidade, seria, então, um facilitador para a entrada do pegmatito no local.

Variações pontuais no interior da rocha podem se tratar de xenólitos, assimilados durante sua alocação, mas também é possível que correspondam a geodos, o alvo da exploração da atividade garimpeira. Uma vez que os caldeirões têm um volume muito pequeno se comparados ao pegmatito, encontrá-los pelo método de Tentativa e Erro, atualmente empregado em sua busca, é uma tarefa muito difícil e, ainda, nem todos são mineralizados. Desse modo, muitas escavações no local terminam por ser infrutíferas e são comuns longos períodos de tempo sem localização de gemas, o que torna a mina um empreendimento marginalmente rentável. Portanto, ainda que não seja possível – na escala deste trabalho – a determinação da natureza de uma anomalia, o GPR mostra-se um acessório bastante útil, capaz de direcionar e refinar de forma significativa a exploração de turmalinas.

7.4. Avaliação dos Dados Químicos de Minerais para a Prospecção de Gemas

7.4.1. Granadas

As análises de granada não revelaram nenhum padrão capaz de auxiliar as buscas por gemas no garimpo. Não se verificaram diferenças significativas na distribuição de elementos entre os pontos de amostragem, que formam, ainda, um grupo estatisticamente homogêneo. Apesar de o zonamento com incremento de silício e alumínio do centro para a borda dos grãos estar presente em todas as amostras do caldeirão onde se obtiveram turmalinas gemológicas (ponto 6), essa feição não é incomum no restante da mina.

7.4.2. Turmalinas

Para as turmalinas, destacam-se os baixos teores de ferro e manganês nas adjacências do caldeirão do qual se retiraram gemas do garimpo. No pegmatito maciço (pontos 3, 8 e 9), os minerais contêm baixo teor de ferro e alta quantidade de silício. Já na análise estatística das amostras oriundas somente de caldeirões (pontos 5, 6 e 7), a do ponto adjacente ao caldeirão do qual se retiraram turmalinas não-gemológicas (ponto 5) se afasta do restante como resultado da composição de influências dos teores de elementos traços e terras-raras.

7.4.3. Feldspatos

Nos feldspatos, algumas feições distintivas capazes de orientar a prospecção de gemas no garimpo foram encontradas. No sistema ternário Microclina-Albita-Anortita, somente amostras do ponto adjacente ao caldeirão de onde foram obtidas turmalinas gemológicas (ponto 6) se encontram na região acima de 80% do componente potássico. Entretanto, essa não é uma

característica diagnóstica, uma vez que minerais desse local também foram classificados como anortoclásio. Porém, a Estatística Multivariada aplicada para os elementos maiores mostra resultados mais contundentes. As amostras do ponto de interesse formam dois grupos separados das do restante do garimpo no diagrama de *scores* para as duas primeiras Componentes Principais.

Portanto, aplicar o método PCA aos dados composicionais de feldspatos pode ser um modo eficaz e acessível para orientar a procura de mineralizações de turmalina no pegmatito de Antônio Ferreira. O uso do sistema ternário de classificação pode ser um modo acessório, mas não definitivo, de auxílio às buscas.

7.5. Sugestões de Pesquisa

A importância econômica dos depósitos pegmatíticos no distrito de Antônio Ferreira contrasta com a ausência de trabalhos sobre a região. Isso é prejudicial não apenas no campo acadêmico, mas também para o próprio aproveitamento dos bens minerais encontrados nas rochas. Além da turmalina, outros minerais poderiam ser aproveitados como subproduto da atividade garimpeira, como feldspato, quartzo e muscovita, que possuem potencial para aplicações industriais, o que garantiria maior rentabilidade aos empreendimentos locais. Dessa forma, estudos para a caracterização química – incluindo análises de boro e lítio, elementos relevantes para a formação de turmalina – e a definição das condições físico-químicas vigentes durante a cristalização dos pegmatitos auxiliariam sobretudo a compreensão de seu contexto geológico, sua evolução e sua classificação segundo as definições clássicas (Černý e Ercit, 2005; Ginsburg et al., 1979 *in* Černý e Ercit, 2005). Isso possibilitaria, por conseguinte, uma determinação mais precisa das potencialidades econômicas da área. Trabalhos desse tipo já foram realizados no Campo Pegmatítico de Marilac (Gandini, 1999) e na Serra do Cruzeiro (Souza, 1999).

Dois aspectos notáveis nos dados geoquímicos obtidos neste trabalho são: a) os baixos teores de ferro e manganês nas proximidades do caldeirão onde foram encontradas gemas, que podem refletir condições favoráveis à mineralização; e b) a significativa diferença entre os feldspatos do ponto adjacente ao caldeirão sem turmalinas (ponto 7) e os do restante do garimpo. Essas amostras se projetam de forma muito dispersa e à parte das demais na análise por PCA e também mostram teores anômalos – muito altos ou baixos – de alguns elementos em relação às demais. A proximidade desse ponto com o contato suscita questões relativas à interação entre o fluido pegmatítico enriquecido em componentes voláteis e o xisto encaixante.

Uma possibilidade para a ausência de turmalina no caldeirão seria a própria ausência de elementos necessários à formação desse mineral. Entretanto, a presença de turmalina no xisto nas imediações da interface com o pegmatito e a importância do boro para a formação de geodos (London, 1987, 1986a, 1986b) não suportam essa hipótese. Desse modo, os processos físico-químicos na região do contato podem ter sido deletérios para a mineralização de gemas nessa porção do pegmatito, e uma investigação da relação entre a rocha e o meio que o hospeda poderia elucidar esse ponto de questionamento.

Outra vertente de pesquisa a ser seguida é a proposta neste trabalho. A metodologia empregada foi capaz de localizar espacialmente anomalias estruturais no corpo pegmatítico e identificar, mesmo em um espaço amostral reduzido, diferenças composicionais e estatísticas entre amostras de contextos distintos na rocha – inclusive no ponto onde foram encontradas turmalinas de valor gemológico. Assim, aplicar a metodologia proposta a outros depósitos pegmatíticos é um modo de testar sua validade de modo geral. Levantamentos amplos, robustos e extensivos podem seguir essa abordagem para, futuramente, dedicar-se a definir os fatores termodinâmicos que levam à formação de gemas, determinar parâmetros quantitativos para guiar a prospecção e gerar modelos interativos que mostrem a variação espacial desses indicadores para demarcar as potenciais zonas de mineralização.

CAPÍTULO 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação conjunta de GPR, geoquímica e Estatística Multivariada no garimpo de Antônio Ferreira possibilitou a criação de um modelo computadorizado interativo e foi capaz de fornecer diretrizes básicas para a prospecção de gemas no local. Por geofísica, detectaram-se anomalias pontuais na estrutura do pegmatito, o que pode nortear o avanço das escavações de forma muito mais confiável do que por Tentativa e Erro, método atual. Ainda, os teores de ferro e manganês podem vir a se revelar possíveis indicadores de mineralização. Outra possibilidade para guiar buscas por gemas é o emprego da PCA aplicada a dados composicionais. As análises realizadas por esse método mostram que os feldspatos podem assumir a função de farejadores para turmalinas gemológicas com base na distribuição estatística na análise de elementos maiores, que podem ser determinados por métodos como ICP- OES e microsonda. De modo complementar, mas não definitivo, o sistema ternário Microclina-Albita-Anortita pode ser um indicador de zonas mineralizadas para amostras com constituição superior a 80% do componente potássico.

A aplicação dos métodos empregados neste estudo é muito comum no setor de mineração para diversas *commodities*, enquanto o aproveitamento de pedras preciosas em depósitos pegmatíticos segue defasado, sendo realizado de forma amadora e rudimentar. Este trabalho, portanto, reforça as propostas de Cook (1997, 2002) e Patterson e Cook (1999, 2000, 2002 e 2004) para a expansão do uso do GPR em pegmatitos e fornece alternativas acessíveis para tornar o garimpo de gemas uma prática mais profissional, eficiente e profícua.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, L.H., Pinson, W.H., Kearns, M.M., 1952. Association of rubidium and potassium and their abundance in common igneous rocks and meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2, 229–242.
- Aitchison, J., 1982. The statistical analysis of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* 44, 139–177.
- Alkmim, F.F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A.C., Peres, G.G., Cruz, S.C.P., Whittington, A., 2006. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo Orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research* 149, 43–64. doi:10.1016/j.precamres.2006.06.007
- Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Cruz, S.C.P., 2007. Sobre a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos* 15, 25–43.
- Almeida, F.F.M., 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências* 7, 349–363.
- Almeida, F.F.M., 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira, 1st ed, Boletim 241. DNPM/DGM, Rio de Janeiro.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito-Neves, B.B., Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews* 17, 1–29. doi:10.1016/0012-8252(81)90003-9
- Aracema, L.W., Neves, A.C., Ferreira, J.C.H., Pedrosa-Soares, A.C., Lobato, L.M., Noce, C.M., 2000. Novas evidências de remanescentes oceânicos na Faixa Araçuaí: As rochas meta-ultramáficas de São José Da Safira. *Geonomos* 8, 55–61.
- Aranha, P.R.A., 2002. Estudo das coberturas superficiais e sua dinâmica na região de Gouveia, Serra do Espinhaço, MG: Utilizando o Radar de Penetração no Solo (GPR). UFOP, Ouro Preto.
- Aranha, P.R.A., Parizzi, M.G., Sobreira, F.G., Galvão, T.C.B., Beirigo, E.A., 2006. Aplicação do GPR na análise da estabilidade de taludes na Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. *Revista de Geologia* 19, 87–98.
- Augustin, C.H.R.R., Aranha, P.R.A., 2006. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 7, 9–18.
- Baptista, M.C., Silva, S.F., Dantas, M.E., Duarte, K.S., Almeida, B.F., Muricy-Filho, A.F., Coutinho, C.I., Pedrosa, L., 2010. Aspectos gerais do meio físico, in: Machado, M.F. (Ed.), *Geodiversidade Do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, pp. 15–34.
- Bayer, P., Horn, A.H., Schmidt-Thomé, R., Lammerer, B., Wiedemann, C.M., Weber-Diefenbach,

- K., 1985. The Brazilian Mobile Belt in southern Espírito Santo (Brazil) and its igneous intrusions. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie* 9, 1429–1439.
- Bayer, P., Schmidt-Thomé, R., Weber-Diefenbach, K., Horn, A.H., 1987. Complex concentric granitoid intrusions in the Coastal Mobile Belt, Espírito Santo, Brazil: The Santa Angélica Pluton. *Geologische Rundschau* 76, 357–361.
- Benson, A.K., 1995. Applications of GPR in assessing some geological hazards: Examples of ground water contamination, faults, cavities. *Journal of Applied Geophysics* 33, 177–193.
- Brito-Neves, B.B., Cordani, U.G., 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. *Precambrian Research* 53, 23–40.
- Brito-Neves, B.B., Sá, J.M., Nilson, A.A., Botelho, N.F., 1996. A tafrogênese estateriana nos blocos paleoproterozóicos da América do Sul e processos subsequentes. *Geonomos* 3, 1–21.
- Busby, J.P., Cuss, R.J., Raines, M.G., Beamish, D., 2004. Application of Ground Penetrating Radar to geological investigations. British Geological Survey, Keyworth.
- Cameron, E.N., Jahns, R.H., McNair, A.H., Page, L.R., 1949. Internal structure of granitic pegmatites, 1st ed, *Economic Geology Monograph* 2. Economic Geology Publishing Company, Urbana.
- Campos, C.M., Mendes, J.C., Ludka, I.P., Medeiros, S.R., Moura, J.C., Wallfuss, C.M., 2004. A review of the Brasiliano magmatism in southern Espírito Santo, Brazil, with emphasis on post-collisional magmatism. *Journal of the Virtual Explorer* 17, 1–39. doi:10.3809/jvirtex.2004.00106
- Carvalho, L.M.T., Louzada, J.N.C., Scolforo, J.R., Oliveira, A.D., 2008. Flora, in: Scolforo, J.R., Carvalho, L.M.T., Oliveira, A.D. (Eds.), *Zoneamento Ecológico-Econômico Do Estado de Minas Gerais: Componentes Geofísico E Biótico*. Editora UFLA, Lavras, pp. 137–150.
- CECS, 2014a. Mapa de relevo do semiárido de Minas Gerais [WWW Document]. URL http://www.cecs.unimontes.br/images/biblioteca_virtual/mapas/semiario_mineiro/Mapas_Novos/Relevo_A4.pdf (accessed 12.20.16).
- CECS, 2014b. Mapa de solos do semiárido de Minas Gerais [WWW Document]. URL http://www.cecs.unimontes.br/images/biblioteca_virtual/mapas/semiario_mineiro/Mapas_Novos/Solos_A4.pdf (accessed 12.20.16).
- Černý, P., 1993. Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geoscience Canada* 18, 49–67.
- Černý, P., 1992. Geochemical and petrogenetic features of mineralization in rare-element granitic pegmatites in the light of current research. *Applied Geochemistry* 7, 393–416.
-
- Modelamento e prospecção de pegmatito com aplicação de Radar de Penetração no Solo (GPR) e geoquímica no distrito de Antônio Ferreira – Franciscópolis/MG

doi:10.1016/0883-2927(92)90002-K

- Černý, P., Ercit, T.S., 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *Canadian Mineralogist* 43, 2005–2026. doi:10.2113/gscanmin.43.6.2005
- Chakoumakos, B.C., Lumpkin, G.R., 1990. Pressure-temperature constraints on the crystallization of the Harding Pegmatite, Taos County, New Mexico. *Canadian Mineralogist* 28, 287–298.
- Chaplot, V., Walter, C., Curmi, P., Hollier-Larousse, A., Robain, H., 2004. Combining geophysical methods to estimate the spatial distribution of soils affected by water saturation. *Comptes Rendus Geoscience* 336, 553–560. doi:10.1016/j.crte.2003.11.022
- Chatterjee, N., 2012. Course 12.141 - Electron Microprobe Analysis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Climate Data, 2016a. Clima: Itambacuri [WWW Document]. URL <http://pt.climate-data.org/location/25035/> (accessed 7.21.16).
- Climate Data, 2016b. Clima: Franciscópolis [WWW Document]. URL <http://pt.climate-data.org/location/176466/> (accessed 7.21.16).
- Conyers, L.B., 2002. Ground-Penetrating Radar, in: Hornak, J.P., DeMoustier, C., Hendee, W.R., Pasachoff, J.M., Philpot, W., Pokorny, J., Przybylowicz, E., Russ, J., Tobin, K.W., Vaez-Iravani, M. (Eds.), *Encyclopedia of Imaging Science and Technology*. Wiley-Blackwell, Nova Iorque, pp. 131–159. doi:10.1002/0471443395
- Cook, F.A., 2002. Geophysical methods used in exploration for gemstones [WWW Document]. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Cook, F.A., 1997. Application of geophysics in gemstone exploration. *Gems & Gemology* 33, 4–23.
- Cornejo, C., Bartorelli, A., Menezes-Filho, L.A.D., 2014. A subclasse dos ciclossilicatos, in: Cornejo, C., Bartorelli, A. (Eds.), *Minerais E Pedras Preciosas Do Brasil*. Solaris, São Paulo, pp. 444–593.
- Daniels, D.J., 2004. *Ground Penetrating Radar*, 2nd ed, IEE Radar Series. The Institution of Electrical Engineers, Londres.
- Davis, J.L., Annan, A.P., 1989. Ground Penetrating Radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting* 37, 531–551. doi:10.1016/0148-9062(90)90172-X
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, 2nd ed. Longman, Hong Kong. doi:10.1180/DHZ

- Dussin, T.M., 2000. A tectônica extensional Paleoproterozóica na borda sudeste do Craton do São Francisco (SE, Brasil): Geoquímica e petrologia das metaígneas. *Geonomos* 8, 63–68.
- Everett, M.E., 2013. *Near-surface applied geophysics*, 1st ed. Cambridge University Press, Nova Iorque.
- Filzmoser, P., Hron, K., Reimann, C., 2009a. Principal components analysis for compositional data with outliers. *Environmetrics* 20, 621–632. doi:10.1002/env.966
- Filzmoser, P., Hron, K., Reimann, C., Garrett, R., 2009b. Robust factor analysis for compositional data. *Computers and Geosciences* 35, 1854–1861. doi:10.1016/j.cageo.2008.12.005
- Francke, J., 2012. A review of selected ground penetrating radar applications to mineral resource evaluations. *Journal of Applied Geophysics* 81, 29–37. doi:10.1016/j.jappgeo.2011.09.020
- Gandini, A.L., 1999. Aspectos da mineralogia, geoquímica, gêneses e potencialidade econômica do Campo Pegmatítico de Marilac, Minas Gerais. USP, São Paulo.
- Ginsburg, A.I., Timofeyev, I.N., Feldman, L.G., 1979. *Principles of geology of the granitic pegmatites*, 1st ed. Nedra, Moscou.
- Goldstein, J., Newbury, D.E., Joy, D.C., Lyman, C.E., Echlin, P., Lifshin, E., Sawyer, L., Michael, J.R., 2003. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis*, 3rd ed. Plenum, Nova Iorque.
- Gonçalves-Dias, T., Pedrosa-Soares, A.C., Dussin, I.A., Alkmim, F.F., Caxito, F.A., Silva, L.C., Noce, C.M., 2011. Idade máxima de sedimentação e proveniência do Complexo Jequitinhonha na área-tipo (Orógeno Araçuai): primeiros dados U-Pb (LA-ICP-MS) de grãos detríticos de zircão 19, 121–130.
- Gruber, S., Ludwig, F., 1996. Application of Ground Penetrating Radar in Glaciology and permafrost prospecting [WWW Document]. URL http://kaares.ulapland.fi/home/hkunta/jmoore/gpr_cryo.pdf (accessed 4.23.16).
- Hager, J., Carnevale, M., 2006. The application of low frequency GPR to stratigraphic investigations [WWW Document]. Hager GeoScience, Inc. URL http://www.hagergeoscience.com/pdf_files/MLF_paper.pdf (accessed 8.19.14).
- Hara, T., Sakayama, T., 1984. The applicability of ground probing radar to site investigations. OYO Corp., Tóquio.
- Hawthorne, F.C., Henry, D.J., 1999. Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy* 11, 201–215. doi:10.1127/ejm/11/2/0201
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos-Neto, M.C., Silva, L.C., Trouw, R.A.J., Janasi, V.A.,

2004. Província Mantiqueira, in: 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*. Beca, São Paulo, pp. 203–234.
- Heimann, A., 2014. The chemical composition of gahnite and garnet as exploration guides to and indicators of rare element (Li) granitic pegmatites. USGS, Greenville.
- Henry, D.J., Guidotti, C. V., 1985. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist* 70, 1–15.
- Holanda, S.B., 2014. *Monções e capítulos de expansão paulista*, 4th ed. Companhia das Letras, São Paulo.
- Hou, X., Jones, B.T., 2000. Inductively coupled plasma/Optical emission spectrometry, in: Meyers, R.A. (Ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, pp. 9468–9485.
- Huggenberger, P., Meier, E., Pugin, A., 1994. Ground-Probing Radar as a tool for heterogeneity estimation in gravel deposits: Advances in data-processing and facies analysis. *Journal of Applied Geophysics* 31, 171–184. doi:10.1016/0926-9851(94)90056-6
- IBGE, 2015a. Santa Maria do Suaçuí [WWW Document]. URL <http://cod.ibge.gov.br/2WN> (accessed 1.4.16).
- IBGE, 2015b. Franciscópolis [WWW Document]. URL <http://cod.ibge.gov.br/1Z7D> (accessed 7.23.16).
- IBGE, 2015c. Itambacuri [WWW Document]. URL <http://cod.ibge.gov.br/H07> (accessed 7.23.16).
- IBGE, 2004. Mapa de vegetação do Brasil [WWW Document]. URL www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#USO (accessed 5.1.16).
- IGAM, 2005. DO4 - CBH Suaçuí [WWW Document]. URL <http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-doce/do4-cbh-do-rio-suacui> (accessed 3.15.15).
- INMET, 2009. Climatologia de meses e trimestres de maiores e menores temperaturas e pluviosidades médias no período de 1961-2009 [WWW Document]. URL <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/mesTempo> (accessed 7.21.16).
- Johnson, R.A., Wichern, D.W., 2007. *Applied multivariate statistical analysis*, 6th ed. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River.
- Kampf, A.R., Gochenour, K., Clanin, J., 2003. Tourmaline discovery at the Cryo-Genie Mine, San

Diego County, California. *Rocks & Minerals* 78, 156–163.
doi:10.1080/00357529.2003.9926715

- Karfunkel, J., Hoppe, A., 1988. Late Proterozoic glaciation in central-eastern Brazil: Synthesis and model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 65, 1–21. doi:10.1016/0031-0182(88)90108-3
- Kucera, M., Malmgren, B.A., 1998. Logratio transformation of compositional data. *Marine Micropaleontology* 34, 117–120. doi:10.1016/S0377-8398(97)00047-9
- Kufs, C.T., 1979. Another view of the use of factor analysis in geology. *Journal of the International Association for Mathematical Geology* 11, 717–720. doi:10.1007/BF01031894
- Landes, K.K., 1933. Origin and classification of pegmatites. *American Mineralogist* 18, 95–103.
- Linnen, R.L., Lichtervelde, M. V., Černý, P., 2012. Granitic pegmatites as sources of strategic metals. *Elements* 8, 275–280. doi:10.2113/gselements.8.4.275
- London, D., 2014. A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites. *Lithos* 184–187, 74–104. doi:10.1016/j.lithos.2013.10.025
- London, D., 2005. Granitic pegmatites: An assessment of current concepts and directions for the future. *Lithos* 80, 281–303. doi:10.1016/j.lithos.2004.02.009
- London, D., 1987. Internal differentiation of rare-element pegmatites: Effects of boron, phosphorus, and fluorine. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51, 403–420. doi:10.1016/0016-7037(87)90058-5
- London, D., 1986a. Magmatic-hydrothermal transition in the Tanco rare-element pegmatite: Evidence from fluid inclusions and phase-equilibrium experiments. *American Mineralogist* 71, 376–395.
- London, D., 1986b. Formation of tourmaline-rich gem pockets in miarolitic pegmatite. *American Mineralogist* 71, 396–405.
- Marshak, S., Alkmim, F.F., Whittington, A., Pedrosa-Soares, A.C., 2006. Extensional collapse in the Neoproterozoic Araçuaí Orogen, eastern Brazil: A setting for reactivation of asymmetric crenulation cleavage. *Journal of Structural Geology* 28, 129–147.
- Martin, R.F., De Vito, C., 2005. The patterns of enrichment in felsic pegmatites ultimately depend on tectonic setting. *Canadian Mineralogist* 43, 2027–2048. doi:10.2113/gscanmin.43.6.2027
- Martins-Neto, M.A., 1998. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: Registro de uma bacia Rifte-Sag do Paleo/Mesoproterozóico. *Revista Brasileira de Geociências* 28, 151–168.
- Martins-Neto, M.A., Pedrosa-Soares, A.C., Lima, S.A.A., 2001. Tectono-sedimentary evolution

of sedimentary basins from Late São Francisco Paleoproterozoic to Late Neoproterozoic in the São Francisco Craton and Araçuaí Fold Belt, Eastern Brazil. *Sedimentary Geology* 142, 343–370.

Milson, J., 2003. *Field Geophysics*, 3rd ed, The geological field guide series. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

Morteani, G., Preinfalk, C., Horn, A.H., 2000. Classification and mineralization potential of the pegmatites of the Eastern Brazilian Pegmatite Province. *Mineralium Deposita* 53, 638–655.

Morteani, G., Preinfalk, C., Horn, A.H., 1999. The pegmatites of the Eastern Pegmatite Province: A geochemical study in differentiation. *Economic Geology* 230–235.

Netto, C., Araújo, M.C., Pinto, C.P., Drumond, J.B. V., 1997. Cadastramento de recursos minerais: Pegmatitos, in: Projeto Leste. SEME/COMIG/CPRM, Belo Horizonte.

Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Piuzana, D., Armstrong, R., Laux, J.H., Campos, C.M., Medeiros, S.R., 2004. Ages of sedimentation of the kinzigitic complex and a late orogenic thermal episode in the Araçuaí Orogen, northern Espírito Santo state, Brazil; zircon and monazite U/Pb SHRIMP and ID-TIMS data. *Revista Brasileira de Geociências* 34, 587–592.

Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Armstrong, R., Piuzana, D., 2007. Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research* 159, 60–78. doi:10.1016/j.precamres.2007.06.001

Norton, J.J., 1983. Sequence of mineral assemblages in differentiated granitic pegmatites. *Economic Geology* 78, 854–874.

Oliveira, B.N., 2016. Mapeamento geológico da área entre Itambacuri-Franciscópolis, microregião de Teófilo Otoni - MG. UFMG, Belo Horizonte.

Paes, V.J.C., 1997. Folha Teófilo Otoni - SE.24-V-C-IV, escala 1:100.000, in: Projeto Leste. COMIG/CPRM, Belo Horizonte.

Paiva, G., 1946. Províncias pegmatíticas do Brasil, DNPM Bulletin 78. DNPM/DFPM, Rio de Janeiro.

Parizzi, M.G., Aranha, P.R.A., Costa, R.D., Silva-Filho, J.A., Tupinambás, M.M., Cajazeiro, J.M.D., 2011. Geofísica e sedimentologia aplicadas à avaliação do grau de assoreamento de trecho do Rio das Velhas em Rio Acima, Minas Gerais. *Geonomos* 19, 152–162. doi:10.18285/geonomos.v19i2.50

Patterson, J.E., 2003. Application of Ground Penetrating Radar (GPR) at the Cryo-Genie gem pegmatite mine, San Diego County, California. University of Calgary, Calgary.

- Patterson, J.E., 1996. Modeling of layered aplitic pegmatite dikes using Ground Penetrating Radar, Little Three Mine, Ramona District, San Diego County, California. University of Arizona, Tucson.
- Patterson, J.E., Cook, F.A., 2004. Ground penetrating radar (GPR) as an exploration tool in near surface pegmatite mining, in: SEG Technical Program Expanded Abstracts 2004. Denver, pp. 1472–1475. doi:10.1190/1.1845129
- Patterson, J.E., Cook, F.A., 2002. Successful application of ground-penetrating radar in the exploration of gem tourmaline pegmatites of Southern California. *Geophysical Prospecting* 50, 107–117. doi:10.1046/j.1365-2478.2002.00312.x
- Patterson, J.E., Cook, F.A., 2000. Application of complex trace analysis for improved target identification in gem-tourmaline-bearing pegmatites in the Himalaya mine, San Diego County, California, in: Noon, D.A., Stickley, G.F., Longstaff, D. (Eds.), *Eight International Conference on Ground Penetrating Radar*. Gold Coast, pp. 653–657. doi:10.1117/12.383537
- Patterson, J.E., Cook, F.A., 1999. Successful application of Ground Penetrating Radar in exploration for gem tourmaline. *Canadian Mineralogist* 37, 862–863.
- Pawlowsky-Glahn, V., Egozcue, J.J., 2006. Compositional data and their analysis: An introduction, in: Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., Pawlowsky-Glahn, V. (Eds.), *Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice*. The Geological Society of London, Londres, pp. 1–10. doi:10.1144/GSL.SP.2006.264.01.01
- Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F.F., Tack, L., Noce, C.M., Babinski, M., Silva, L.C., Martins-Neto, M.A., 2008. Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo Orogen. *Geological Society, London, Special Publications* 294, 153–172. doi:10.1144/SP294.9
- Pedrosa-Soares, A.C., Campos, C.P., Noce, C.M., Silva, L.C., Novo, T.A., Roncato, J.G., Medeiros, S.R., Castañeda, C., Queiroga, G.N., Dantas, E., Dussin, I.A., Alkmim, F.F., 2011. Late Neoproterozoic-Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí Orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. *Geological Society, London, Special Publications* 350, 25–51. doi:10.1144/SP350.3
- Pedrosa-Soares, A.C., Castañeda, C., Queiroga, G.N., Gradim, C., Belém, J., Roncato, J.G., Novo, T.A., Dias, P., Gradim, D., Medeiros, S.R., Jacobsohn, T., Babinski, M., Vieira, V.S., 2006. Magmatismo e tectônica do Orógeno Araçuaí no extremo leste de Minas e norte do Espírito Santo (18°-19°S, 41°-40°30'W). *Geonomos* 14, 97–111. doi:10.18285/geonomos.v14i2.114
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Alkmim, F.F., Silva, L.C., Babinski, M., Cordani, U.G.,

- Castañeda, C., 2007. Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos* 15, 1–16.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Vidal, P., Leonardos, O.H., 1992. Toward a new tectonic model for the late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) - West Congolian (SW Africa) Belt. *Journal of South American Earth Sciences* 6, 33–47.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Wiedemann, C.M., Pinto, C.P., 2001. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research* 110, 307–323.
- Pedrosa-Soares, A.C., Vidal, P., Leonardos, O.H., Brito-Neves, B.B., 1998. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: Further evidence and refutation of an exclusively ensialic evolution for the Araçuaí-West Congo Orogen. *Geology* 26, 519–522.
- Pedrosa-Soares, A.C., Wiedemann-Leonardos, C.M., 2000. Evolution of Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil, in: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*. SBG, Rio de Janeiro, pp. 265–285. doi:10.13140/2.1.3802.5928
- Pirajno, F., Smithies, R.H., 1992. The FeO/(FeO+MgO) ratio of tourmaline: A useful indicator of spacial variations in granite-related hydrothermal mineral deposits. *Journal of Geochemical Exploration* 42, 371–381.
- Porada, H., 1989. Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and Eastern Brazil. *Precambrian Research* 44, 103–136.
- Prave, A.R., 1996. Tale of three cratons: Tectonostratigraphic anatomy of the Damara Orogen in northwestern Namibia and the assembly of Gondwana. *Geology* 24, 1115–1118. doi:10.1130/0091-7613(1996)024<1115:TOTCTA>2.3.CO;2
- Putzer, H., 1976. *Metallogenetische Provinzen in Südamerika*, 1st ed. E. Schweitzerbart'sche Verlagbuschhandlung, Stuttgart.
- Queiroga, G.N., 2010. Caracterização de restos de litosfera oceânica do Orógeno Araçuaí entre os paralelos 17° e 21°S. UFMG, Belo Horizonte.
- Quirke, T.T., Kremers, H.E., 1943. Pegmatite crystallization. *American Mineralogist* 28, 571–580.
- RADAMBRASIL, 1987. Levantamento de recursos naturais da Folha SE.24 Rio Doce. IBGE, Rio de Janeiro.
- Rafezi, H., Novo, A., Hassani, F., 2015. An investigation into application of Ground Penetrating Radar (GPR) in surface mining, in: *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. Austin, pp. 1–7.

- Reis, F.P., 2010. O imaginário metalista luso-brasileiro colonial: A Serra das Esmeraldas na segunda metade do século XVII. *Cordis* 3–4, 1–12. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Santos, H.G., Zaroni, M.J., Almeida, E.P.C., 2013. Cambissolos Háplicos [WWW Document]. URL http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html (accessed 12.20.16).
- Santos, R.F., Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares, A.C., 2009. A Formação Salinas , Orógeno Araçuai (MG): história deformacional e significado tectônico. *Revista Brasileira de Geociências* 39, 81–100.
- Santos, V.R.N., 2014. Detecção e classificação automática de interferências do subsolo com GPR utilizando redes neurais artificiais: Estudo no SCGR do IAG/USP. USP, São Paulo.
- Schöll, W.U., Fogaça, A.C.C., 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina., in: *I Simpósio de Geologia de Minas Gerais*. Diamantina, pp. 55–73.
- Scolforo, J.R., Oliveira, A.D., Carvalho, L.M.T., 2008. Zoneamento Ecológico-Econômico do estado de Minas Gerais: Componente socioeconômico, 1st ed. Editora UFLA, Lavras.
- Seer, H.J., Brod, J.A., Fuck, R.A., Pimentel, M.M., Boaventura, G.R., Dardenne, M.A., 2001. Grupo Araxá em sua área tipo: Um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na faixa de dobramentos Brasília. *Brazilian Journal of Geology* 31, 385–396.
- Selway, J.B., Novák, M., Černý, P., Hawthorne, F.C., 1999. Compositional evolution of tourmaline in lepidolite-subtype pegmatites. *European Journal of Mineralogy* 11, 569–584.
- Shigley, J.E., Kampf, A.R., 1984. Gem-bearing pegmatites: A review. *Gems & Gemology* 20, 64–77.
- Signorelli, N., 1997. Folha Itambacuri - SE.24-Y-A-I, escala 1:100.000, in: *Projeto Leste. SEME/COMIG/CPRM*, Belo Horizonte.
- Silva, L.C., McNaughton, N.J., Armstrong, R., Hartmann, L.A., Fletcher, I.R., 2005. The neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: A zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens. *Precambrian Research* 136, 203–240. doi:10.1016/j.precamres.2004.10.004
- Simmons, W.B., 2004. A look at pegmatite classifications, in: *Mineralogical Society of America International Meeting*.
- Simmons, W.B., Pezzotta, F., Shigley, J.E., Beurlen, H., 2012. Granitic pegmatites as sources of colored gemstones. *Elements* 8, 281–287. doi:0.2113/gselements.8.4.281

- Souza, C.J.M., 1999. Caracterização mineralógica e geoquímica dos pegmatitos da Pederneira na região de Santa Maria do Suaçuí, Minas Gerais. UFMG, Belo Horizonte.
- Strange, A.D., Ralston, J.C., Chandran, V., 2005. Application of Ground Penetrating Radar technology for near-surface interface determination in coal mining, in: International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Filadélfia, pp. v701–v704.
- Taylor, S.R., Emeleus, C.H., Exley, C.S., 1956. Some anomalous K / Rb ratios in igneous rocks and their petrological significance. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 10, 224–229.
- Temple, J.T., 1978. The use of factor analysis in geology. *Mathematical Geology* 10, 379–387.
- Teraoka, Y., Suzuki, M., Hayashi, T., Kawakami, K., 1997. Detrital garnets from Paleozoic and Mesozoic sandstones in the Onogawa Area, East Kyushu, Southwest Japan. *Bulletin of the Faculty of the School Education, Hiroshima University* 19, 87–101.
- Tindle, A.G., Breaks, F.W., Selway, J.B., 2002. Tourmaline in petalite-subtype granitic pegmatites: Evidence of fractionation and contamination from the Pakeagama Lake and Separation Lake areas of Northwestern Ontario, Canada. *Canadian Mineralogist* 40, 753–788. doi:10.2113/gscanmin.40.3.753
- Uhlein, A., Trompette, R., Egydio-Silva, M., 1995. Rifteamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton do São Francisco. *Geonomos* 3, 99–107.
- Valeriano, C.M., Machado, N., Simonetti, A., Valladares, C.S., Seer, H.J., Simões, L.S.A., 2004. U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): Sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West Gondwana. *Precambrian Research* 130, 27–55. doi:10.1016/j.precamres.2003.10.014
- Vieira, V.S., 2007. Significado do Grupo Rio Doce no Contexto do Orógeno Araçuaí. UFMG, Belo Horizonte.
- Whittington, A., Connelly, J., Pedrosa-Soares, A.C., Marshak, S., Alkmim, F.F., 2001. Collapse and melting in a confined orogenic belt: Preliminary results from the Neoproterozoic Araçuaí Belt of Eastern Brazil, in: American Geophysical Union, Fall Meeting. São Francisco.
- Wolf, R.E., 2005. What is ICP-MS? ... And more importantly, what can it do? [WWW Document]. URL http://crustal.usgs.gov/laboratories/icpms/What_is_ICPMS.pdf (accessed 2.25.16).

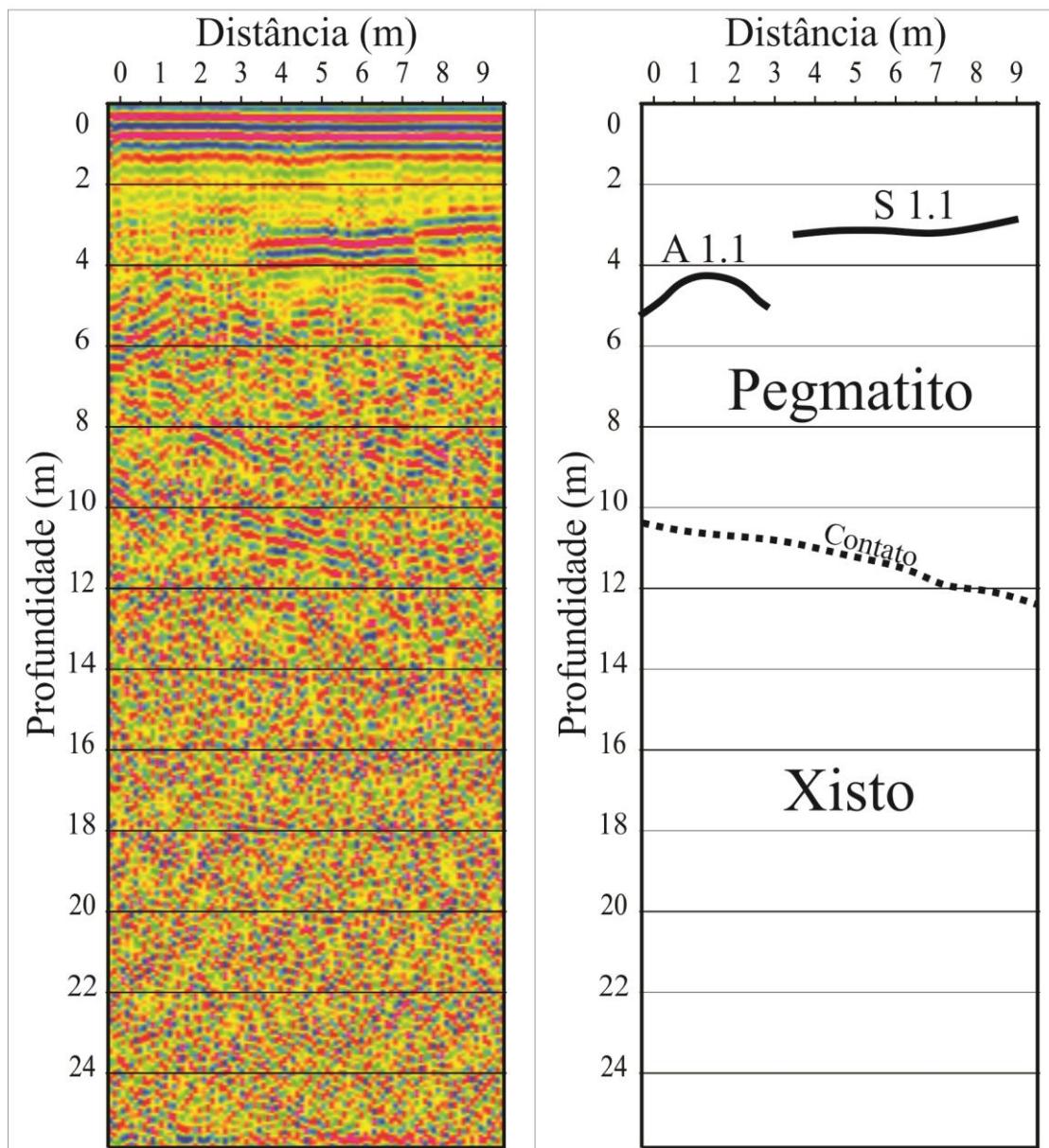
APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DAS SEÇÕES POLIDAS

Turmalina	
Seção	Descrição
T1A	Cristais xenomorfos com coloração cinza e marrom nas bordas. Os grãos apresentam microfissuras perpendiculares entre si e inclusões de quartzo com dimensões até 0,8mm.
T1B	Cristais xenomorfos, em maioria, e poucas seções basais. A coloração observada nas bordas é cinza escura. Dentro dos grãos há pequenas inclusões de quartzo e poucas microfissuras.
T2A	Cristais xenomorfos com coloração cinza e marrom nas bordas. Há muito poucas inclusões de quartzo, com máxima dimensão de 0,08mm, sendo algumas dentro da turmalina e outras alongadas segundo a direções de microfissuras.
T4	Pequenos grãos xenomorfos com coloração cinza e inclusões muito pequenas de quartzo. Observa-se pleocroísmo e um dos grãos apresenta zonamento paralelo ao eixo c.
T5A	Grãos grandes com microfissuras (algumas perpendiculares entre si), além de intercrescimento e pequenas inclusões de quartzo.
T6A	Grãos grandes com coloração acinzentada visível nas bordas. Observam-se poucas microfissuras, além de intercrescimento e pequenas inclusões de quartzo.
T6C	Grãos grandes com coloração marrom ou acinzentada nas bordas. Observam-se muitas microfissuras perpendiculares entre si, que formam uma trama aproximadamente paralela às bordas dos grãos. Também há inclusões e preenchimento de quartzo.
T6E	Cristais xenomorfos com coloração marrom ou azul nas bordas. Poucas microfissuras e inclusões de quartzo são observadas.
T7A	Cristais xenomorfos com coloração marrom ou cinza-azulada próximo às bordas. Observam-se poucas microfissuras e inclusões de quartzo.
T7B	Grãos xenomorfos grandes com bastantes inclusões de quartzo de pequenas dimensões, que acompanham microfissuras. Nas bordas, observa-se coloração marrom.
T7C	Grãos xenomorfos grandes com pequenas inclusões de quartzo. Observam-se discretas microfissuras com direções perpendiculares às bordas.
T7D	Grãos formados por cristais menores de turmalina. A coloração nas bordas é marrom. Observam-se inclusões de quartzo de até 0,25mm, sulfetos brancos com brilho forte e micas.
T7E	Cristais xenomorfos com microfissuras discretas e poucas pequenas inclusões de quartzo. Observa-se pleocroísmo e a tonalidade nas bordas é azul.
T7F	Pequenos grãos xenomorfos com pleocroísmo de cinza a marrom. Poucas microfissuras e inclusões minerais são observadas.

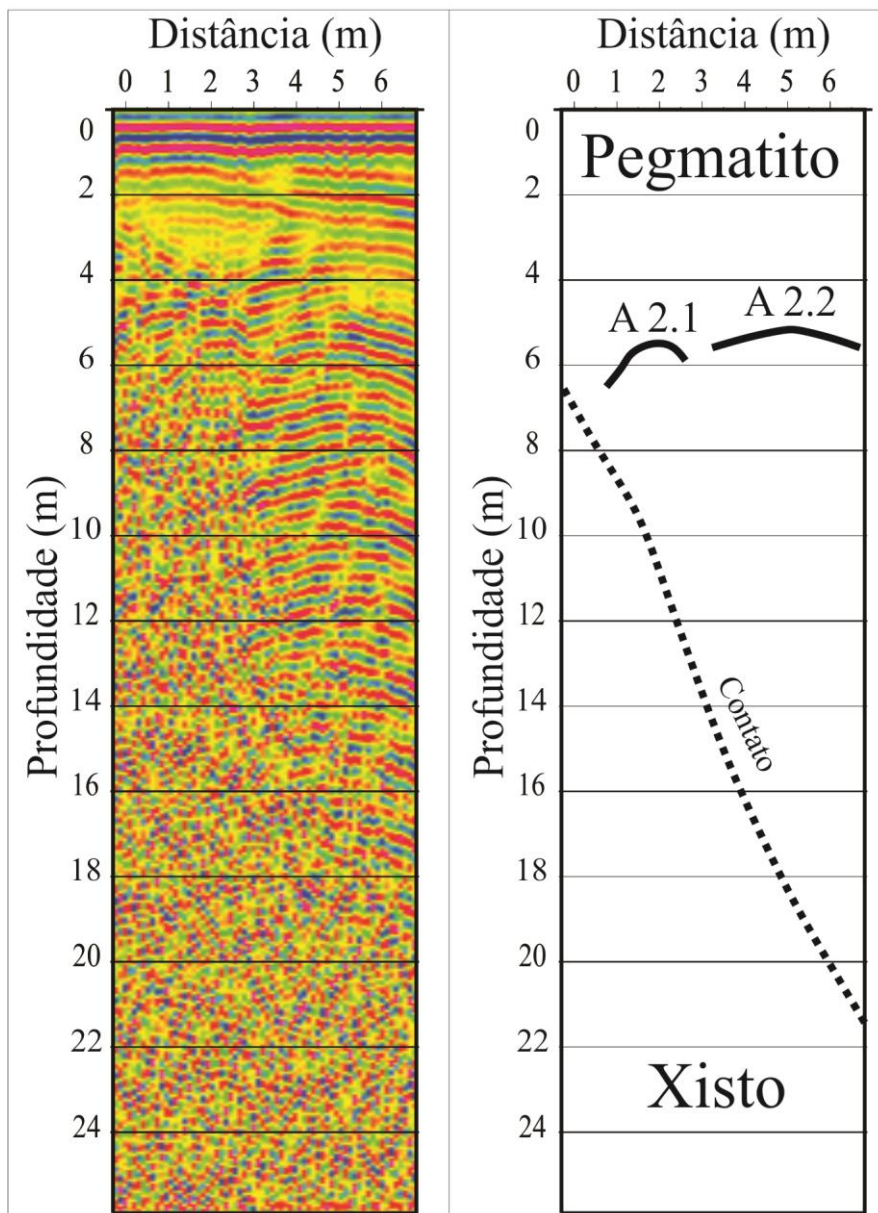
Granada	
Seção	Descrição
G1A	Grãos xenomorfos a hipidiomorfos de coloração vermelha sob nicóis cruzados. Há poucas inclusões e microfissuras, porém observam-se duas grandes inclusões de quartzo.
G1B	Grãos xenomorfos de coloração vermelha ou castanha. Observam-se inclusões de quartzo com reflexão interna que os deixa coloridos.
G4	Grãos xenomorfos a hipidiomorfos castanhos com bastantes microfissuras e inclusões de quartzo. Tonalidades distintas dentro dos cristais sugerem zonamento.
G5A	Grãos castanho-rosados. Há muitas microfissuras e inclusões de quartzo com reflexão interna. Possível zonamento também é visto, com inclusões acompanhando a direção das bordas dos grãos. O maior grão tem inclusões de zircão e uma porção escura próxima a seu centro.
G5B	Grãos com coloração vermelho-acastanhada, com poucas microfissuras, mas muitas inclusões de quartzo. Em um grão, observam-se inclusões de fosfatos prismáticos amarelados.
G6E	Granadas vermelho-escuras com poucas fraturas e inclusões.
G7C	Grãos castanhos com muitas microfissuras e inclusões de quartzo com reflexão interna.
G7E	Grãos com coloração vermelha ou castanha. Microfissuras e inclusões estão presentes em alguns cristais.
G7F	Grãos muito pequenos e fraturados com muitas inclusões de quartzo e coloração castanha.

APÊNDICE B – RADARGRAMAS DOS PERFIS DOS TÚNEIS

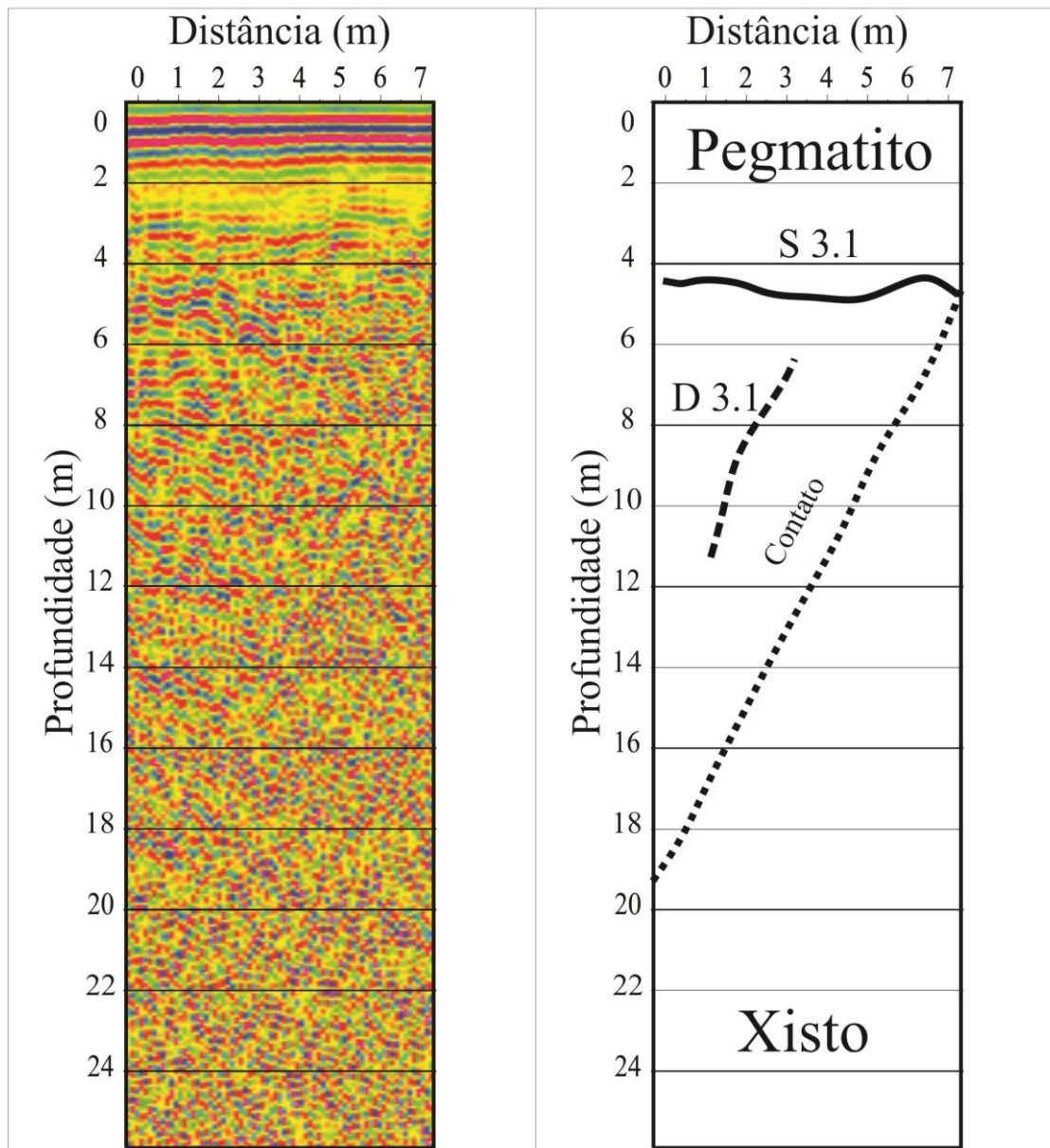
Radargrama e croqui interpretativo - Seção 1



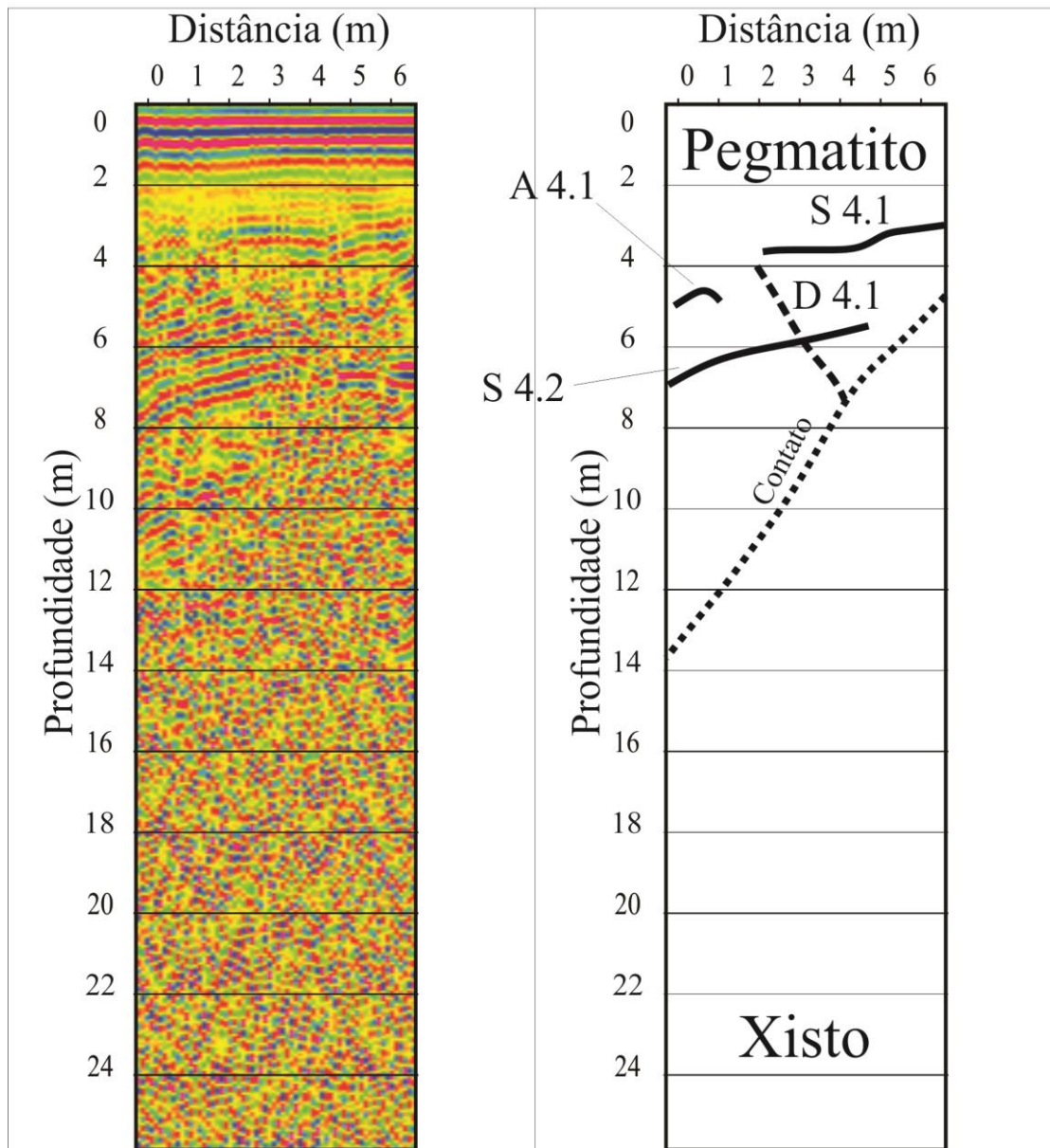
Radargrama e croqui interpretativo - Seção 2



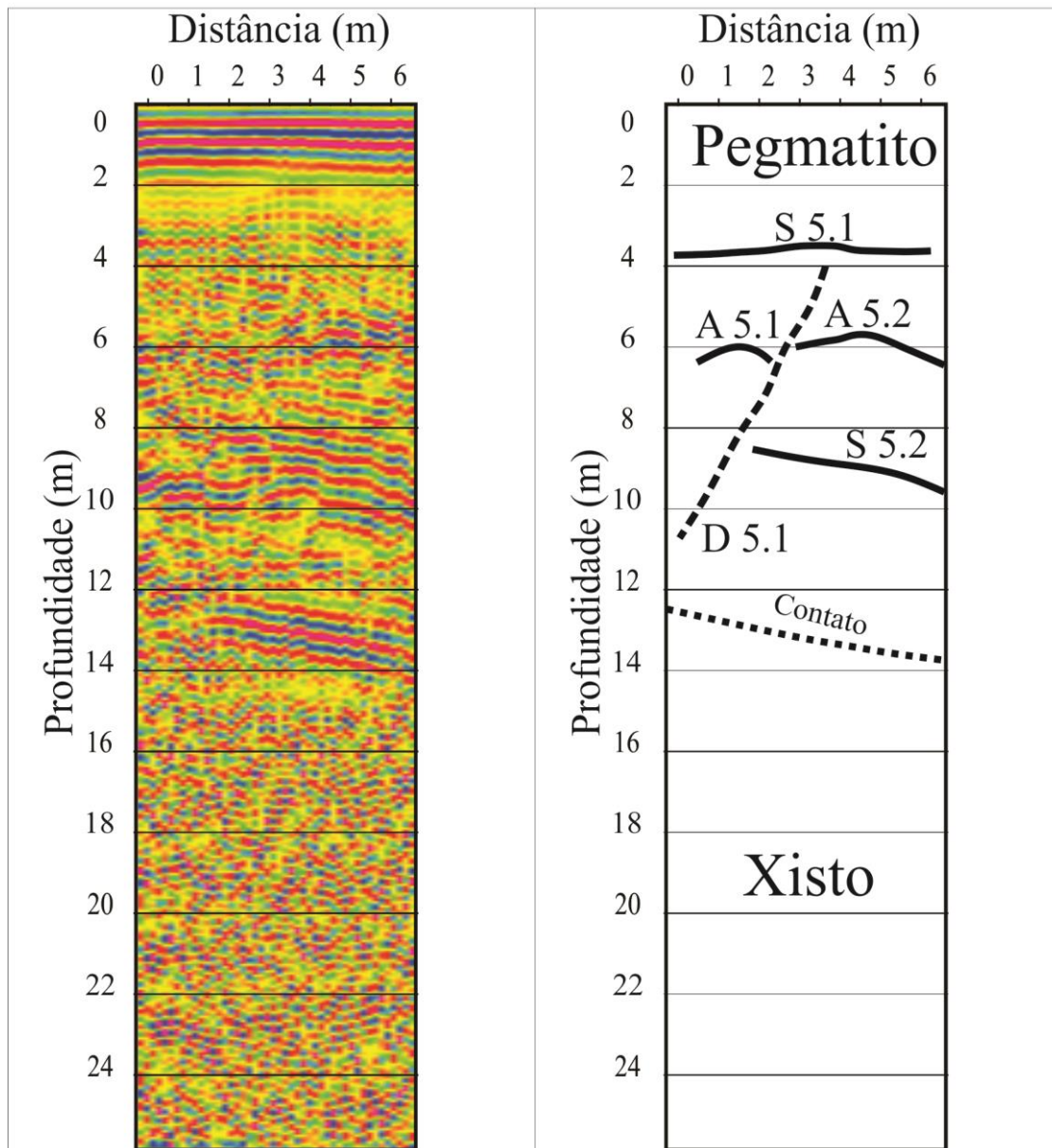
Radargrama e croqui interpretativo - Seção 3



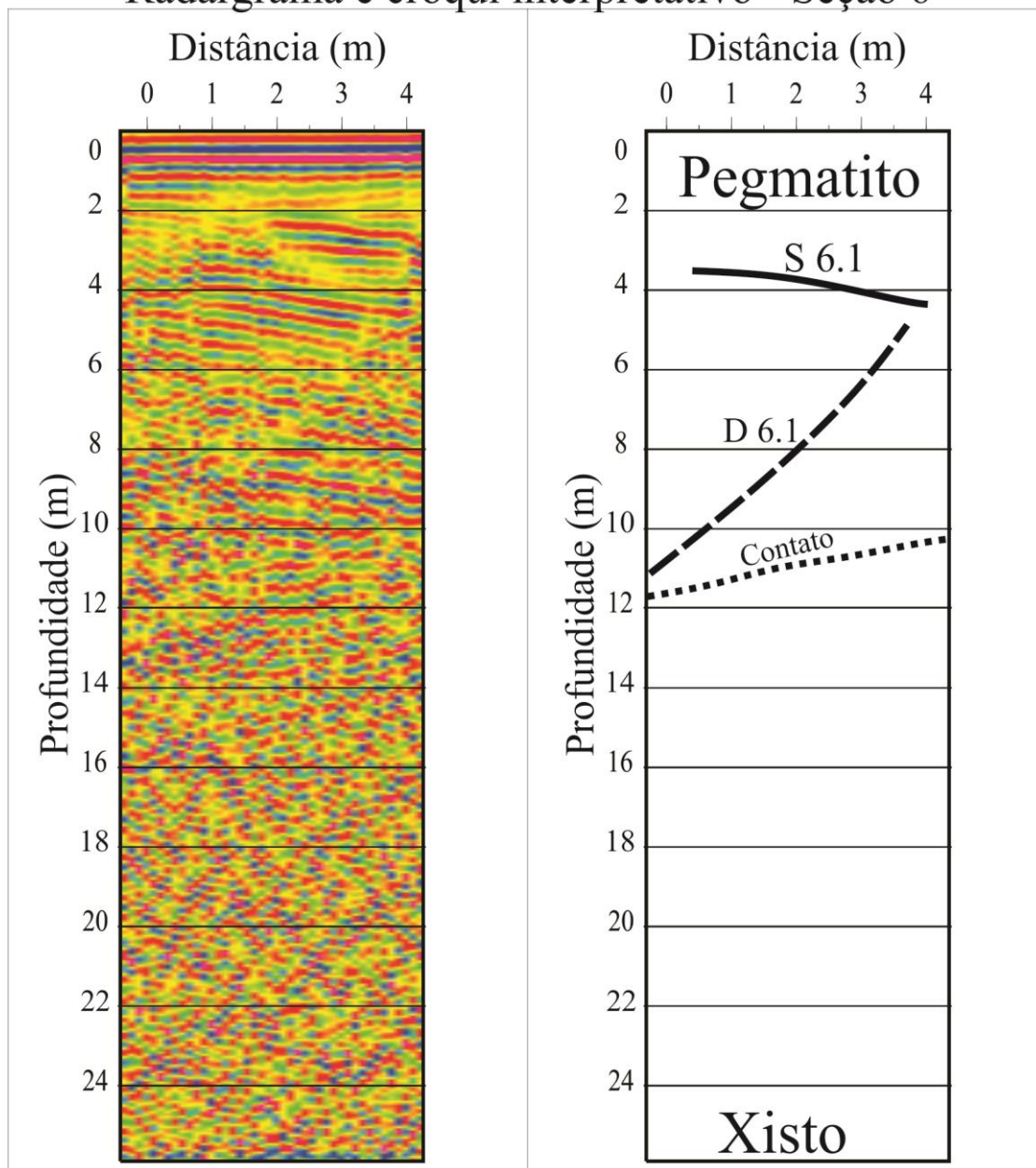
Radargrama e croqui interpretativo - Seção 4



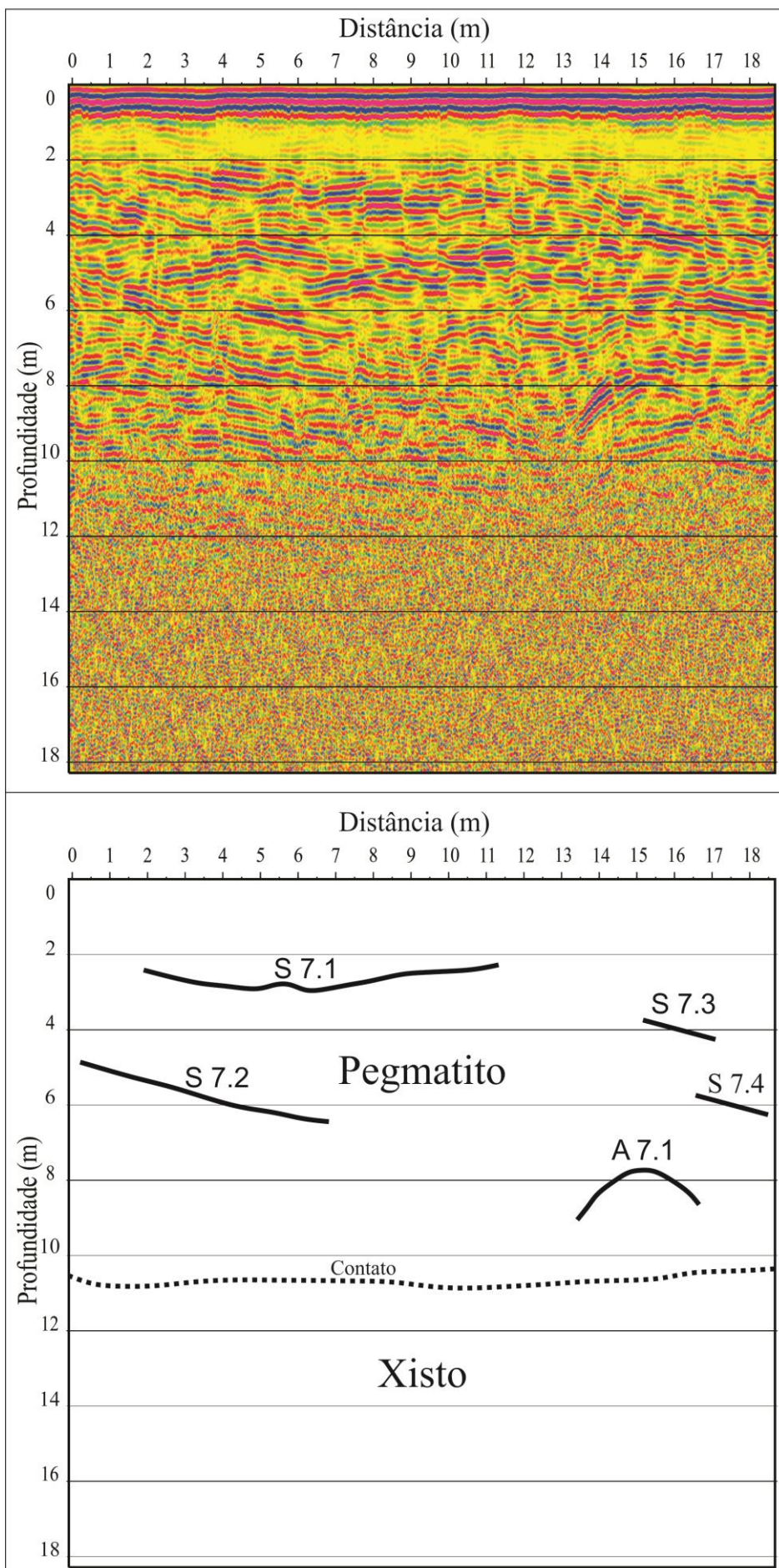
Radargrama e croqui interpretativo - Seção 5



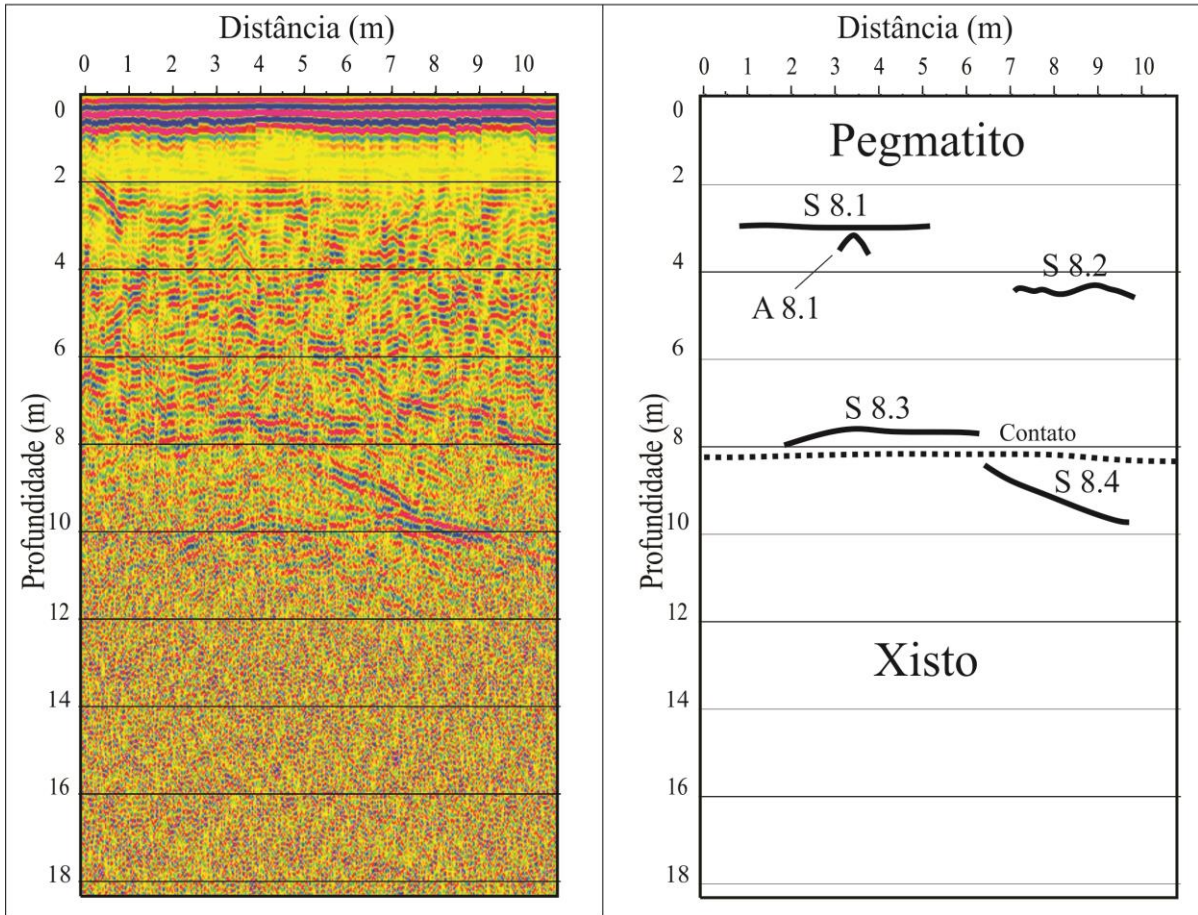
Radargrama e croqui interpretativo - Seção 6



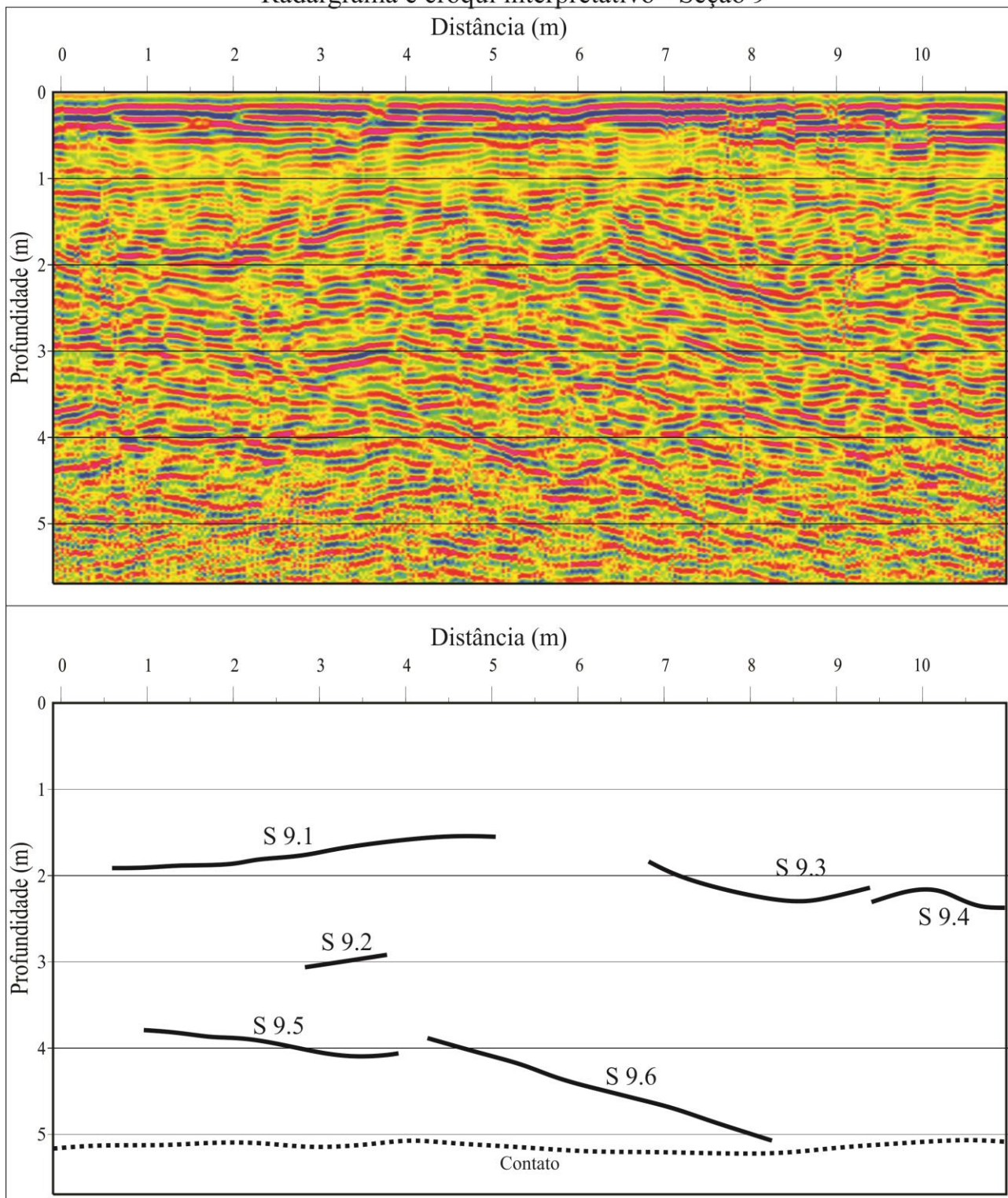
Radargrama e croqui interpretativo - Seção 7



Radargrama e croqui interpretativo - Seção 8



Radargrama e croqui interpretativo - Seção 9



C.3. Feldspato

Cálculo para 4 O	F1A	F1B	F2B	F4	F5A	F5B	F6A	F6B
Si	1.50	1.50	1.49	1.56	1.51	1.61	1.52	1.50
Al	0.49	0.50	0.50	0.44	0.49	0.39	0.49	0.51
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Na	0.45	0.44	0.27	0.39	0.23	0.33	0.11	0.12
K	0.02	0.03	0.24	0.02	0.25	0.04	0.32	0.33
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cálculo para 4 O	F6C	F6D	F6E	F7A	F7B	F7C	F7E	F7F
Si	1.50	1.51	1.53	1.49	1.51	1.50	1.55	1.52
Al	0.51	0.50	0.47	0.50	0.48	0.50	0.45	0.47
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Na	0.11	0.36	0.41	0.22	0.45	0.29	0.39	0.28
K	0.33	0.07	0.04	0.30	0.01	0.20	0.02	0.21
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	2.47	2.45	2.46	2.52	2.48	2.50	2.43	2.49

**APÊNDICE D – AUTOVALORES E MATRIZES DE SCORES DEFINIDOS POR PCA
PARA OS DADOS QUÍMICOS DE MINERAIS**

D.1. Turmalina

D.1.1. Análise da Composição Global

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
T2	-1.18	3.39	1.09	2.14	3.11	-0.44	-0.36
T3	7.12	-2.75	-0.44	1.05	1.08	2.03	-0.40
T4	-2.46	-1.97	-0.16	-2.10	-0.16	0.93	-0.44
T5	0.54	1.26	2.73	-1.36	0.03	0.74	0.63
T6A	-0.25	-1.64	4.75	1.47	-1.85	-0.51	0.53
T6C	-0.02	1.08	-1.33	1.40	-0.95	0.61	2.39
T6E	-0.57	2.35	-0.15	-2.51	-0.45	0.02	-0.74
T7A	-1.48	-0.52	1.23	1.26	-0.72	-0.15	-2.19
T7B	0.50	3.97	-0.20	-0.39	0.17	-0.47	0.42
T7C	-2.91	-0.35	-2.21	0.25	-0.04	0.28	0.39
T7E	-1.14	0.84	-0.58	-1.58	-0.10	0.98	-0.15
T7F	-2.44	-0.64	-3.20	2.30	-1.33	-0.20	-0.71
T8	6.69	0.29	-1.43	-0.92	-0.76	-2.29	-0.21
T9	-2.40	-5.30	-0.08	-1.01	1.97	-1.52	0.84

Autovalores	9.81	6.10	4.02	2.60	1.71	1.17	1.06
Percentual da variabilidade explicado	35,5%	52,5%	66,9%	76,1%	82,8%	87,3%	91,1%

D.1.2. Análise de Elementos Maiores

Amostra	PC1	PC2	PC3
T2A	1.62	0.42	1.72
T3	1.51	1.66	-0.31
T4	-2.21	-1.40	-1.08
T5A	1.22	-0.63	0.18
T6A	0.22	2.34	-1.07
T6C	-0.08	0.97	1.02
T6E	1.80	-1.95	-0.65
T7A	-0.15	0.95	0.32
T7B	2.24	-0.69	0.57
T7C	-2.47	-0.88	0.79
T7E	-0.50	-1.96	-0.67
T7F	-2.87	-0.07	1.69
T8	3.14	0.02	-1.04
T9	-3.47	1.20	-1.46

Autovalores	4.32	1.77	1.11
Percentual da variabilidade explicado	48,0%	67,6%	79,9%

D.1.3. Análise de Elementos Traços

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4
T2A	2.82	1.78	0.49	2.78
T3	-6.07	0.67	0.27	0.43
T4	-0.01	-1.20	-1.18	-0.63
T5A	0.46	-2.61	1.26	0.23
T6A	-0.33	-2.26	2.69	0.21
T6C	0.47	1.14	1.12	-1.50
T6E	1.39	0.10	-0.72	-1.50
T7A	0.88	-0.03	-0.25	-0.43
T7B	2.03	0.52	0.51	0.44
T7C	1.23	0.84	-0.78	-0.38
T7E	1.20	-0.06	-0.23	-0.36
T7F	0.66	1.53	-0.43	-0.60
T8	-3.79	1.61	0.30	0.16
T9	-0.93	-2.05	-3.04	1.15

Autovalores	5.45	2.19	1.75	1.18
Percentual da variabilidade explicado	41,9%	58,7%	72,2%	81,2%

D.1.4. Análise de Elementos Terras-Raras

Amostra	PC1	PC2	PC3
T2A	-1.04	0.49	1.23
T3	3.61	1.68	-0.46
T4	-1.85	-0.09	-0.24
T5A	0.44	1.15	1.61
T6A	-2.17	2.02	-0.20
T6C	0.56	-1.59	-0.29
T6E	-0.32	-0.35	0.85
T7A	-1.55	1.08	-0.17
T7B	1.46	-1.20	1.46
T7C	-1.04	-1.41	-0.45
T7E	0.07	-0.28	0.27
T7F	-0.43	-2.11	-0.46
T8	4.22	0.20	-1.21
T9	-1.96	0.42	-1.95

Autovalores	3.87	1.57	1.01
Percentual da variabilidade explicado	55,3%	77,8%	92,2%

D.1.5. Análise da Composição Global (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
T5A	4.31	-1.97	-0.04	0.57	-1.24	-2.37	-0.64
T6A	-0.20	-5.60	-0.16	-0.24	-0.85	1.91	-0.06
T6C	-1.17	0.63	-3.36	2.98	1.00	0.16	0.17
T6E	2.57	1.83	2.11	0.67	1.68	0.94	-1.53
T7A	-1.56	-1.91	0.37	-1.88	2.72	-1.01	0.59
T7B	3.55	3.04	-2.12	-2.43	-0.69	0.99	0.26
T7C	-3.22	1.45	2.23	0.76	-1.31	0.34	-0.17
T7E	1.01	1.24	1.79	0.81	-0.38	-0.11	2.16
T7F	-5.29	1.30	-0.81	-1.25	-0.93	-0.84	-0.78

Autovalores	10.13	7.15	3.65	2.74	2.09	1.62	1.07
Percentual da variabilidade explicado	34,9%	59,6%	72,2%	81,6%	88,8%	94,4%	98,1%

D.1.6. Análise de Elementos Maiores (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2
T5A	1.38	-0.14
T6A	0.18	-2.17
T6C	-0.19	-1.40
T6E	2.41	1.86
T7A	-0.54	-1.18
T7B	2.58	-0.70
T7C	-2.46	1.50
T7E	0.14	2.33
T7F	-3.50	-0.10

Autovalores	4.12	2.47
Percentual da variabilidade explicado	45,8%	73,2%

D.1.7. Análise de Elementos Traços (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4
T5A	3.85	-0.75	0.16	0.08
T6A	3.14	2.47	-0.08	-1.11
T6C	-1.12	0.53	-3.31	0.50
T6E	-0.06	-2.43	-0.70	0.63
T7A	-0.37	1.27	1.57	2.51
T7B	-1.26	-1.62	1.37	-0.99
T7C	-1.41	-0.53	0.31	-1.29
T7E	0.23	-1.11	0.22	0.21
T7F	-3.00	2.17	0.48	-0.54

Autovalores	4.84	2.91	2.03	1.40
Percentual da variabilidade explicado	37,2%	59,6%	75,2%	86,0%

D.1.8. Análise de Elementos Terras-Raras

Amostra	PC1	PC2
T5A	2.31	-1.63
T6A	-2.04	-2.17
T6C	-0.09	1.53
T6E	0.57	-0.20
T7A	-1.61	-1.08
T7B	3.55	0.60
T7C	-1.86	1.00
T7E	0.67	0.25
T7F	-1.50	1.70

Autovalores	3.90	1.90
Percentual da variabilidade explicado	55,7%	82,9%

D.2. Granada

D.2.1. Análise da Composição Global

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
G4	1.80	1.58	-0.90	-3.25	-0.88
G5A	-2.03	-0.88	4.62	-1.35	0.37
G5B	6.15	-3.45	1.52	1.55	0.02
G6E	-2.41	-2.93	-3.02	-0.66	1.62
G7C	-3.17	4.60	1.23	1.76	0.33
G7E	-3.97	-2.66	-1.42	1.26	-1.63
G7F	3.62	3.74	-2.02	0.70	0.18

Autovalores	14.99	10.99	6.88	3.40	1.06
Percentual da variabilidade explicado	39,5%	68,4%	86,5%	95,4%	98,2%

D.2.2. Análise de Elementos Maiores

Amostra	PC1	PC2
G4	1.01	-2.10
G5A	-2.37	-1.20
G5B	3.64	1.10
G6E	-1.03	1.09
G7C	-2.13	-0.27
G7E	-1.83	1.75
G7F	2.71	-0.37

Autovalores	6.03	1.92
Percentual da variabilidade explicado	67,0%	88,4%

D.2.3. Análise de Elementos Traços

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4
G4	1.49	-0.73	2.17	-0.26
G5A	0.01	3.58	1.07	0.09
G5B	4.44	0.19	-1.26	0.95
G6E	-1.74	-2.57	0.26	-0.42
G7C	-3.05	2.08	-1.21	-0.52
G7E	-2.48	-1.43	-0.12	1.66
G7F	1.33	-1.13	-0.90	-1.50

Autovalores	7.04	4.60	1.64	1.07
Percentual da variabilidade explicado	46,9%	77,6%	88,5%	95,7%

D.2.4. Análise de Elementos Terras-Raras

Amostra	PC1	PC2	PC3
G4	-1.61	0.59	-1.03
G5A	1.87	-0.42	1.50
G5B	2.19	-3.43	-0.35
G6E	2.67	1.59	-1.69
G7C	-3.64	0.52	1.17
G7E	2.56	1.75	1.01
G7F	-4.03	-0.60	-0.61

Vetor	9.02	3.09	1.51
Percentual da variabilidade explicado	64,4%	86,5%	97,3%

D.2.5. Análise da Composição Global (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4
G5A	-1.42	-0.62	4.54	-1.29
G5B	6.61	-2.01	1.14	1.02
G6E	-1.71	-3.09	-2.66	-1.62
G7C	-3.39	4.36	0.72	1.00
G7E	-3.20	-2.80	-1.35	1.69
G7F	3.11	4.17	-2.40	-0.81

Autovalores	16.00	11.65	7.43	1.96
Percentual da variabilidade explicado	42,1%	72,8%	92,3%	97,5%

D.2.6. Análise de Elementos Maiores (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2
G5A	-2.25	-1.27
G5B	3.67	0.60
G6E	-0.69	1.15
G7C	-1.95	-0.70
G7E	-1.41	1.55
G7F	2.62	-1.33

Autovalores	6.32	1.59
Percentual da variabilidade explicado	70,3%	88,0%

D.2.7. Análise de Elementos Traços (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2	PC3
G5A	0.39	3.28	-0.66
G5B	4.55	-0.20	-0.59
G6E	-1.55	-2.43	0.02
G7C	-2.64	1.97	1.10
G7E	-2.33	-1.33	-1.46
G7F	1.58	-1.29	1.57

Autovalores	7.63	4.81	1.32
Percentual da variabilidade explicado	50,8%	82,9%	91,7%

D.2.8. Análise de Elementos Terras-Raras (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2	PC3
G5A	1.47	-0.28	1.34
G5B	1.77	-3.22	-0.21
G6E	2.34	1.47	-1.78
G7C	-3.70	0.73	0.75
G7E	2.13	1.73	0.81
G7F	-4.01	-0.42	-0.91

Autovalores	9.01	3.25	1.41
Percentual da variabilidade explicado	64,4%	87,6%	97,7%

D.3. Feldspato

D.3.1. Análise da Composição Global

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
F2B	-2.66	0.24	0.66	-1.14	-0.36
F4	-0.27	3.59	1.13	-0.42	1.83
F5A	-3.63	-0.25	-1.61	0.53	0.53
F5B	-0.84	0.70	2.08	-1.19	0.80
F6A	-2.30	-1.92	-0.19	-1.60	-0.77
F6B	-3.57	0.00	-0.72	-0.48	-1.14
F6C	-2.62	-1.69	-1.84	-0.24	0.76
F6D	-1.31	1.15	-1.35	1.35	1.32
F6E	-0.39	2.66	1.64	1.84	-0.60
F7A	-2.16	0.36	0.57	1.16	-2.11
F7B	6.14	1.36	-0.33	0.41	-0.92
F7C	2.53	-5.25	2.08	-0.08	0.55
F7E	6.83	1.87	-1.54	-1.91	-0.39
F7F	4.25	-2.84	-0.59	1.76	0.50

Autovalores	12.41	5.35	1.89	1.50	1.15
Percentual da variabilidade explicado	49,6%	71,0%	78,6%	84,6%	89,2%

D.3.2. Análise de Elementos Maiores

Amostra	PC1	PC2	PC3
F2B	-1.55	-0.11	0.34
F4	0.49	-1.60	-0.73
F5A	-2.85	-0.45	-0.46
F5B	0.64	-0.75	-0.22
F6A	-1.11	1.88	-0.18
F6B	-2.53	0.66	0.18
F6C	-1.88	1.12	-1.27
F6D	-1.24	-1.58	-1.36
F6E	-0.12	-1.73	1.74
F7A	-1.83	-0.10	1.72
F7B	4.01	-0.62	0.90
F7C	2.04	1.95	0.47
F7E	4.14	-0.24	-1.41
F7F	1.80	1.57	0.28

Autovalores	5.21	1.60	1.04
Percentual da variabilidade explicado	57,9%	75,7%	87,3%

D.3.3. Análise de Elementos Traços

Amostra	PC1	PC2	PC3
F2B	-2.20	-0.56	1.72
F4	0.05	-2.95	0.12
F5A	-2.44	0.69	-1.19
F5B	-1.13	-0.63	1.49
F6A	-2.02	1.34	0.77
F6B	-2.31	0.20	-0.03
F6C	-2.11	0.76	-0.87
F6D	-0.59	-0.12	-1.54
F6E	0.22	-1.63	-0.92
F7A	-0.86	0.02	-0.28
F7B	4.06	-0.11	-0.25
F7C	1.63	2.29	1.01
F7E	4.38	-0.56	0.70
F7F	3.31	1.26	-0.74

Autovalores	5.87	1.70	1.03
Percentual da variabilidade explicado	58,7%	75,8%	86,1%

D.3.4. Análise de Elementos Terras-Raras

Amostra	PC1	PC2
F2B	0.24	-0.59
F4	1.82	-1.33
F5A	-0.04	-0.38
F5B	0.11	-1.47
F6A	-0.26	-0.81
F6B	0.76	-1.02
F6C	-0.95	0.06
F6D	0.43	-0.12
F6E	1.37	-0.93
F7A	0.51	-1.06
F7B	0.87	2.36
F7C	-4.48	-0.30
F7E	1.78	3.53
F7F	-2.16	2.06

Autovalores	2.76	2.34
Percentual da variabilidade explicado	46,0%	85,0%

D.3.5. Análise da Composição Global (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
F5A	-3.79	0.21	-1.48	0.46	0.73
F5B	-1.07	0.78	1.93	-1.60	1.75
F6A	-2.55	-1.58	-0.10	-1.77	-0.71
F6B	-3.77	0.42	-0.36	-0.62	-1.26
F6C	-2.78	-1.26	-1.85	-0.08	0.21
F6D	-1.40	1.58	-1.05	1.26	1.45
F6E	-0.48	2.99	2.11	1.25	-0.18
F7A	-2.31	0.87	1.23	0.74	-1.64
F7B	5.67	1.65	-0.08	0.28	-0.01
F7C	2.17	-5.01	1.63	-0.09	0.44
F7E	6.48	1.94	-1.33	-1.86	-0.42
F7F	3.82	-2.57	-0.64	2.02	-0.35

Autovalores	13.18	5.03	1.94	1.60	1.00
Percentual da variabilidade explicado	52,7%	72,9%	80,6%	87,0%	91,1%

D.3.6. Análise de Elementos Maiores (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2	PC3
F5A	-2.77	-0.52	-0.48
F5B	0.56	-0.78	-0.30
F6A	-1.17	1.64	-0.03
F6B	-2.50	0.37	0.17
F6C	-1.87	1.07	-1.05
F6D	-1.21	-1.49	-1.51
F6E	-0.15	-1.95	1.42
F7A	-1.83	-0.43	1.53
F7B	3.72	-0.94	0.62
F7C	1.80	1.84	0.69
F7E	3.86	-0.30	-1.50
F7F	1.57	1.49	0.44

Autovalores	5.31	1.61	1.04
Percentual da variabilidade explicado	59,0%	76,8%	88,4%

D.3.7. Análise de Elementos Traços (Caldeirões)

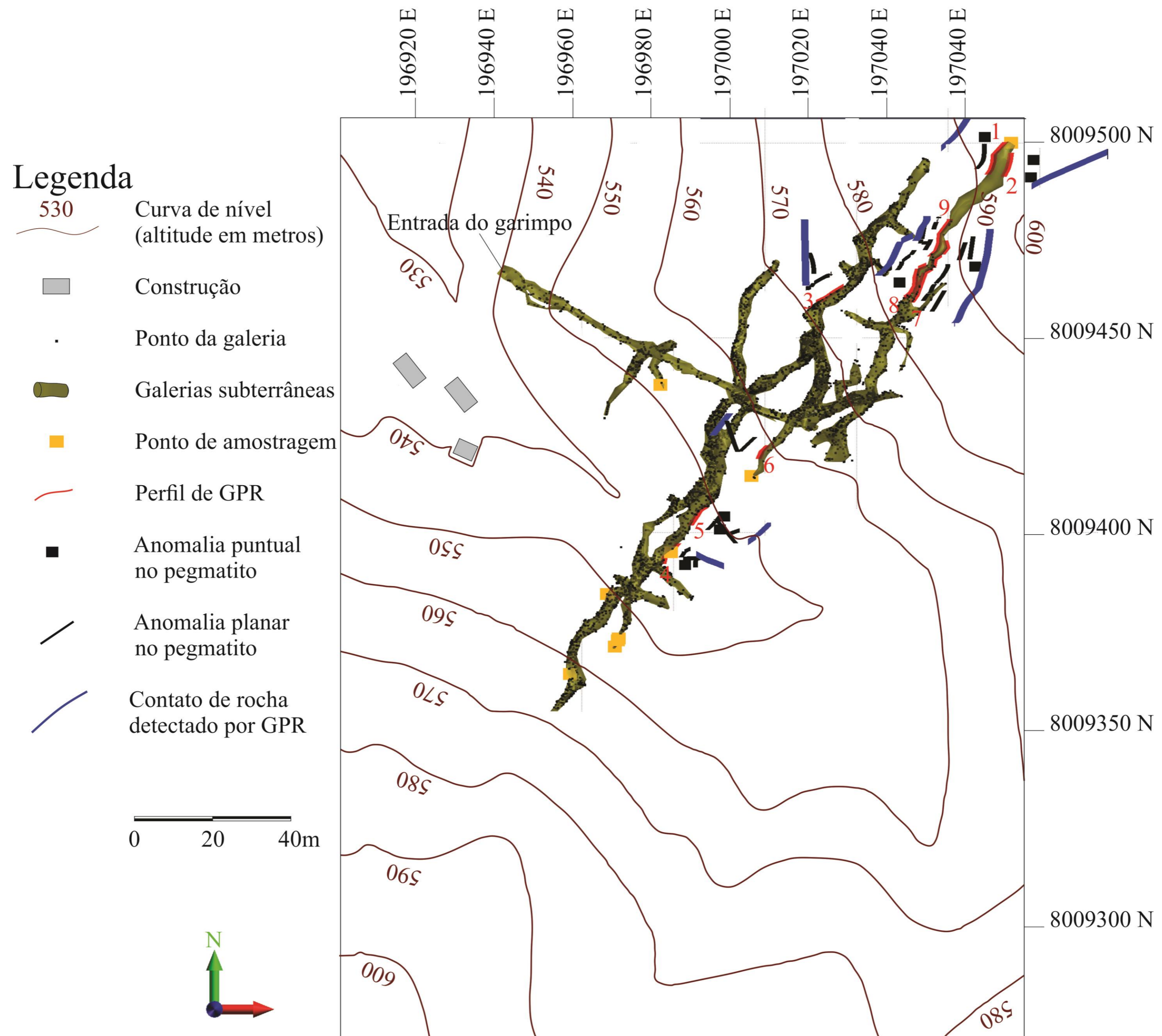
Amostra	PC1	PC2
F5A	-2.72	-0.18
F5B	-1.34	0.23
F6A	-2.21	-1.38
F6B	-2.49	0.06
F6C	-2.26	-0.21
F6D	-0.66	1.00
F6E	0.24	2.32
F7A	-0.97	0.60
F7B	3.77	0.25
F7C	1.39	-2.26
F7E	4.24	0.49
F7F	3.00	-0.91

Autovalores	6.35	1.36
Percentual da variabilidade explicado	63,5%	77,2%

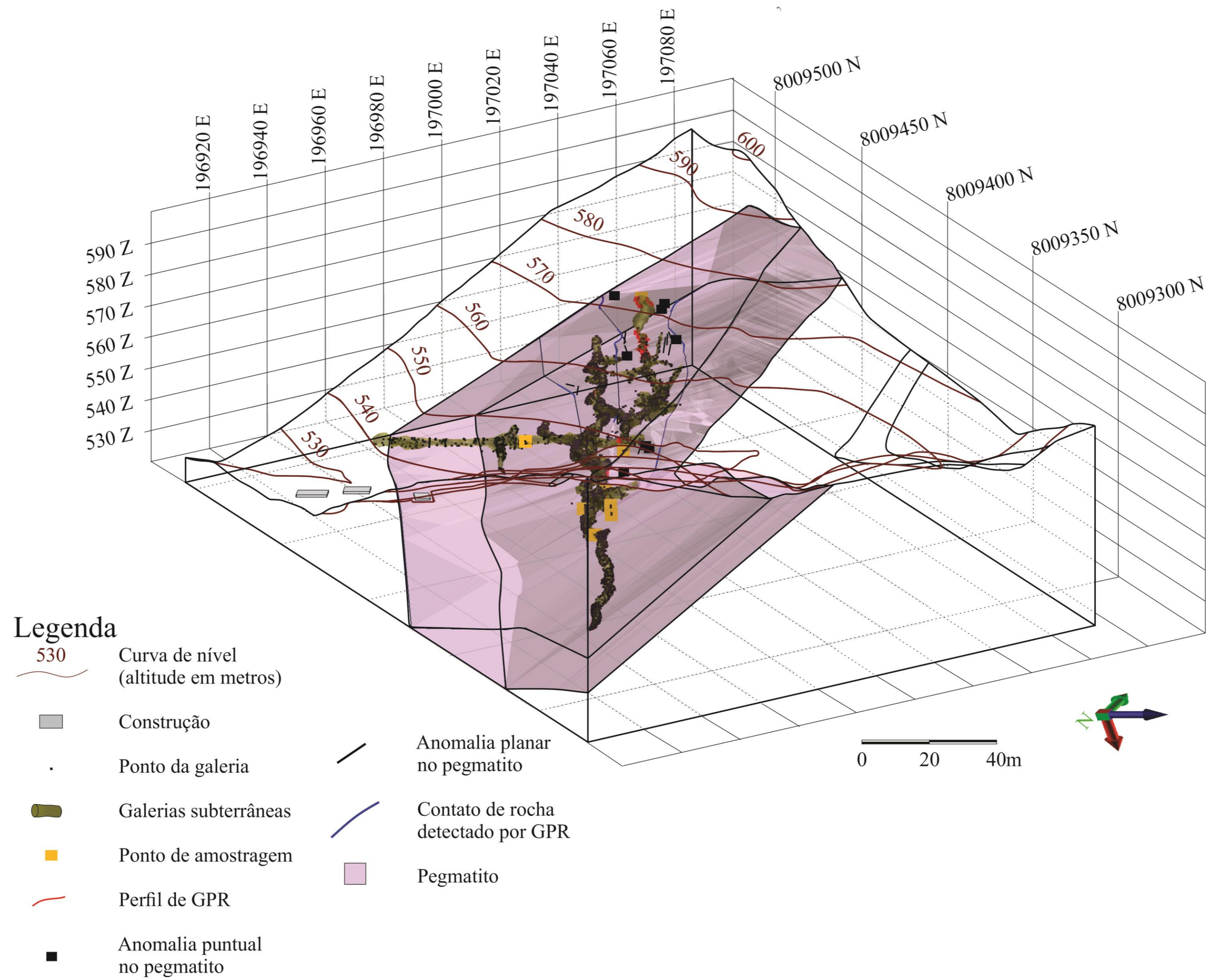
D.3.8. Análise de Elementos Terras-Raras (Caldeirões)

Amostra	PC1	PC2
F5A	-0.02	-0.55
F5B	-0.18	-1.57
F6A	-0.35	-0.86
F6B	0.50	-1.43
F6C	-0.72	0.13
F6D	0.46	-0.51
F6E	1.09	-1.55
F7A	0.28	-1.37
F7B	1.55	1.72
F7C	-4.00	1.00
F7E	2.66	2.61
F7F	-1.27	2.40

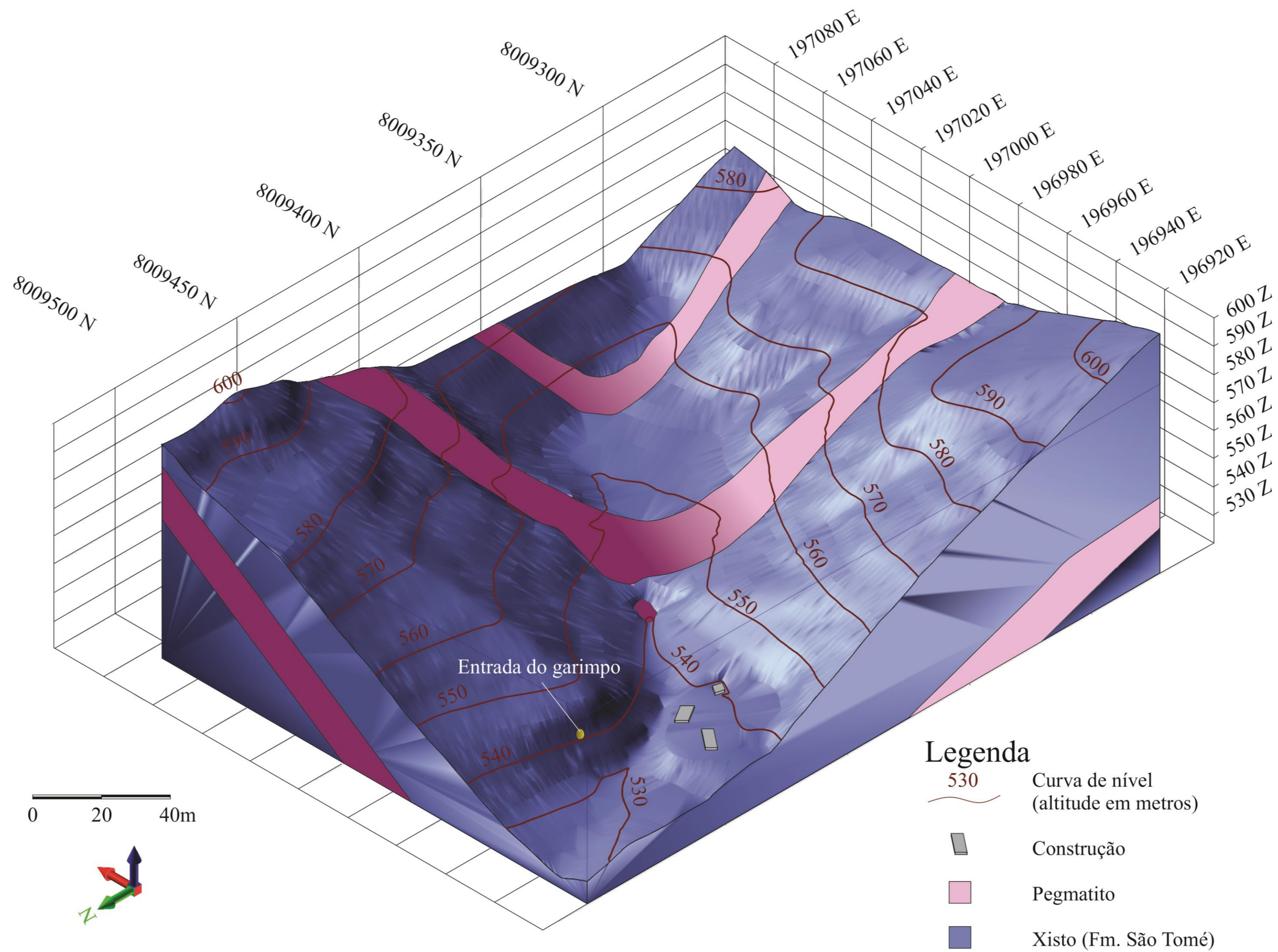
Autovalores	2.68	2.42
Percentual da variabilidade explicado	44,7%	85,1%



APÊNDICE F – MODELO DIGITAL DO PEGMATITO SANTA ROSA



APÊNDICE G – BLOCO DIAGRAMA DO ENTORNO DO GARIMPO DO DISTRITO DE ANTÔNIO FERREIRA



ANEXO A – TABELA DE ANÁLISES QUÍMICAS – ICP

A.1. Turmalina

Amostra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %	MnO %	Na ₂ O %	P ₂ O ₅ %
T1A	37.91	32.9	0.11	<0,01	15.44	0.03	2.2	0.15	1.9	<0,01
T1B	38.09	35.03	0.11	<0,01	17.39	0.04	1.73	0.22	1.98	<0,01
T2A	38.86	34.08	0.11	<0,01	15.85	0.03	2.08	0.16	1.76	<0,01
T3	44.39	31.13	0.09	<0,01	12.61	0.06	1.45	0.12	1.6	<0,01
T4	35.51	32.32	0.09	<0,01	16.51	0.06	0.84	0.26	1.76	<0,01
T5A	38.93	34.39	0.1	<0,01	15.94	0.04	1.5	0.2	1.78	<0,01
T6A	40.03	34.34	0.1	<0,01	14.42	0.17	2.06	0.12	1.71	<0,01
T6C	38.9	34.77	0.11	<0,01	15.72	0.04	2.02	0.13	1.82	<0,01
T6E	39.37	34.73	0.11	<0,01	16.19	0.03	1.26	0.22	1.55	<0,01
T7A	34.82	31.2	0.14	<0,01	15.06	0.09	1.76	0.19	1.69	0.02
T7B	34.95	32.12	0.09	<0,01	14.61	0.03	2.08	0.16	1.63	<0,01
T7C	35.05	31.88	0.09	<0,01	15.82	0.04	1.49	0.26	1.74	0.04
T7E	34.47	31.22	0.06	<0,01	15.74	0.04	1.18	0.24	1.59	<0,01
T7F	35.87	30.91	0.12	<0,01	15	0.07	2.21	0.4	1.79	0.01
T8	41.41	33.89	0.1	<0,01	13.82	0.07	1.51	0.18	1.83	<0,01
T9	49.19	27.82	0.09	<0,01	11.75	0.07	0.94	0.16	1.52	<0,01

Amostra	TiO ₂ %	LOI %	Sum %	Ba ppm	Sr ppm	Zn ppm	Zr ppm	V ppm	Ce ppm	Co ppm
T1A	0.28	2.09	92.99	<10	<10	1257	53	10	6.1	2
T1B	0.26	2	96.83	<10	<10	1327	119	10	3.2	0.8
T2A	0.39	2.06	95.39	<10	<10	1292	14	29	2.8	6.3
T3	0.33	I.S.	I.S.	<10	<10	1926	<10	8	2.3	2.3
T4	0.15	I.S.	N.A.	<10	<10	2062	29	19	1.9	0.7
T5A	0.24	2	95.13	<10	<10	1485	12	11	4.7	1.5
T6A	0.21	2.41	95.57	<10	<10	1315	27	10	1.9	2.7
T6C	0.27	2.04	95.82	12	<10	1326	358	<5	2.9	1.8
T6E	0.13	2	95.59	<10	<10	1117	<10	7	2.4	0.5
T7A	0.22	I.S.	N.A.	<10	<10	1227	<10	6	2.1	2
T7B	0.18	I.S.	N.A.	<10	<10	936	<10	13	3.3	1.1
T7C	0.2	I.S.	N.A.	15	<10	1285	19	17	2	1.4
T7E	0.15	I.S.	N.A.	<10	<10	1256	<10	7	2.4	1.1
T7F	0.27	I.S.	N.A.	<10	<10	1061	19	13	2.5	2.9
T8	0.22	2.8	95.79	<10	<10	1066	<10	24	3.4	0.6
T9	0.16	I.S.	I.S.	<10	<10	1974	<10	<5	1.5	1.2

Amostra	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm
T1A	1.72	<5	0.26	0.11	<0,05	85.9	0.37	1.75	<0,05	8.7
T1B	0.29	<5	0.09	<0,05	<0,05	88.7	0.08	2.15	<0,05	6.5
T2A	0.09	<5	0.08	<0,05	<0,05	87.9	0.09	0.19	<0,05	8.9
T3	1.81	<5	0.1	0.06	<0,05	90	0.11	0.61	<0,05	4.1
T4	0.98	<5	0.09	0.06	<0,05	77	0.1	0.6	<0,05	6.6
T5A	1.39	<5	0.08	<0,05	<0,05	100.6	0.11	0.16	<0,05	5.5
T6A	1.42	<5	<0,05	<0,05	<0,05	81.6	0.08	0.51	<0,05	5.3
T6C	1.01	<5	0.23	0.18	<0,05	87.5	0.13	8.11	<0,05	4.2
T6E	0.86	<5	0.11	0.06	<0,05	80.8	0.09	0.25	<0,05	6
T7A	1.01	18	0.06	<0,05	<0,05	84.3	0.11	0.07	<0,05	5.1
T7B	0.24	<5	0.18	0.09	<0,05	72.4	0.13	0.07	<0,05	6.5
T7C	1.08	<5	0.2	0.09	<0,05	85	0.1	0.53	<0,05	6.5
T7E	0.63	<5	0.11	0.06	<0,05	80.2	0.14	0.11	<0,05	4.8
T7F	0.97	<5	0.27	0.21	<0,05	79.7	0.11	0.4	0.05	6.6
T8	0.27	<5	0.16	0.11	<0,05	74.7	0.17	0.19	<0,05	8
T9	2.4	6	0.08	<0,05	<0,05	67.4	0.09	0.17	<0,05	2.6

Amostra	Lu ppm	Mo ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sm ppm	Sn ppm	Ta ppm
T1A	<0,05	<2	2.3	2	6	0.63	0.7	0.4	10.2	0.4
T1B	<0,05	<2	2.34	0.8	7	0.24	0.5	0.1	12.2	<0,05
T2A	<0,05	<2	2.02	0.6	16	0.2	0.4	<0,1	10.5	0.05
T3	<0,05	<2	2.73	0.6	<5	0.18	1.6	<0,1	21.2	0.7
T4	<0,05	<2	1.77	0.4	14	0.13	2.1	<0,1	21.6	0.34
T5A	<0,05	<2	3.1	1	6	0.3	0.9	0.2	16.3	0.28
T6A	<0,05	<2	4.4	0.6	6	0.16	18.8	<0,1	13.2	0.38
T6C	<0,05	<2	1.8	0.8	7	0.2	1.9	0.2	9.4	<0,05
T6E	<0,05	<2	1.82	0.6	6	0.16	0.8	<0,1	10	<0,05
T7A	<0,05	<2	1.49	0.5	20	0.16	4.9	<0,1	12	0.17
T7B	<0,05	<2	1.79	1	7	0.25	0.8	0.1	6.7	<0,05
T7C	<0,05	<2	2.15	0.5	7	0.17	1.5	<0,1	11.1	0.16
T7E	<0,05	<2	2.05	0.6	6	0.18	1.7	<0,1	10.6	0.07
T7F	<0,05	<2	1.28	0.7	10	0.18	3.6	0.1	9.1	0.1
T8	<0,05	<2	0.82	0.9	<5	0.27	1.1	<0,1	10.6	0.26
T9	<0,05	<2	1.41	0.4	<5	0.13	1.8	<0,1	18.4	0.55

Amostra	Tb ppm	Th ppm	Tl ppm	Tm ppm	U ppm	W ppm	Y ppm	Yb ppm
T1A	0.05	0.8	<0,5	<0,05	7.07	1.8	1.26	0.2
T1B	<0,05	0.3	<0,5	<0,05	0.52	2.3	0.44	<0,1
T2A	<0,05	0.2	<0,5	<0,05	3.91	4	0.45	<0,1
T3	<0,05	3.5	0.7	<0,05	0.21	4.1	0.64	<0,1
T4	<0,05	0.2	<0,5	<0,05	8.6	1.5	0.64	<0,1
T5A	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	0.18	0.9	0.38	<0,1
T6A	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	0.15	1.1	0.34	<0,1
T6C	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	3.23	1.8	1.64	0.3
T6E	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	7.97	1.7	0.58	<0,1
T7A	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	12.61	1.7	0.39	<0,1
T7B	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	0.89	1.9	1.09	<0,1
T7C	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	16.2	4.6	1.2	0.2
T7E	<0,05	0.2	<0,5	<0,05	7.43	1.9	0.73	<0,1
T7F	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	26.91	2	2.18	0.3
T8	<0,05	1	<0,5	<0,05	0.73	1.6	1.08	<0,1
T9	<0,05	<0,1	<0,5	0.05	13.11	1.3	0.54	<0,1

A.2. Granada

Amostra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %	MnO %	Na ₂ O %	P ₂ O ₅ %
G1A	35.03	18.73	0.28	<0,01	29.85	<0,01	0.25	>10	0.02	0.33
G1B	38.71	19.21	0.32	<0,01	30.17	0.03	0.27	>10	0.03	0.38
G4	36.79	18.45	0.23	<0,01	31.75	0.02	0.47	>10	0.03	0.18
G5A	37.03	18.33	0.19	<0,01	32.6	0.04	0.37	>10	0.02	0.23
G5B	36.97	18.15	0.2	<0,01	31.85	0.02	0.39	>10	0.03	0.21
G6E	38.17	19.29	0.24	<0,01	31.33	<0,01	0.34	>10	0.03	0.34
G7C	38.7	19.59	0.25	<0,01	32.16	0.03	0.34	>10	0.02	0.3
G7E	36.82	18.51	0.26	<0,01	29.04	<0,01	0.25	>10	0.02	0.38
G7F	41.68	18.67	0.27	<0,01	30.47	<0,01	0.4	>10	0.02	0.23

Amostra	TiO ₂ %	LOI %	Sum %	Ba ppm	Sr ppm	Zn ppm	Zr ppm	V ppm	Ce ppm	Co ppm
G1A	0.03	<0,01	96.29	<10	<10	125	23	10	1.6	<0,5
G1B	0.01	I.S.	N.A.	12	<10	209	41	10	3.2	1
G4	0.01	I.S.	N.A.	<10	<10	182	36	21	2.3	1.6
G5A	0.02	I.S.	N.A.	<10	<10	218	81	11	2.5	0.9
G5B	0.02	I.S.	N.A.	<10	<10	175	14	16	1.2	0.9
G6E	0.03	I.S.	N.A.	<10	<10	165	57	25	2	0.7
G7C	0.02	I.S.	N.A.	<10	<10	181	67	6	5.5	0.7
G7E	0.03	I.S.	N.A.	<10	<10	158	56	13	2.2	0.7
G7F	0.01	I.S.	N.A.	191	<10	173	29	18	3.4	1

Amostra	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm
G1A	3.58	<5	22.66	25.85	<0,05	47.9	2.25	0.73	5.44	4.9
G1B	4.83	<5	8.87	8.2	<0,05	44.1	1.29	1.72	1.99	6.3
G4	0.4	<5	13.07	9.83	<0,05	37.3	1.61	1.65	2.61	6
G5A	38.15	<5	25.25	18.76	<0,05	40.6	3.01	3.13	5.01	4.8
G5B	6.6	<5	18.06	9.73	<0,05	38.9	2.6	0.43	3.06	4.8
G6E	0.28	<5	19.76	18.86	<0,05	49.8	2.16	2.2	4.44	5.6
G7C	39.86	<5	16.38	11.62	<0,05	46.2	2.33	2.94	3.13	6.5
G7E	0.44	<5	20.11	21.11	<0,05	51.5	2.2	2.24	4.65	4.9
G7F	1.26	<5	10.51	6.68	<0,05	40.5	1.52	0.96	1.86	6.6

Amostra	Lu ppm	Mo ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sm ppm	Sn ppm	Ta ppm
G1A	10.02	<2	1.11	0.4	7	0.09	1	0.4	14.3	0.53
G1B	2.05	<2	1.09	1.2	7	0.29	5.7	0.4	10.8	0.47
G4	2.51	<2	2.23	0.8	9	0.19	2.4	0.3	3.8	0.56
G5A	4.49	<2	0.6	0.9	8	0.27	13	0.5	3.3	<0,05
G5B	1.54	<2	0.25	0.4	6	0.08	4	0.3	3	<0,05
G6E	5.8	<2	4.64	0.5	6	0.15	0.5	0.3	16	2.07
G7C	2.6	<2	1.83	1.4	<5	0.47	5.2	0.6	9.8	0.78
G7E	7.3	<2	4.54	0.7	6	0.2	0.7	0.5	18.9	2.15
G7F	1.34	<2	1.5	0.8	<5	0.25	2	0.3	5.2	0.12

Amostra	Tb ppm	Th ppm	Tl ppm	Tm ppm	U ppm	W ppm	Y ppm	Yb ppm
G1A	1.61	<0,1	<0,5	6.84	0.74	3.1	232.31	75.5
G1B	0.71	<0,1	<0,5	1.87	4.23	1.9	88.17	17.6
G4	1.09	0.2	<0,5	2.16	12.04	3.1	112.06	20.6
G5A	2.11	0.3	<0,5	4.05	26.61	2.1	194.3	38.6
G5B	1.67	<0,1	<0,5	1.88	5.64	1.9	126.3	15.4
G6E	1.54	1.3	0.5	4.63	8.39	2.3	192.82	47.7
G7C	1.41	1.8	<0,5	2.58	30.85	1.6	144.57	23.6
G7E	1.49	0.3	<0,5	5.46	20.84	1.2	196.16	57.4
G7F	0.97	0.6	<0,5	1.34	5.06	1.8	88.16	12.2

A.3. Feldspato

Amostra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %	MnO %	Na ₂ O %	P ₂ O ₅ %
F1A	68.86	19.1	0.73	<0,01	0.05	0.83	<0,01	0.01	10.54	0.56
F1B	66.88	18.71	0.64	<0,01	0.11	0.97	0.02	0.02	10.06	0.47
F2B	66.68	19.11	0.2	<0,01	0.05	8.31	<0,01	<0,01	6.34	0.39
F4	68.47	16.15	0.53	<0,01	0.06	0.56	0.02	<0,01	8.76	0.34
F5A	62.87	17.41	0.19	<0,01	0.04	8.29	0.01	<0,01	4.9	0.47
F5B	70.8	14.49	0.4	<0,01	0.04	1.42	0.02	<0,01	7.46	0.32
F6A	68.66	18.6	0.04	<0,01	0.06	11.47	0.02	<0,01	2.67	0.43
F6B	67.09	19.29	0.05	<0,01	0.04	11.55	<0,01	<0,01	2.71	0.36
F6C	66.21	19.11	0.25	<0,01	0.15	11.57	0.03	<0,01	2.54	0.71
F6D	70.54	19.69	0.27	<0,01	0.08	2.59	0.02	0.01	8.56	0.21
F6E	70.27	18.15	0.58	<0,01	<0,01	1.34	<0,01	<0,01	9.76	0.37
F7A	65.91	18.85	0.14	<0,01	<0,01	10.42	<0,01	<0,01	4.99	0.46
F7B	62.25	16.87	0.45	<0,01	0.05	0.46	0.01	<0,01	9.6	0.31
F7C	63.49	17.82	0.3	<0,01	0.08	6.71	0.03	0.01	6.43	0.42
F7E	66.49	16.24	0.54	<0,01	0.37	0.53	0.06	0.02	8.6	0.32
F7F	64.94	17.24	0.31	<0,01	0.07	7	0.03	<0,01	6.12	0.33

Amostra	TiO ₂ %	LOI %	Sum %	Ba ppm	Sr ppm	Zn ppm	Zr ppm	V ppm	Ce ppm	Co ppm
F1A	<0,01	0.28	100.96	<10	<10	<5	<10	27	2.1	<0,5
F1B	<0,01	0.35	98.25	<10	18	9	75	14	14.7	<0,5
F2B	<0,01	0.51	101.6	28	16	<5	<10	<5	1.9	<0,5
F4	<0,01	0.21	95.11	<10	<10	<5	24	18	2.4	<0,5
F5A	<0,01	0.95	95.14	<10	<10	<5	12	21	2.4	<0,5
F5B	<0,01	0.15	95.11	<10	<10	<5	32	<5	1	<0,5
F6A	<0,01	0.31	102.26	20	11	<5	<10	<5	1.3	<0,5
F6B	<0,01	0.37	101.49	30	20	<5	<10	6	2.1	<0,5
F6C	<0,01	0.75	101.34	12	42	<5	<10	16	1.9	<0,5
F6D	<0,01	0.34	102.31	<10	<10	8	<10	26	2	0.5
F6E	<0,01	0.2	100.68	<10	<10	<5	<10	17	1.8	0.7
F7A	<0,01	0.14	100.87	<10	<10	<5	16	10	1.5	<0,5
F7B	<0,01	I.S.	N.A.	<10	<10	6	26	14	1.3	<0,5
F7C	<0,01	0.28	95.58	<10	<10	<5	<10	<5	0.5	<0,5
F7E	<0,01	I.S.	N.A.	<10	<10	24	11	6	4.4	<0,5
F7F	<0,01	0.2	96.23	15	<10	9	36	11	1.2	<0,5

Amostra	Cs ppm	Cu ppm	Dy ppm	Er ppm	Eu ppm	Ga ppm	Gd ppm	Hf ppm	Ho ppm	La ppm
F1A	10.13	<5	0.11	<0,05	<0,05	24.1	0.08	0.18	<0,05	8.3
F1B	8.57	23	1.17	0.42	0.1	23.6	1.15	3.03	0.16	13.1
F2B	13.48	<5	0.09	0.05	<0,05	18.2	0.09	2.52	<0,05	5.5
F4	2.95	<5	0.13	0.06	<0,05	19.6	0.15	0.82	<0,05	5.3
F5A	199.88	<5	0.11	0.06	<0,05	19.1	0.18	0.45	<0,05	7.9
F5B	13.32	28	0.11	<0,05	<0,05	16.4	<0,05	0.96	<0,05	3.1
F6A	43.1	<5	0.07	<0,05	<0,05	16.7	0.08	0.22	<0,05	3.8
F6B	35.43	<5	0.1	0.06	<0,05	12.8	0.1	0.78	<0,05	5.2
F6C	58.94	<5	0.06	<0,05	<0,05	18.4	0.08	0.41	<0,05	7.8
F6D	32.31	<5	0.1	0.06	<0,05	16.6	0.11	0.3	<0,05	9.3
F6E	4.99	<5	0.12	<0,05	<0,05	13.6	0.1	0.3	<0,05	5.6
F7A	14.96	<5	0.11	0.08	<0,05	12.5	0.12	0.93	<0,05	5.3
F7B	5.98	<5	<0,05	<0,05	<0,05	18.3	<0,05	<0,05	<0,05	6.5
F7C	16.14	<5	<0,05	<0,05	<0,05	17.5	<0,05	<0,05	<0,05	1.8
F7E	1.65	<5	<0,05	<0,05	<0,05	18.8	<0,05	<0,05	<0,05	7.2
F7F	5.96	<5	<0,05	<0,05	<0,05	14.5	<0,05	<0,05	<0,05	5.9

Amostra	Lu ppm	Mo ppm	Nb ppm	Nd ppm	Ni ppm	Pr ppm	Rb ppm	Sm ppm	Sn ppm	Ta ppm
F1A	<0,05	<2	1.36	0.5	9	0.11	20.6	<0,1	6.3	0.3
F1B	<0,05	<2	1.48	4.8	6	1.4	54.7	1.2	6.8	0.35
F2B	<0,05	<2	2.46	0.5	8	0.14	428.2	<0,1	6.6	0.14
F4	<0,05	<2	1.62	0.7	10	0.27	20	0.2	4.7	0.22
F5A	<0,05	<2	5.36	0.7	10	0.17	704.5	0.1	9.9	1.5
F5B	<0,05	<2	0.7	0.3	7	0.07	97.4	<0,1	5.2	0.38
F6A	<0,05	<2	1.21	0.5	7	0.1	808.6	<0,1	8.7	<0,05
F6B	<0,05	<2	3.74	0.8	9	0.21	680.1	0.1	7.9	1.03
F6C	<0,05	<2	2.11	0.5	10	0.17	1087.4	<0,1	12.1	0.42
F6D	<0,05	<2	1.98	0.5	11	0.16	183.3	<0,1	6	0.38
F6E	<0,05	<2	1.96	0.6	14	0.15	48.4	0.1	9.7	0.56
F7A	<0,05	<2	1.14	0.6	10	0.14	591.1	<0,1	7.5	0.25
F7B	<0,05	<2	<0,05	0.2	7	<0,05	20.1	<0,1	0.8	<0,05
F7C	<0,05	<2	<0,05	<0,1	7	<0,05	499.8	<0,1	3.8	<0,05
F7E	<0,05	<2	<0,05	1	11	<0,05	18.1	<0,1	1.1	<0,05
F7F	<0,05	<2	<0,05	<0,1	11	<0,05	348.2	<0,1	0.4	<0,05

Amostra	Tb ppm	Th ppm	Tl ppm	Tm ppm	U ppm	W ppm	Y ppm	Yb ppm
F1A	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	5.42	3.1	0.63	<0,1
F1B	0.19	2.1	<0,5	0.06	12.22	1.8	6.79	0.4
F2B	<0,05	0.1	<0,5	<0,05	3.79	1.6	0.64	<0,1
F4	<0,05	0.2	<0,5	<0,05	5.9	1	0.64	<0,1
F5A	<0,05	<0,1	0.6	<0,05	2.69	2.2	0.64	<0,1
F5B	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	3.55	1.7	0.66	<0,1
F6A	<0,05	<0,1	1.4	<0,05	0.89	2.7	0.32	<0,1
F6B	<0,05	1.4	1.3	<0,05	2.27	2.5	0.48	<0,1
F6C	<0,05	0.8	1.7	<0,05	1.2	4.5	0.5	<0,1
F6D	<0,05	0.5	0.5	<0,05	2.1	9.8	0.8	<0,1
F6E	<0,05	0.4	<0,5	<0,05	2.54	7	0.65	<0,1
F7A	<0,05	0.4	0.6	<0,05	8.2	9.4	0.66	<0,1
F7B	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	58.74	5.7	0.58	<0,1
F7C	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	9.06	8.7	<0,05	<0,1
F7E	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	48.45	10.8	0.37	<0,1
F7F	<0,05	<0,1	<0,5	<0,05	5.53	7.1	0.12	<0,1

ANEXO B – TABELA DE ANÁLISES QUÍMICAS – MICROSSONDA ELETRÔNICA

B.1. Turmalina

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
1 T1A - G1	33.66	1.68	0.26	0.04	32.85	0.01	0.00	0.04
2 T1A - G1	34.57	1.79	0.34	0.02	33.75	0.64	0.02	0.05
3 T1A - G1	49.02	0.01	0.07	0.06	39.42	0.28	0.00	4.13
4 T1A - G1	34.48	1.62	0.25	0.02	34.08	0.34	0.01	0.03
5 T1A - G1	35.04	1.64	0.22	0.00	33.95	0.20	0.00	0.04
6 T1A - G1	33.96	1.71	0.19	0.01	34.12	0.84	0.01	0.05
7 T1A - G1	33.44	1.67	0.23	0.00	33.86	0.44	0.00	0.03
8 T1A - G1	33.62	1.62	0.18	0.00	33.97	0.25	0.00	0.04
1 T1A - G2	35.25	1.71	0.42	0.00	34.51	0.00	0.00	0.04
2 T1A - G2	35.39	1.68	0.32	0.04	34.63	0.30	0.00	0.02
3 T1A - G2	35.24	1.67	0.37	0.00	34.75	0.27	0.00	0.05
4 T1A - G2	35.24	1.68	0.37	0.00	34.57	0.37	0.01	0.05
5 T1A - G2	35.11	1.67	0.28	0.03	33.84	0.00	0.00	0.04
6 T1A - G2	35.34	1.78	0.27	0.02	34.01	0.54	0.02	0.05
7 T1A - G2	35.13	1.83	0.36	0.00	34.10	0.11	0.02	0.04
8 T1A - G2	34.45	1.82	0.46	0.01	34.16	0.46	0.01	0.06
9 T1A - G2	35.19	1.79	0.42	0.03	34.07	0.32	0.02	0.05
10 T1A - G2	35.10	1.75	0.30	0.00	34.03	0.22	0.02	0.04
11 T1A - G2	34.60	1.73	0.37	0.00	34.14	0.47	0.02	0.02
12 T1A - G2	34.09	1.75	0.39	0.00	33.74	0.49	0.00	0.03
13 T1A - G2	35.30	1.84	0.36	0.05	33.29	0.67	0.02	0.03
T1A - Inc. 1	33.67	1.58	0.06	0.02	35.30	0.28	0.02	0.04
T1A - Inc. 2	34.52	1.69	0.14	0.00	35.02	0.12	0.03	0.04
T1A - Inc. 3	34.68	1.66	0.08	0.03	34.71	0.32	0.00	0.05
1 T1B - G1	35.06	1.71	0.17	0.01	33.71	0.83	0.00	0.03
2 T1B - G1	35.22	1.66	0.31	0.00	34.80	0.20	0.03	0.02
3 T1B - G1	34.82	1.65	0.30	0.00	35.36	0.31	0.01	0.04
4 T1B - G1	35.37	1.77	0.21	0.03	35.14	0.51	0.01	0.04
5 T1B - G1	35.19	1.64	0.21	0.00	35.34	0.24	0.00	0.05
6 T1B - G1	35.05	1.70	0.19	0.00	35.09	0.00	0.00	0.04
7 T1B - G1	35.42	1.67	0.38	0.01	35.36	0.56	0.00	0.04
8 T1B - G1	35.51	1.56	0.27	0.00	35.57	0.66	0.00	0.05
9 T1B - G1	35.37	1.60	0.21	0.00	35.62	0.60	0.05	0.03
1 T1B - G2	33.68	1.54	0.35	0.00	34.75	0.02	0.01	0.05
2 T1B - G2	33.06	1.47	0.28	0.00	34.65	0.14	0.00	0.03
3 T1B - G2	32.55	1.44	0.34	0.01	34.66	0.53	0.00	0.04
4 T1B - G2	33.27	1.41	0.26	0.02	34.87	0.04	0.00	0.02
5 T1B - G2	33.52	1.49	0.35	0.03	34.94	0.18	0.00	0.05
6 T1B - G2	34.50	1.53	0.20	0.00	35.27	0.34	0.00	0.04
7 T1B - G2	34.61	1.44	0.09	0.00	35.14	0.00	0.00	0.04
8 T1B - G2	35.07	1.58	0.19	0.04	35.32	0.54	0.05	0.05
9 T1B - G2	35.13	1.72	0.18	0.00	35.30	0.32	0.03	0.04
1 T1B - G3	35.54	1.58	0.36	0.00	35.28	0.35	0.00	0.05
2 T1B - G3	35.62	1.55	0.24	0.00	35.79	0.43	0.04	0.06
3 T1B - G3	35.44	1.60	0.31	0.00	35.72	0.18	0.01	0.05
4 T1B - G3	35.48	1.62	0.22	0.02	35.33	0.16	0.00	0.04
5 T1B - G3	35.32	1.53	0.26	0.01	35.04	0.09	0.00	0.06
6 T1B - G3	35.49	1.62	0.37	0.02	35.40	0.32	0.05	0.03
7 T1B - G3	35.12	1.77	0.21	0.07	35.50	0.41	0.00	0.05

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
1 T1A - G1	1.80	0.18	0.07	13.12	83.70
2 T1A - G1	1.98	0.17	0.09	12.72	85.86
3 T1A - G1	0.20	0.01	0.11	0.71	93.90
4 T1A - G1	2.04	0.18	0.08	12.38	85.34
5 T1A - G1	2.11	0.13	0.08	12.10	85.41
6 T1A - G1	1.85	0.19	0.10	12.10	84.77
7 T1A - G1	1.98	0.12	0.10	12.35	84.04
8 T1A - G1	1.98	0.13	0.10	12.36	84.15
1 T1A - G2	2.68	0.11	0.08	11.12	85.92
2 T1A - G2	2.43	0.11	0.09	11.02	85.90
3 T1A - G2	2.27	0.14	0.09	11.67	86.41
4 T1A - G2	2.56	0.08	0.08	11.09	85.95
5 T1A - G2	2.75	0.07	0.12	10.95	84.85
6 T1A - G2	2.87	0.09	0.17	11.68	86.61
7 T1A - G2	2.94	0.08	0.13	11.59	86.30
8 T1A - G2	2.95	0.14	0.13	11.41	85.85
9 T1A - G2	2.87	0.12	0.12	10.89	85.74
10 T1A - G2	2.98	0.07	0.12	11.87	86.41
11 T1A - G2	2.85	0.03	0.13	11.23	85.38
12 T1A - G2	2.86	0.07	0.11	11.35	84.67
13 T1A - G2	2.84	0.08	0.13	11.44	85.76
T1A - Inc. 1	1.67	0.16	0.07	12.31	85.04
T1A - Inc. 2	2.08	0.06	0.14	12.62	86.42
T1A - Inc. 3	1.89	0.17	0.11	11.91	85.47
1 T1B - G1	1.21	0.23	0.09	13.00	85.70
2 T1B - G1	1.17	0.22	0.09	13.83	87.46
3 T1B - G1	1.14	0.19	0.08	13.48	87.24
4 T1B - G1	1.11	0.23	0.06	13.68	87.95
5 T1B - G1	1.13	0.18	0.07	14.17	88.12
6 T1B - G1	1.14	0.22	0.08	13.70	87.19
7 T1B - G1	1.13	0.22	0.08	13.51	88.14
8 T1B - G1	1.19	0.22	0.07	13.80	88.61
9 T1B - G1	1.34	0.25	0.07	13.21	88.11
1 T1B - G2	1.56	0.22	0.08	12.29	84.54
2 T1B - G2	1.51	0.18	0.03	12.86	84.15
3 T1B - G2	1.53	0.21	0.08	12.86	84.02
4 T1B - G2	1.48	0.18	0.10	13.01	84.64
5 T1B - G2	1.52	0.22	0.07	12.81	85.11
6 T1B - G2	1.39	0.25	0.06	13.04	86.48
7 T1B - G2	1.35	0.18	0.06	13.00	85.90
8 T1B - G2	1.41	0.16	0.06	13.35	87.58
9 T1B - G2	1.45	0.26	0.10	13.05	87.45
1 T1B - G3	1.39	0.24	0.08	13.35	88.08
2 T1B - G3	1.39	0.18	0.08	13.46	88.65
3 T1B - G3	1.61	0.22	0.09	13.33	88.48
4 T1B - G3	1.40	0.14	0.10	13.46	87.90
5 T1B - G3	1.58	0.22	0.07	13.04	87.19
6 T1B - G3	1.52	0.25	0.07	13.56	88.57
7 T1B - G3	1.52	0.20	0.07	13.98	88.71

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
8 T1B - G3	35.24	1.65	0.37	0.01	34.94	0.21	0.00	0.05
9 T1B - G3	34.35	1.75	0.09	0.02	34.22	0.17	0.00	0.05
1 T2A - G1	35.32	1.61	0.22	0.00	36.29	0.25	0.02	0.05
2 T2A - G1	34.65	1.68	0.22	0.04	35.07	0.38	0.00	0.03
3 T2A - G1	35.76	1.69	0.23	0.01	36.10	0.32	0.06	0.04
4 T2A - G1	35.68	1.65	0.16	0.01	35.50	0.20	0.00	0.06
5 T2A - G1	35.63	1.59	0.23	0.03	35.71	0.00	0.00	0.04
6 T2A - G1	35.38	1.71	0.13	0.00	36.11	0.05	0.00	0.05
7 T2A - G1	35.59	1.71	0.22	0.01	35.90	0.34	0.00	0.03
8 T2A - G1	35.43	1.60	0.08	0.02	36.19	0.28	0.00	0.04
9 T2A - G1	35.55	1.55	0.23	0.02	36.18	0.00	0.00	0.03
10 T2A - G1	35.93	1.54	0.20	0.00	36.31	0.77	0.05	0.04
11 T2A - G1	35.73	1.54	0.28	0.03	36.37	0.32	0.00	0.06
1 T2A - G2	35.47	1.60	0.21	0.00	35.42	0.25	0.01	0.04
2 T2A - G2	65.60	0.90	0.13	0.06	19.92	0.36	0.00	0.02
3 T2A - G2	34.37	1.60	0.19	0.03	34.60	0.41	0.04	0.04
4 T2A - G2	35.66	1.55	0.13	0.00	36.04	0.00	0.03	0.05
5 T2A - G2	35.65	1.55	0.11	0.02	35.95	0.00	0.02	0.06
6 T2A - G2	35.73	1.63	0.15	0.00	35.93	0.08	0.00	0.03
7 T2A - G2	36.05	1.66	0.20	0.04	35.81	0.00	0.05	0.09
8 T2A - G2	35.88	1.51	0.14	0.02	36.01	0.00	0.04	0.04
9 T2A - G2	35.62	1.63	0.22	0.00	36.16	0.00	0.02	0.04
10 T2A - G2	35.66	1.62	0.28	0.02	36.16	0.42	0.00	0.04
11 T2A - G2	35.66	1.57	0.18	0.00	35.80	0.27	0.00	0.03
12 T2A - G2	35.45	1.68	0.27	0.01	35.56	0.00	0.00	0.06
1 T2A - G3	35.86	1.63	0.30	0.00	36.52	0.13	0.00	0.06
2 T2A - G3	35.12	1.54	0.24	0.02	36.75	0.18	0.02	0.04
3 T2A - G3	34.51	1.58	0.17	0.00	35.10	0.32	0.02	0.05
4 T2A - G3	35.86	1.54	0.21	0.01	36.35	0.30	0.01	0.03
5 T2A - G3	35.83	1.50	0.14	0.00	36.48	0.06	0.04	0.04
6 T2A - G3	35.83	1.59	0.25	0.03	36.20	0.19	0.02	0.04
7 T2A - G3	35.91	1.74	0.12	0.03	35.85	0.23	0.02	0.04
8 T2A - G3	35.90	1.66	0.08	0.00	35.93	0.27	0.00	0.03
9 T2A - G3	35.53	1.60	0.29	0.05	35.81	0.12	0.00	0.05
10 T2A - G3	35.28	1.58	0.21	0.03	35.40	0.69	0.01	0.04
11 T2A - G3	35.22	1.63	0.20	0.02	35.41	0.10	0.04	0.07
12 T2A - G3	35.06	1.58	0.22	0.01	35.68	0.21	0.01	0.04
1 T4 - G1	35.02	1.57	0.23	0.00	35.08	0.30	0.00	0.03
2 T4 - G1	35.19	1.54	0.24	0.00	36.32	0.32	0.01	0.03
3 T4 - G1	35.20	1.57	0.17	0.00	35.79	0.18	0.05	0.05
4 T4 - G1	35.38	1.56	0.24	0.00	35.77	0.20	0.00	0.05
5 T4 - G1	35.67	1.56	0.23	0.01	35.90	0.03	0.00	0.02
6 T4 - G1	35.43	1.61	0.18	0.00	36.00	0.31	0.00	0.05
7 T4 - G1	35.50	1.62	0.25	0.03	36.00	0.39	0.01	0.06
8 T4 - G1	35.11	1.56	0.35	0.00	35.99	0.00	0.00	0.04
9 T4 - G1	35.17	1.51	0.28	0.00	36.05	0.42	0.01	0.04
10 T4 - G1	34.47	1.59	0.26	0.01	36.15	0.42	0.00	0.06
1 T4 - G2	35.43	1.60	0.17	0.00	35.38	0.42	0.00	0.04
2 T4 - G2	35.63	1.63	0.20	0.01	35.42	0.49	0.05	0.03
3 T4 - G2	35.50	1.66	0.17	0.02	35.70	0.37	0.00	0.03

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
8 T1B - G3	1.47	0.24	0.08	13.18	87.34
9 T1B - G3	1.41	0.20	0.08	13.52	85.79
1 T2A - G1	0.77	0.27	0.06	15.27	90.02
2 T2A - G1	1.41	0.19	0.07	13.14	86.73
3 T2A - G1	1.01	0.25	0.04	14.51	89.89
4 T2A - G1	0.95	0.21	0.07	14.43	88.82
5 T2A - G1	0.90	0.31	0.06	14.13	88.63
6 T2A - G1	0.92	0.32	0.08	14.57	89.28
7 T2A - G1	0.90	0.28	0.05	14.12	88.98
8 T2A - G1	0.95	0.24	0.07	13.86	88.64
9 T2A - G1	0.93	0.28	0.08	14.17	89.02
10 T2A - G1	0.85	0.23	0.06	13.96	89.62
11 T2A - G1	0.88	0.29	0.07	14.21	89.65
1 T2A - G2	1.39	0.22	0.08	13.53	88.09
2 T2A - G2	0.55	0.13	0.03	7.99	95.54
3 T2A - G2	0.88	0.28	0.08	14.57	86.89
4 T2A - G2	0.88	0.24	0.05	14.37	88.99
5 T2A - G2	0.89	0.28	0.06	14.13	88.74
6 T2A - G2	0.83	0.28	0.08	13.87	88.57
7 T2A - G2	0.80	0.25	0.07	13.83	88.85
8 T2A - G2	0.88	0.29	0.05	14.05	88.91
9 T2A - G2	0.90	0.28	0.08	14.23	89.18
10 T2A - G2	0.89	0.26	0.07	14.72	89.96
11 T2A - G2	0.90	0.24	0.06	14.43	89.04
12 T2A - G2	1.08	0.21	0.06	14.63	89.00
1 T2A - G3	0.86	0.33	0.05	13.71	89.40
2 T2A - G3	0.82	0.26	0.03	13.60	88.53
3 T2A - G3	0.86	0.24	0.06	13.48	86.24
4 T2A - G3	0.90	0.27	0.06	13.47	88.88
5 T2A - G3	0.87	0.31	0.08	13.30	88.62
6 T2A - G3	1.43	0.20	0.08	14.17	89.94
7 T2A - G3	1.43	0.22	0.09	13.69	89.25
8 T2A - G3	1.40	0.17	0.05	14.08	89.47
9 T2A - G3	1.37	0.27	0.06	13.91	89.00
10 T2A - G3	1.38	0.17	0.08	13.95	88.53
11 T2A - G3	0.84	0.30	0.08	14.60	88.46
12 T2A - G3	0.65	0.30	0.05	14.24	87.97
1 T4 - G1	0.51	0.29	0.03	14.11	87.06
2 T4 - G1	0.46	0.27	0.04	14.70	88.99
3 T4 - G1	0.50	0.25	0.07	14.18	87.93
4 T4 - G1	0.63	0.23	0.02	14.14	88.14
5 T4 - G1	0.81	0.25	0.03	13.74	88.24
6 T4 - G1	0.75	0.23	0.05	13.40	87.87
7 T4 - G1	0.67	0.30	0.03	13.75	88.44
8 T4 - G1	0.67	0.25	0.06	14.32	88.34
9 T4 - G1	0.77	0.21	0.05	13.83	88.15
10 T4 - G1	0.84	0.29	0.07	13.62	87.60
1 T4 - G2	0.50	0.25	0.01	14.06	87.69
2 T4 - G2	0.51	0.27	0.04	13.91	87.97
3 T4 - G2	0.55	0.24	0.02	14.32	88.42

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
4 T4 - G2	35.50	1.64	0.18	0.01	35.76	0.14	0.00	0.06
5 T4 - G2	35.15	1.60	0.11	0.05	35.67	0.13	0.00	0.03
6 T4 - G2	34.86	1.60	0.30	0.00	35.54	0.23	0.03	0.04
7 T4 - G2	34.39	1.65	0.23	0.02	35.60	0.04	0.02	0.07
8 T4 - G2	34.26	1.61	0.16	0.03	35.59	0.00	0.00	0.05
9 T4 - G2	33.52	1.38	0.13	0.00	35.46	0.51	0.00	0.04
10 T4 - G2	32.81	1.48	0.28	0.04	34.97	0.45	0.01	0.06
1 T4 - G3	34.90	1.67	0.17	0.02	34.79	0.70	0.04	0.04
2 T4 - G3	34.65	1.59	0.15	0.00	35.82	0.08	0.04	0.05
3 T4 - G3	35.51	1.70	0.23	0.00	35.44	0.42	0.00	0.05
4 T4 - G3	35.18	1.62	0.00	0.03	36.49	0.26	0.00	0.02
5 T4 - G3	35.35	1.58	0.02	0.00	36.45	0.07	0.04	0.02
6 T4 - G3	35.09	1.62	0.00	0.01	36.56	0.00	0.01	0.04
7 T4 - G3	35.07	1.57	0.00	0.00	36.52	0.37	0.01	0.05
8 T4 - G3	34.60	1.58	0.00	0.02	36.82	0.01	0.00	0.03
9 T4 - G3	35.08	1.56	0.06	0.02	36.79	0.66	0.00	0.04
10 T4 - G3	35.34	1.63	0.04	0.01	36.87	0.72	0.00	0.03
1 T5A - G1	33.78	1.56	0.24	0.04	34.34	0.47	0.00	0.04
2 T5A - G1	32.11	1.66	0.13	0.08	33.60	0.39	0.00	0.04
3 T5A - G1	34.77	1.56	0.27	0.02	34.82	0.16	0.00	0.04
4 T5A - G1	34.70	1.68	0.31	0.03	34.56	0.49	0.01	0.04
5 T5A - G1	34.67	1.61	0.21	0.00	34.62	0.40	0.00	0.04
6 T5A - G1	33.96	1.39	0.17	0.00	34.78	0.00	0.00	0.03
7 T5A - G1	33.17	1.40	0.01	0.04	34.25	0.14	0.01	0.03
8 T5A - G1	34.69	1.30	0.10	0.03	34.77	0.32	0.01	0.03
9 T5A - G1	34.08	1.41	0.18	0.03	34.82	0.00	0.01	0.04
10 T5A - G1	34.88	1.38	0.04	0.03	35.25	0.21	0.00	0.05
1 T5A - G2	35.13	1.42	0.09	0.00	35.52	0.02	0.00	0.03
2 T5A - G2	34.81	1.40	0.19	0.07	35.43	0.14	0.00	0.04
3 T5A - G2	35.00	1.44	0.13	0.04	35.27	0.07	0.00	0.05
4 T5A - G2	34.93	1.38	0.04	0.02	35.11	0.00	0.01	0.04
5 T5A - G2	34.86	1.39	0.11	0.07	35.18	0.25	0.00	0.04
6 T5A - G2	33.89	1.47	0.05	0.05	34.31	0.00	0.00	0.03
7 T5A - G2	35.26	1.34	0.00	0.05	35.26	0.01	0.00	0.03
8 T5A - G2	35.33	1.33	0.05	0.04	35.71	0.43	0.00	0.03
9 T5A - G2	35.35	1.47	0.13	0.06	35.75	0.36	0.02	0.03
10 T5A - G2	34.63	1.33	0.16	0.01	35.31	0.35	0.00	0.03
1 T5A - G3	34.07	1.57	0.17	0.00	34.43	0.15	0.01	0.05
2 T5A - G3	35.24	1.49	0.21	0.00	34.64	0.01	0.04	0.04
3 T5A - G3	34.67	1.54	0.26	0.02	34.78	0.41	0.00	0.03
4 T5A - G3	35.10	1.44	0.36	0.03	35.31	0.59	0.00	0.04
5 T5A - G3	34.02	1.53	0.11	0.00	34.68	0.88	0.03	0.04
6 T5A - G3	35.04	1.50	0.21	0.02	35.09	0.00	0.01	0.03
7 T5A - G3	34.75	1.62	0.15	0.12	35.08	0.02	0.03	0.05
8 T5A - G3	35.00	1.50	0.12	0.03	35.09	0.07	0.01	0.04
9 T5A - G3	34.63	1.61	0.35	0.01	35.12	0.47	0.02	0.05
10 T5A - G3	34.16	1.44	0.26	0.00	34.86	0.55	0.02	0.05
1 T6A - G1	28.32	1.29	0.13	0.00	32.50	0.35	0.00	0.04
2 T6A - G1	29.41	1.37	0.13	0.03	33.54	0.00	0.02	0.02
3 T6A - G1	30.52	1.37	0.16	0.00	34.17	0.00	0.00	0.02

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
4 T4 - G2	0.59	0.16	0.05	14.48	88.50
5 T4 - G2	0.51	0.19	0.03	13.92	87.33
6 T4 - G2	0.58	0.25	0.04	13.41	86.77
7 T4 - G2	0.50	0.22	0.04	13.45	86.21
8 T4 - G2	0.58	0.28	0.03	13.72	86.31
9 T4 - G2	0.69	0.21	0.04	13.57	85.34
10 T4 - G2	0.47	0.19	0.05	12.84	83.46
1 T4 - G3	1.52	0.13	0.08	13.57	87.33
2 T4 - G3	1.31	0.22	0.07	13.17	87.12
3 T4 - G3	1.42	0.26	0.06	13.45	88.36
4 T4 - G3	0.36	0.32	0.05	13.98	88.20
5 T4 - G3	0.32	0.33	0.04	14.21	88.38
6 T4 - G3	0.26	0.40	0.03	13.95	87.97
7 T4 - G3	0.26	0.35	0.06	14.23	88.33
8 T4 - G3	0.29	0.37	0.02	13.57	87.29
9 T4 - G3	0.28	0.38	0.04	13.49	88.10
10 T4 - G3	0.34	0.29	0.01	13.78	88.74
1 T5A - G1	1.37	0.20	0.07	12.75	84.66
2 T5A - G1	1.37	0.20	0.04	12.87	82.30
3 T5A - G1	2.04	0.15	0.08	12.99	86.82
4 T5A - G1	1.92	0.09	0.05	12.76	86.44
5 T5A - G1	2.00	0.12	0.08	12.46	86.03
6 T5A - G1	1.70	0.16	0.03	12.54	84.76
7 T5A - G1	1.58	0.10	0.04	12.08	82.78
8 T5A - G1	1.61	0.23	0.04	12.26	85.26
9 T5A - G1	1.60	0.11	0.03	12.12	84.42
10 T5A - G1	1.57	0.16	0.04	12.29	85.80
1 T5A - G2	1.68	0.14	0.04	12.63	86.69
2 T5A - G2	1.60	0.15	0.03	12.18	85.99
3 T5A - G2	1.63	0.12	0.04	12.60	86.35
4 T5A - G2	1.62	0.17	0.03	12.56	85.92
5 T5A - G2	1.59	0.10	0.03	12.28	85.81
6 T5A - G2	1.55	0.15	0.02	12.71	84.21
7 T5A - G2	1.58	0.09	0.02	12.01	85.63
8 T5A - G2	1.72	0.13	0.05	12.39	87.02
9 T5A - G2	1.58	0.14	0.05	12.01	86.79
10 T5A - G2	1.66	0.13	0.04	12.36	85.84
1 T5A - G3	1.30	0.22	0.09	13.85	85.84
2 T5A - G3	1.24	0.26	0.07	13.29	86.53
3 T5A - G3	1.32	0.19	0.05	13.39	86.48
4 T5A - G3	1.38	0.22	0.06	13.08	87.36
5 T5A - G3	1.33	0.20	0.06	13.30	85.80
6 T5A - G3	1.40	0.16	0.06	13.21	86.73
7 T5A - G3	1.36	0.16	0.06	13.54	86.92
8 T5A - G3	1.30	0.26	0.05	13.37	86.80
9 T5A - G3	1.37	0.25	0.05	12.88	86.60
10 T5A - G3	1.46	0.19	0.08	13.31	86.15
1 T6A - G1	1.80	0.10	0.06	10.68	75.13
2 T6A - G1	1.96	0.02	0.05	10.63	77.17
3 T6A - G1	1.98	0.14	0.07	10.61	79.03

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
4 T6A - G1	30.49	1.36	0.21	0.00	34.06	0.61	0.03	0.02
5 T6A - G1	31.54	1.41	0.09	0.02	34.25	0.11	0.04	0.02
6 T6A - G1	28.47	0.82	0.21	0.00	28.93	0.00	0.03	0.08
7 T6A - G1	32.15	1.42	0.07	0.02	34.79	0.04	0.00	0.04
8 T6A - G1	32.43	1.40	0.01	0.00	34.97	0.15	0.00	0.04
9 T6A - G1	32.62	1.48	0.14	0.00	34.94	0.00	0.03	0.04
10 T6A - G1	33.24	1.48	0.20	0.00	35.30	0.34	0.00	0.03
11 T6A - G1	33.32	1.58	0.18	0.04	35.59	0.29	0.00	0.04
12 T6A - G1	33.55	1.51	0.13	0.00	35.63	0.48	0.00	0.02
13 T6A - G1	34.10	1.56	0.25	0.01	35.93	0.34	0.01	0.04
14 T6A - G1	34.47	1.55	0.20	0.02	35.60	0.24	0.00	0.05
15 T6A - G1	34.51	1.49	0.19	0.00	35.72	0.15	0.01	0.05
16 T6A - G1	34.39	1.44	0.21	0.00	35.85	0.41	0.00	0.01
1 T6A - G2	29.60	1.33	0.15	0.00	33.48	0.50	0.03	0.05
2 T6A - G2	28.57	1.28	0.14	0.00	32.59	0.39	0.01	0.03
3 T6A - G2	29.25	1.27	0.09	0.04	32.93	0.53	0.00	0.03
4 T6A - G2	29.45	1.37	0.10	0.02	33.53	0.34	0.01	0.03
5 T6A - G2	29.43	1.35	0.15	0.00	33.69	0.59	0.00	0.02
6 T6A - G2	30.23	1.30	0.17	0.00	33.73	0.04	0.00	0.03
7 T6A - G2	31.08	1.33	0.05	0.00	34.74	0.00	0.02	0.03
8 T6A - G2	30.90	1.30	0.20	0.02	34.28	0.01	0.00	0.02
9 T6A - G2	31.17	1.36	0.16	0.03	34.57	0.39	0.00	0.04
10 T6A - G2	32.14	1.41	0.07	0.02	35.23	0.25	0.00	0.03
11 T6A - G2	32.17	1.40	0.17	0.00	35.17	0.25	0.04	0.04
12 T6A - G2	32.72	1.30	0.13	0.00	35.22	0.08	0.00	0.03
13 T6A - G2	32.99	1.39	0.22	0.00	35.33	0.10	0.01	0.03
14 T6A - G2	33.57	1.37	0.17	0.00	35.53	0.05	0.01	0.05
15 T6A - G2	33.71	1.40	0.09	0.02	35.80	0.33	0.03	0.02
16 T6A - G2	34.06	1.48	0.19	0.01	35.87	0.00	0.00	0.01
17 T6A - G2	34.26	1.37	0.10	0.00	35.73	0.00	0.01	0.03
18 T6A - G2	34.86	1.44	0.13	0.00	36.19	0.11	0.02	0.02
19 T6A - G2	34.56	1.43	0.23	0.00	35.93	0.20	0.03	0.04
20 T6A - G2	35.32	1.38	0.10	0.00	36.07	0.45	0.00	0.03
21 T6A - G2	34.95	1.52	0.25	0.02	35.93	0.18	0.05	0.03
22 T6A - G2	34.87	1.43	0.13	0.02	36.16	0.18	0.02	0.02
1 T6C - G1	34.63	1.69	0.12	0.01	35.84	0.00	0.00	0.04
2 T6C - G1	35.26	1.58	0.11	0.00	35.93	0.55	0.06	0.04
3 T6C - G1	34.93	1.55	0.10	0.02	35.53	0.28	0.02	0.03
4 T6C - G1	34.60	1.76	0.24	0.03	36.03	0.39	0.00	0.04
5 T6C - G1	34.85	1.70	0.22	0.00	35.78	0.23	0.00	0.03
6 T6C - G1	34.86	1.63	0.08	0.01	35.87	0.00	0.01	0.05
7 T6C - G1	34.97	1.62	0.22	0.01	35.85	0.46	0.00	0.04
8 T6C - G1	34.67	1.75	0.25	0.00	35.84	0.51	0.01	0.03
9 T6C - G1	34.73	1.58	0.29	0.03	36.06	0.33	0.00	0.03
10 T6C - G1	34.91	1.72	0.19	0.00	35.68	0.56	0.06	0.06
1 T6C - G2	5.08	0.49	0.08	0.00	9.44	0.49	0.00	0.00
2 T6C - G2	33.84	1.52	0.14	0.00	33.64	0.38	0.01	0.02
3 T6C - G2	34.37	1.47	0.12	0.02	34.82	0.14	0.00	0.04
4 T6C - G2	34.26	1.86	0.18	0.01	34.70	0.45	0.00	0.04
5 T6C - G2	30.39	1.70	0.20	0.00	34.42	0.48	0.00	0.05

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
4 T6A - G1	1.98	0.14	0.05	11.07	79.75
5 T6A - G1	1.95	0.11	0.05	10.76	80.31
6 T6A - G1	1.61	0.08	0.17	9.21	69.58
7 T6A - G1	1.97	0.08	0.07	10.89	81.52
8 T6A - G1	2.02	0.09	0.08	11.59	82.71
9 T6A - G1	2.14	0.08	0.04	11.12	82.64
10 T6A - G1	1.93	0.13	0.07	10.99	83.56
11 T6A - G1	1.97	0.03	0.08	11.43	84.42
12 T6A - G1	1.99	0.11	0.06	11.64	84.92
13 T6A - G1	2.00	0.06	0.08	11.80	86.03
14 T6A - G1	1.97	0.10	0.08	11.69	85.87
15 T6A - G1	1.98	0.11	0.06	11.37	85.57
16 T6A - G1	1.89	0.17	0.04	11.96	86.20
1 T6A - G2	1.91	0.10	0.06	10.65	77.63
2 T6A - G2	1.82	0.11	0.06	10.10	74.93
3 T6A - G2	1.72	0.08	0.06	10.41	76.20
4 T6A - G2	1.80	0.07	0.06	10.74	77.39
5 T6A - G2	1.87	0.15	0.04	10.65	77.71
6 T6A - G2	1.79	0.06	0.06	10.03	77.43
7 T6A - G2	1.86	0.12	0.05	11.06	80.33
8 T6A - G2	1.86	0.07	0.03	10.55	79.25
9 T6A - G2	1.86	0.08	0.06	10.58	80.13
10 T6A - G2	1.88	0.09	0.05	11.29	82.36
11 T6A - G2	1.86	0.11	0.05	11.11	82.26
12 T6A - G2	1.81	0.11	0.05	11.23	82.64
13 T6A - G2	1.90	0.14	0.04	11.27	83.37
14 T6A - G2	1.89	0.08	0.06	11.41	84.16
15 T6A - G2	1.85	0.11	0.03	11.96	85.20
16 T6A - G2	1.90	0.10	0.04	11.60	85.25
17 T6A - G2	1.84	0.08	0.05	11.58	85.04
18 T6A - G2	1.94	0.09	0.03	11.96	86.74
19 T6A - G2	1.95	0.08	0.05	11.48	85.89
20 T6A - G2	1.94	0.10	0.04	11.90	87.14
21 T6A - G2	1.90	0.11	0.04	11.96	86.86
22 T6A - G2	1.86	0.17	0.06	11.87	86.71
1 T6C - G1	1.69	0.13	0.08	12.63	86.87
2 T6C - G1	1.64	0.11	0.07	12.87	87.98
3 T6C - G1	1.56	0.16	0.09	12.75	86.90
4 T6C - G1	1.63	0.21	0.06	13.14	87.96
5 T6C - G1	1.62	0.11	0.06	12.79	87.29
6 T6C - G1	1.53	0.12	0.05	12.25	86.46
7 T6C - G1	1.59	0.08	0.04	12.70	87.36
8 T6C - G1	1.48	0.12	0.08	12.62	87.15
9 T6C - G1	1.28	0.17	0.05	12.82	87.24
10 T6C - G1	1.41	0.10	0.07	13.22	87.72
1 T6C - G2	0.59	0.02	0.01	3.08	19.07
2 T6C - G2	1.48	0.11	0.07	11.94	82.99
3 T6C - G2	1.55	0.14	0.07	12.81	85.50
4 T6C - G2	1.89	0.11	0.06	12.49	85.85
5 T6C - G2	1.80	0.13	0.07	12.21	81.24

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
6 T6C - G2	30.72	1.88	0.22	0.00	32.44	0.52	0.00	0.04
7 T6C - G2	34.83	1.72	0.09	0.04	35.21	0.26	0.01	0.04
8 T6C - G2	34.24	1.75	0.31	0.03	35.22	0.24	0.00	0.04
9 T6C - G2	29.73	1.67	0.09	0.00	32.83	0.40	0.00	0.04
10 T6C - G2	34.21	1.69	0.19	0.00	35.20	0.07	0.00	0.07
11 T6C - G2	34.53	1.83	0.30	0.01	34.14	0.26	0.00	0.05
12 T6C - G2	33.67	1.78	0.39	0.02	33.02	0.32	0.00	0.03
1 T6E - G1	34.66	1.54	0.17	0.03	33.82	0.49	0.01	0.05
2 T6E - G1	34.07	1.59	0.18	0.03	34.31	0.70	0.01	0.05
3 T6E - G1	34.07	1.47	0.10	0.01	33.74	0.25	0.00	0.03
4 T6E - G1	33.38	1.47	0.10	0.03	33.78	0.38	0.01	0.05
5 T6E - G1	33.51	1.52	0.17	0.00	34.00	0.26	0.01	0.04
6 T6E - G1	33.10	1.52	0.23	0.08	33.60	0.07	0.02	0.02
7 T6E - G1	33.12	1.59	0.07	0.00	33.44	0.41	0.03	0.04
8 T6E - G1	33.16	1.58	0.08	0.03	33.41	0.14	0.00	0.04
9 T6E - G1	33.65	1.46	0.28	0.00	33.59	0.43	0.01	0.05
10 T6E - G1	34.55	1.48	0.15	0.02	34.47	0.24	0.01	0.03
1 T6E - G2	33.93	1.53	0.26	0.00	34.35	0.10	0.00	0.03
2 T6E - G2	32.72	1.45	0.24	0.00	33.11	0.19	0.01	0.04
3 T6E - G2	32.47	1.49	0.11	0.03	33.03	0.36	0.00	0.01
4 T6E - G2	32.80	1.49	0.34	0.01	33.09	0.12	0.02	0.04
5 T6E - G2	31.28	1.55	0.14	0.00	32.35	0.06	0.00	0.02
6 T6E - G2	33.82	1.52	0.13	0.00	34.05	0.09	0.02	0.05
7 T6E - G2	32.01	1.57	0.23	0.00	32.50	0.00	0.00	0.03
8 T6E - G2	31.98	1.61	0.23	0.02	32.98	0.00	0.00	0.03
9 T6E - G2	31.55	1.51	0.23	0.02	32.41	0.06	0.00	0.04
10 T6E - G2	33.04	1.52	0.24	0.01	32.65	0.24	0.00	0.05
1 T6E - G3	33.91	1.44	0.24	0.00	30.93	0.32	0.00	0.02
2 T6E - G3	35.36	1.66	0.21	0.02	34.63	0.32	0.00	0.04
3 T6E - G3	35.24	1.58	0.29	0.04	34.97	0.18	0.00	0.05
4 T6E - G3	35.56	1.60	0.32	0.01	35.04	0.05	0.00	0.07
5 T6E - G3	34.86	1.58	0.01	0.02	35.27	0.00	0.01	0.02
6 T6E - G3	34.89	1.66	0.30	0.00	35.17	0.23	0.05	0.04
7 T6E - G3	34.75	1.57	0.22	0.06	35.05	0.22	0.01	0.03
8 T6E - G3	34.72	1.58	0.22	0.00	35.12	0.00	0.01	0.05
9 T6E - G3	34.31	1.53	0.26	0.00	35.22	0.53	0.00	0.04
10 T6E - G3	33.21	1.42	0.24	0.00	34.64	0.33	0.00	0.03
1 T7A - G1	35.87	1.64	0.12	0.05	35.14	0.00	0.04	0.04
2 T7A - G1	36.07	1.57	0.16	0.00	35.53	0.00	0.00	0.05
3 T7A - G1	35.94	1.58	0.17	0.00	35.89	0.00	0.00	0.04
4 T7A - G1	36.10	1.66	0.29	0.00	35.87	0.59	0.00	0.04
5 T7A - G1	35.71	1.66	0.19	0.03	35.92	0.29	0.00	0.05
6 T7A - G1	35.67	1.70	0.33	0.00	35.61	0.18	0.01	0.04
7 T7A - G1	35.71	1.50	0.15	0.01	35.78	0.30	0.01	0.02
8 T7A - G1	35.52	1.69	0.19	0.00	35.49	0.01	0.05	0.04
1 T7A - G2	36.18	1.55	0.14	0.03	35.45	0.46	0.03	0.04
2 T7A - G2	35.75	1.69	0.27	0.00	35.25	0.41	0.00	0.03
3 T7A - G2	35.96	1.73	0.23	0.00	35.09	0.28	0.03	0.02
4 T7A - G2	35.84	1.71	0.36	0.05	35.10	0.41	0.01	0.06
5 T7A - G2	36.06	1.78	0.29	0.02	35.37	0.46	0.00	0.05

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
6 T6C - G2	2.07	0.13	0.08	12.20	80.08
7 T6C - G2	1.69	0.08	0.05	12.90	86.81
8 T6C - G2	1.65	0.08	0.06	12.69	86.20
9 T6C - G2	1.69	0.08	0.07	11.80	78.24
10 T6C - G2	2.10	0.17	0.06	12.58	86.30
11 T6C - G2	2.10	0.11	0.09	12.17	85.49
12 T6C - G2	1.89	0.13	0.08	13.01	84.20
1 T6E - G1	1.32	0.18	0.07	13.26	85.37
2 T6E - G1	1.16	0.21	0.06	12.98	85.04
3 T6E - G1	1.23	0.16	0.08	13.16	84.21
4 T6E - G1	1.27	0.14	0.09	13.36	83.88
5 T6E - G1	1.20	0.19	0.06	12.96	83.80
6 T6E - G1	1.24	0.19	0.05	13.16	83.25
7 T6E - G1	1.23	0.20	0.05	13.46	83.46
8 T6E - G1	1.20	0.18	0.04	13.43	83.21
9 T6E - G1	1.24	0.19	0.07	13.35	84.14
10 T6E - G1	1.19	0.20	0.09	13.70	86.02
1 T6E - G2	1.12	0.20	0.11	13.17	84.75
2 T6E - G2	1.17	0.21	0.05	13.32	82.41
3 T6E - G2	1.16	0.17	0.06	13.38	82.12
4 T6E - G2	1.16	0.27	0.07	13.24	82.59
5 T6E - G2	1.06	0.24	0.06	13.41	80.14
6 T6E - G2	1.17	0.21	0.06	13.23	84.32
7 T6E - G2	1.16	0.20	0.06	13.12	80.87
8 T6E - G2	1.05	0.20	0.05	12.91	81.05
9 T6E - G2	1.09	0.16	0.06	12.94	80.04
10 T6E - G2	1.30	0.24	0.05	13.65	82.87
1 T6E - G3	1.23	0.22	0.07	13.29	81.52
2 T6E - G3	1.35	0.16	0.04	13.37	87.04
3 T6E - G3	1.35	0.16	0.10	13.18	87.05
4 T6E - G3	1.43	0.15	0.07	13.15	87.44
5 T6E - G3	1.37	0.23	0.06	12.57	85.98
6 T6E - G3	1.34	0.27	0.07	13.14	87.05
7 T6E - G3	1.37	0.25	0.09	12.96	86.48
8 T6E - G3	1.30	0.20	0.07	13.30	86.56
9 T6E - G3	1.33	0.17	0.08	12.69	85.94
10 T6E - G3	1.24	0.16	0.08	12.48	83.69
1 T7A - G1	1.34	0.22	0.08	13.19	87.74
2 T7A - G1	1.30	0.16	0.07	13.55	88.46
3 T7A - G1	1.38	0.21	0.08	13.28	88.57
4 T7A - G1	1.38	0.21	0.10	13.52	89.51
5 T7A - G1	1.49	0.20	0.08	13.68	89.18
6 T7A - G1	1.49	0.25	0.07	12.84	88.11
7 T7A - G1	1.40	0.22	0.07	13.16	88.21
8 T7A - G1	1.45	0.18	0.08	12.97	87.66
1 T7A - G2	1.10	0.22	0.05	13.91	88.96
2 T7A - G2	1.37	0.15	0.08	13.76	88.59
3 T7A - G2	1.51	0.15	0.10	13.14	88.13
4 T7A - G2	1.45	0.19	0.09	13.09	88.17
5 T7A - G2	1.52	0.18	0.08	13.63	89.25

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
6 T7A - G2	36.05	1.69	0.36	0.08	35.50	0.45	0.00	0.05
7 T7A - G2	36.34	1.67	0.26	0.00	35.72	0.04	0.04	0.04
8 T7A - G2	36.14	1.65	0.31	0.03	35.79	0.09	0.02	0.03
9 T7A - G2	35.82	1.72	0.10	0.00	35.81	0.68	0.00	0.05
1 T7A - G3	35.92	1.75	0.32	0.00	35.64	0.28	0.00	0.03
2 T7A - G3	35.59	1.60	0.19	0.00	35.16	0.55	0.00	0.04
3 T7A - G3	35.93	1.67	0.31	0.03	35.50	0.54	0.03	0.05
4 T7A - G3	35.93	1.68	0.12	0.01	35.32	0.00	0.00	0.05
5 T7A - G3	34.45	1.67	0.25	0.01	34.32	0.61	0.00	0.05
6 T7A - G3	35.92	1.67	0.21	0.04	35.45	0.51	0.03	0.06
7 T7A - G3	36.34	1.69	0.15	0.04	35.51	0.19	0.00	0.04
8 T7A - G3	35.97	1.71	0.21	0.00	35.93	0.36	0.00	0.04
9 T7A - G3	35.79	1.65	0.17	0.01	35.91	0.48	0.01	0.03
1 T7A - G4	35.25	1.72	0.01	0.02	34.65	0.51	0.03	0.05
2 T7A - G4	35.23	1.69	0.09	0.00	34.75	0.09	0.00	0.04
3 T7A - G4	35.40	1.64	0.44	0.01	34.73	0.12	0.00	0.04
4 T7A - G4	36.34	1.65	0.23	0.00	34.26	0.45	0.00	0.04
5 T7A - G4	36.41	1.64	0.25	0.00	36.14	0.25	0.00	0.04
6 T7A - G4	35.51	1.58	0.24	0.03	35.88	0.00	0.00	0.04
7 T7A - G4	35.93	1.54	0.36	0.01	36.13	0.02	0.01	0.04
1 T7B - G1	35.06	1.77	0.42	0.00	34.70	0.08	0.00	0.05
2 T7B - G1	35.00	1.76	0.33	0.00	35.24	0.00	0.00	0.03
3 T7B - G1	35.40	1.66	0.27	0.00	35.22	0.13	0.00	0.04
4 T7B - G1	34.99	1.64	0.23	0.01	35.01	0.42	0.03	0.06
5 T7B - G1	34.77	1.76	0.34	0.00	34.95	0.00	0.00	0.07
6 T7B - G1	35.39	1.60	0.16	0.01	35.21	0.16	0.00	0.02
7 T7B - G1	34.37	1.59	0.38	0.00	34.69	0.00	0.01	0.06
8 T7B - G1	35.40	1.71	0.28	0.01	33.94	0.20	0.00	0.03
9 T7B - G1	35.72	1.76	0.35	0.00	34.78	0.18	0.03	0.05
10 T7B - G1	35.63	1.70	0.28	0.01	35.30	0.00	0.01	0.04
1 T7B - G2	35.57	1.50	0.16	0.00	35.18	0.41	0.01	0.02
2 T7B - G2	35.98	1.40	0.10	0.00	35.52	0.00	0.00	0.02
3 T7B - G2	35.94	1.43	0.11	0.01	35.71	0.02	0.00	0.02
4 T7B - G2	35.79	1.37	0.07	0.00	35.79	0.65	0.02	0.02
5 T7B - G2	35.57	1.50	0.19	0.02	35.48	0.05	0.00	0.02
6 T7B - G2	35.43	1.49	0.12	0.00	35.64	0.00	0.02	0.03
7 T7B - G2	35.38	1.39	0.19	0.00	35.61	0.06	0.04	0.03
8 T7B - G2	34.93	1.38	0.00	0.00	35.61	0.18	0.07	0.03
9 T7B - G2	35.09	1.35	0.00	0.00	35.71	0.29	0.00	0.02
10 T7B - G2	34.51	1.44	0.11	0.05	35.76	0.47	0.00	0.04
1 T7B - G3	34.23	1.66	0.36	0.01	34.79	0.33	0.00	0.04
2 T7B - G3	34.47	1.72	0.23	0.00	35.13	0.05	0.00	0.03
3 T7B - G3	35.07	1.68	0.15	0.01	34.94	0.28	0.00	0.02
4 T7B - G3	34.84	1.77	0.35	0.00	34.76	0.35	0.05	0.04
5 T7B - G3	35.44	1.76	0.28	0.00	35.15	0.37	0.00	0.05
6 T7B - G3	35.47	1.81	0.42	0.01	34.86	0.22	0.03	0.05
7 T7B - G3	34.35	1.71	0.26	0.00	34.75	0.40	0.00	0.04
8 T7B - G3	34.71	1.65	0.12	0.00	34.96	0.36	0.00	0.05
9 T7B - G3	35.11	1.70	0.18	0.02	35.12	0.31	0.02	0.05
10 T7B - G3	35.10	1.74	0.19	0.00	35.20	0.21	0.00	0.02

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
6 T7A - G2	1.39	0.19	0.08	13.46	89.11
7 T7A - G2	1.41	0.24	0.09	13.23	89.06
8 T7A - G2	1.26	0.20	0.09	13.14	88.71
9 T7A - G2	2.25	0.15	0.05	12.63	88.99
1 T7A - G3	2.09	0.09	0.08	12.48	88.55
2 T7A - G3	1.22	0.15	0.03	13.29	87.58
3 T7A - G3	1.33	0.17	0.05	13.46	88.83
4 T7A - G3	1.36	0.19	0.07	13.55	88.29
5 T7A - G3	1.57	0.15	0.07	12.58	85.47
6 T7A - G3	1.48	0.23	0.05	13.29	88.73
7 T7A - G3	1.54	0.18	0.07	13.30	88.97
8 T7A - G3	1.26	0.25	0.07	13.46	89.11
9 T7A - G3	1.18	0.17	0.05	13.75	88.99
1 T7A - G4	1.24	0.12	0.06	13.64	87.10
2 T7A - G4	1.24	0.24	0.06	13.30	86.70
3 T7A - G4	1.32	0.17	0.06	13.73	87.59
4 T7A - G4	1.34	0.25	0.07	12.32	86.76
5 T7A - G4	1.44	0.13	0.04	13.43	89.65
6 T7A - G4	1.40	0.20	0.07	13.45	88.39
7 T7A - G4	1.46	0.21	0.10	13.33	89.12
1 T7B - G1	2.35	0.15	0.12	11.74	86.39
2 T7B - G1	2.16	0.10	0.10	12.22	86.95
3 T7B - G1	2.27	0.14	0.10	12.42	87.59
4 T7B - G1	2.26	0.10	0.10	12.33	86.99
5 T7B - G1	2.27	0.11	0.11	12.46	86.83
6 T7B - G1	2.07	0.15	0.09	12.82	87.62
7 T7B - G1	2.04	0.15	0.09	12.18	85.57
8 T7B - G1	2.02	0.15	0.08	12.63	86.38
9 T7B - G1	1.98	0.11	0.10	12.64	87.64
10 T7B - G1	2.11	0.19	0.09	12.65	88.01
1 T7B - G2	2.04	0.19	0.05	11.83	86.78
2 T7B - G2	2.05	0.12	0.05	11.90	87.14
3 T7B - G2	2.20	0.14	0.05	12.35	87.96
4 T7B - G2	2.09	0.09	0.06	12.12	87.79
5 T7B - G2	2.10	0.17	0.06	12.17	87.28
6 T7B - G2	2.04	0.18	0.03	12.31	87.27
7 T7B - G2	2.14	0.12	0.05	11.99	86.99
8 T7B - G2	2.04	0.12	0.07	12.04	86.39
9 T7B - G2	2.01	0.12	0.06	12.11	86.63
10 T7B - G2	2.09	0.15	0.05	11.91	86.37
1 T7B - G3	2.39	0.20	0.13	11.91	85.92
2 T7B - G3	2.47	0.20	0.10	12.09	86.46
3 T7B - G3	2.36	0.16	0.12	12.36	87.04
4 T7B - G3	2.29	0.14	0.07	12.24	86.74
5 T7B - G3	2.44	0.11	0.10	11.86	87.41
6 T7B - G3	2.44	0.12	0.11	11.38	86.83
7 T7B - G3	2.29	0.14	0.13	11.08	84.97
8 T7B - G3	2.40	0.11	0.08	11.96	86.25
9 T7B - G3	2.22	0.11	0.09	11.82	86.61
10 T7B - G3	2.25	0.11	0.12	12.70	87.55

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
1 T7C - G1	34.37	1.58	0.21	0.04	35.77	0.08	0.03	0.03
2 T7C - G1	34.15	1.54	0.18	0.00	35.25	0.76	0.03	0.03
3 T7C - G1	35.17	1.62	0.32	0.00	35.86	0.08	0.00	0.04
4 T7C - G1	34.84	1.47	0.27	0.01	35.71	0.38	0.01	0.05
5 T7C - G1	34.55	1.27	0.11	0.00	36.60	0.07	0.02	0.03
6 T7C - G1	34.54	1.28	0.00	0.01	35.85	0.67	0.00	0.02
7 T7C - G1	34.88	1.27	0.04	0.00	36.56	0.00	0.00	0.03
8 T7C - G1	35.13	1.24	0.18	0.00	36.85	0.19	0.02	0.05
9 T7C - G1	35.82	1.37	0.12	0.00	37.11	0.00	0.00	0.01
10 T7C - G1	33.96	1.36	0.06	0.08	36.53	0.13	0.00	0.02
1 T7C - G2	33.86	1.59	0.17	0.02	35.42	0.00	0.00	0.05
2 T7C - G2	35.33	1.58	0.23	0.03	35.96	0.54	0.02	0.04
3 T7C - G2	35.43	1.64	0.21	0.08	36.03	0.06	0.01	0.03
4 T7C - G2	35.35	1.54	0.03	0.00	36.42	0.19	0.00	0.04
5 T7C - G2	33.67	1.22	0.07	0.00	36.36	0.41	0.00	0.03
6 T7C - G2	35.25	1.33	0.01	0.02	36.88	0.00	0.00	0.02
7 T7C - G2	35.08	1.32	0.14	0.03	36.94	0.00	0.04	0.03
8 T7C - G2	35.07	1.39	0.08	0.03	36.70	0.00	0.03	0.03
9 T7C - G2	35.22	1.41	0.17	0.00	36.99	0.00	0.03	0.03
10 T7C - G2	35.20	1.39	0.00	0.01	36.70	0.23	0.00	0.03
1 T7C - G3	35.84	1.64	0.26	0.00	36.29	0.56	0.02	0.06
2 T7C - G3	35.70	1.59	0.19	0.01	36.26	0.60	0.00	0.04
3 T7C - G3	36.30	1.67	0.14	0.03	35.87	0.06	0.00	0.03
4 T7C - G3	34.63	1.50	0.17	0.01	35.94	0.00	0.00	0.03
5 T7C - G3	34.10	1.52	0.20	0.01	35.91	0.30	0.01	0.02
5 T7C - G4	35.81	1.58	0.18	0.02	36.31	0.55	0.00	0.04
1 T7D - G1	35.30	1.81	0.86	0.03	35.33	0.19	0.08	0.03
2 T7D - G1	36.44	1.88	0.97	0.01	35.93	0.51	0.03	0.04
3 T7D - G1	45.95	0.87	0.81	0.02	37.22	0.13	0.02	9.23
4 T7D - G1	39.20	0.29	0.24	0.00	58.05	0.10	0.00	2.53
5 T7D - G1	36.31	1.81	0.81	0.00	35.81	0.33	0.00	0.02
6 T7D - G1	92.00	0.02	0.09	0.00	0.02	0.31	0.01	0.02
7 T7D - G1	30.36	1.73	0.83	0.00	32.37	0.06	0.03	0.02
8 T7D - G1	36.66	1.78	0.59	0.00	35.84	0.00	0.04	0.04
T7D - Inc. 1	35.58	0.19	2.22	0.08	21.13	0.46	0.03	8.48
T7D - Inc. 2	36.56	0.05	0.01	0.11	28.38	0.00	0.00	0.27
T7D - Inc. 3	2.11	0.11	0.04	0.02	3.41	0.19	0.02	0.05
1 T7D - G2	35.89	1.87	0.87	0.02	35.13	0.00	0.02	0.02
2 T7D - G2	43.02	0.76	0.69	0.04	37.08	0.15	0.02	8.30
3 T7D - G2	35.15	1.77	0.75	0.05	35.54	0.33	0.00	0.03
4 T7D - G2	37.10	2.04	0.70	0.00	35.22	0.29	0.01	0.03
5 T7D - G2	36.03	1.84	0.57	0.00	35.39	0.13	0.07	0.00
6 T7D - G2	36.45	1.78	0.80	0.05	35.55	0.27	0.05	0.02
7 T7D - G2	36.19	1.88	0.73	0.00	35.69	0.09	0.01	0.02
8 T7D - G2	95.73	0.02	0.00	0.04	0.00	0.32	0.00	0.00
1 T7E - G1	35.73	1.38	0.01	0.00	36.48	0.46	0.01	0.02
2 T7E - G1	35.03	1.54	0.01	0.00	36.23	0.06	0.01	0.01
3 T7E - G1	34.88	1.48	0.01	0.03	35.80	0.11	0.03	0.03
4 T7E - G1	35.36	1.46	0.05	0.00	35.94	0.07	0.02	0.02
5 T7E - G1	35.70	1.51	0.08	0.03	36.19	0.20	0.00	0.03

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
1 T7C - G1	1.49	0.23	0.10	12.99	86.87
2 T7C - G1	1.03	0.24	0.03	13.26	86.18
3 T7C - G1	1.01	0.23	0.05	13.19	87.54
4 T7C - G1	0.98	0.25	0.05	13.17	87.03
5 T7C - G1	0.75	0.22	0.04	12.86	86.49
6 T7C - G1	0.76	0.18	0.03	12.43	85.48
7 T7C - G1	0.82	0.21	0.04	12.57	86.44
8 T7C - G1	0.76	0.22	0.03	13.12	87.71
9 T7C - G1	0.74	0.20	0.03	13.25	88.65
10 T7C - G1	0.79	0.24	0.03	13.32	86.46
1 T7C - G2	1.00	0.23	0.08	13.10	85.51
2 T7C - G2	1.05	0.25	0.07	13.51	88.37
3 T7C - G2	1.09	0.20	0.06	14.02	88.84
4 T7C - G2	1.17	0.27	0.06	13.68	88.66
5 T7C - G2	0.80	0.24	0.04	12.95	85.62
6 T7C - G2	0.74	0.26	0.03	13.20	87.74
7 T7C - G2	0.81	0.21	0.02	13.21	87.82
8 T7C - G2	0.83	0.23	0.02	13.24	87.65
9 T7C - G2	0.89	0.19	0.02	13.30	88.24
10 T7C - G2	0.77	0.22	0.03	13.27	87.75
1 T7C - G3	1.46	0.15	0.08	12.62	88.75
2 T7C - G3	1.51	0.15	0.08	12.96	88.85
3 T7C - G3	1.54	0.19	0.09	13.10	88.99
4 T7C - G3	1.49	0.22	0.07	12.49	86.55
5 T7C - G3	1.35	0.23	0.06	12.69	86.26
5 T7C - G4	1.49	0.15	0.04	12.53	88.46
1 T7D - G1	6.61	0.02	0.30	6.84	87.32
2 T7D - G1	6.25	0.02	0.35	6.19	88.42
3 T7D - G1	0.61	0.01	0.03	1.07	95.91
4 T7D - G1	0.12	0.00	0.02	0.38	100.89
5 T7D - G1	6.24	0.01	0.32	6.49	88.02
6 T7D - G1	0.01	0.00	0.02	0.05	92.40
7 T7D - G1	6.21	0.05	0.32	6.26	78.20
8 T7D - G1	6.41	0.05	0.35	6.25	88.01
T7D - Inc. 1	9.12	0.20	0.01	19.50	96.80
T7D - Inc. 2	0.39	0.00	0.03	11.51	77.32
T7D - Inc. 3	0.13	0.01	0.29	51.87	58.17
1 T7D - G2	6.45	0.01	0.40	6.16	86.84
2 T7D - G2	0.71	0.04	0.02	1.05	91.80
3 T7D - G2	6.13	0.02	0.32	6.08	86.02
4 T7D - G2	6.49	0.04	0.37	6.66	88.83
5 T7D - G2	6.25	0.09	0.47	6.77	87.56
6 T7D - G2	6.18	0.07	0.40	6.69	88.19
7 T7D - G2	6.24	0.02	0.36	6.61	87.80
8 T7D - G2	0.00	0.00	0.00	0.09	96.07
1 T7E - G1	0.90	0.21	0.05	14.55	89.61
2 T7E - G1	0.83	0.29	0.02	14.80	88.80
3 T7E - G1	0.87	0.26	0.04	14.49	87.96
4 T7E - G1	0.84	0.25	0.04	14.23	88.25
5 T7E - G1	0.93	0.23	0.04	14.47	89.34

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
6 T7E - G1	35.69	1.45	0.03	0.01	36.12	0.70	0.00	0.04
7 T7E - G1	35.74	1.54	0.10	0.02	36.61	0.35	0.00	0.05
8 T7E - G1	35.98	1.60	0.01	0.00	36.58	0.25	0.00	0.03
9 T7E - G1	35.53	1.57	0.18	0.00	35.99	0.29	0.05	0.01
10 T7E - G1	35.53	1.57	0.04	0.02	36.06	0.03	0.02	0.03
1 T7E - G2	35.98	1.60	0.27	0.03	36.15	0.11	0.03	0.04
2 T7E - G2	35.60	1.47	0.12	0.01	36.82	0.24	0.00	0.01
3 T7E - G2	35.53	1.56	0.02	0.00	36.78	0.05	0.00	0.03
4 T7E - G2	35.51	1.49	0.09	0.00	36.63	0.18	0.00	0.04
5 T7E - G2	35.63	1.48	0.08	0.03	36.91	0.46	0.00	0.04
6 T7E - G2	35.54	1.41	0.08	0.00	36.84	0.18	0.00	0.04
7 T7E - G2	35.21	1.41	0.09	0.00	36.64	0.00	0.00	0.04
8 T7E - G2	35.02	1.45	0.00	0.00	36.53	0.32	0.00	0.03
9 T7E - G2	35.37	1.44	0.14	0.03	36.61	0.14	0.00	0.05
10 T7E - G2	35.99	1.47	0.02	0.00	36.51	0.25	0.01	0.05
1 T7E - G3	35.47	1.46	0.11	0.03	35.91	0.23	0.00	0.04
2 T7E - G3	34.77	1.46	0.15	0.01	35.36	0.91	0.00	0.02
3 T7E - G3	34.94	1.34	0.07	0.01	35.57	0.18	0.00	0.04
4 T7E - G3	35.45	1.50	0.09	0.05	35.62	0.20	0.00	0.01
5 T7E - G3	35.64	1.40	0.05	0.00	35.87	0.18	0.00	0.02
6 T7E - G3	35.26	1.51	0.09	0.00	36.10	0.54	0.00	0.02
1 T7E - G4	34.12	1.62	0.05	0.01	36.16	0.00	0.00	0.04
2 T7E - G4	34.87	1.47	0.21	0.01	36.58	0.00	0.06	0.03
3 T7E - G4	34.69	1.39	0.02	0.00	36.42	0.01	0.03	0.03
4 T7E - G4	34.97	1.55	0.30	0.00	36.27	0.42	0.03	0.04
5 T7E - G4	35.67	1.47	0.17	0.00	36.20	0.27	0.01	0.06
1 T7E - G5	35.58	1.78	0.10	0.00	36.37	0.10	0.01	0.06
2 T7E - G5	35.45	1.72	0.29	0.05	36.23	0.54	0.00	0.02
3 T7E - G5	35.72	1.76	0.11	0.00	36.19	0.17	0.00	0.05
4 T7E - G5	35.46	1.77	0.25	0.00	35.90	0.32	0.04	0.04
5 T7E - G5	35.43	1.89	0.35	0.00	35.42	0.52	0.04	0.04
1 T7F - G1	34.56	1.40	0.24	0.00	34.61	0.38	0.03	0.03
2 T7F - G1	34.17	1.35	0.12	0.03	34.67	0.00	0.00	0.02
3 T7F - G1	34.78	1.38	0.04	0.00	34.76	0.07	0.00	0.04
4 T7F - G1	33.17	1.27	0.02	0.02	34.71	0.24	0.02	0.04
5 T7F - G1	33.84	1.23	0.19	0.01	35.06	0.00	0.04	0.04
6 T7F - G1	32.55	1.37	0.00	0.04	34.11	0.00	0.00	0.03
7 T7F - G1	32.03	1.73	0.26	0.00	33.58	0.00	0.05	0.06
8 T7F - G1	33.62	1.68	0.25	0.06	34.33	0.34	0.07	0.03
9 T7F - G1	31.48	1.67	0.10	0.04	33.32	0.36	0.00	0.01
1 T7F - G2	33.98	1.53	0.15	0.00	34.20	0.11	0.06	0.04
2 T7F - G2	33.82	1.80	0.08	0.01	32.33	0.00	0.01	0.06
3 T7F - G2	33.65	1.38	0.05	0.05	34.71	0.00	0.00	0.05
4 T7F - G2	32.84	1.25	0.09	0.00	34.99	0.39	0.00	0.05
5 T7F - G2	33.89	1.43	0.06	0.00	35.24	0.16	0.02	0.03
6 T7F - G2	34.62	1.36	0.09	0.00	34.93	0.55	0.00	0.03
7 T7F - G2	34.61	1.66	0.31	0.01	33.61	0.00	0.00	0.03
8 T7F - G2	0.09	0.01	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01
9 T7F - G2	32.88	1.57	0.25	0.00	34.04	0.00	0.02	0.03
10 T7F - G2	33.71	1.72	0.22	0.01	34.46	0.47	0.00	0.04

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
6 T7E - G1	0.83	0.22	0.03	14.13	88.93
7 T7E - G1	0.91	0.25	0.04	14.56	90.02
8 T7E - G1	0.92	0.24	0.04	13.93	89.47
9 T7E - G1	0.97	0.19	0.06	14.07	88.79
10 T7E - G1	0.98	0.26	0.04	13.83	88.38
1 T7E - G2	1.04	0.24	0.04	14.08	89.57
2 T7E - G2	0.91	0.26	0.03	13.40	88.77
3 T7E - G2	0.83	0.25	0.07	13.83	88.94
4 T7E - G2	0.90	0.18	0.05	13.67	88.65
5 T7E - G2	0.89	0.21	0.05	14.53	90.09
6 T7E - G2	0.89	0.24	0.02	13.87	89.03
7 T7E - G2	0.92	0.24	0.05	14.07	88.65
8 T7E - G2	0.87	0.24	0.05	14.00	88.38
9 T7E - G2	0.87	0.33	0.02	13.45	88.39
10 T7E - G2	0.83	0.25	0.04	14.24	89.56
1 T7E - G3	0.83	0.21	0.03	13.71	87.94
2 T7E - G3	0.94	0.22	0.04	13.68	87.17
3 T7E - G3	0.96	0.25	0.04	14.01	87.32
4 T7E - G3	1.00	0.23	0.04	13.72	87.82
5 T7E - G3	0.90	0.13	0.03	13.82	87.96
6 T7E - G3	0.94	0.25	0.05	14.03	88.58
1 T7E - G4	0.98	0.20	0.05	13.95	87.19
2 T7E - G4	0.88	0.23	0.05	13.81	88.19
3 T7E - G4	0.89	0.17	0.05	13.53	87.21
4 T7E - G4	1.01	0.24	0.05	13.70	88.40
5 T7E - G4	1.03	0.22	0.09	13.99	89.05
1 T7E - G5	1.20	0.29	0.04	13.99	89.48
2 T7E - G5	1.25	0.27	0.04	14.05	89.68
3 T7E - G5	1.13	0.20	0.07	14.16	89.48
4 T7E - G5	1.13	0.23	0.07	13.91	88.99
5 T7E - G5	2.91	0.10	0.14	11.62	88.23
1 T7F - G1	1.45	0.15	0.05	12.11	84.84
2 T7F - G1	1.33	0.15	0.05	12.15	84.03
3 T7F - G1	1.45	0.17	0.05	11.89	84.58
4 T7F - G1	1.40	0.18	0.03	11.76	82.73
5 T7F - G1	1.34	0.18	0.04	11.83	83.81
6 T7F - G1	1.55	0.14	0.05	11.59	81.42
7 T7F - G1	1.69	0.17	0.11	11.64	81.30
8 T7F - G1	1.73	0.19	0.12	11.82	84.09
9 T7F - G1	2.68	0.17	0.09	10.60	80.35
1 T7F - G2	1.66	0.20	0.08	11.56	83.52
2 T7F - G2	1.68	0.24	0.08	11.83	81.93
3 T7F - G2	1.34	0.16	0.06	11.82	83.25
4 T7F - G2	1.38	0.19	0.04	12.15	83.20
5 T7F - G2	1.33	0.21	0.05	12.27	84.60
6 T7F - G2	1.23	0.23	0.06	12.03	84.87
7 T7F - G2	1.73	0.16	0.06	11.71	83.89
8 T7F - G2	0.00	0.01	0.01	0.03	0.25
9 T7F - G2	1.86	0.22	0.10	11.61	82.57
10 T7F - G2	1.97	0.19	0.11	11.82	84.53

B.2. Granada

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
1 G1A - G1	36.06	0.00	0.04	0.47	21.21	0.29	0.02	0.02
2 G1A - G1	35.14	0.00	0.00	0.39	21.17	0.00	0.01	0.01
3 G1A - G1	35.40	0.04	0.00	0.44	21.49	0.00	0.03	0.00
4 G1A - G1	35.83	0.00	0.11	0.51	21.40	0.00	0.00	0.00
5 G1A - G1	35.89	0.11	0.03	0.36	21.61	0.00	0.04	0.00
6 G1A - G1	36.48	0.00	0.07	0.31	21.51	0.55	0.00	0.01
7 G1A - G1	36.52	0.02	0.05	0.50	21.49	0.27	0.01	0.00
8 G1A - G1	36.34	0.03	0.00	0.43	21.65	0.00	0.02	0.01
1 G1A - G2	35.81	0.00	0.07	0.46	21.42	0.33	0.00	0.00
2 G1A - G2	36.57	0.05	0.00	0.44	21.46	0.04	0.00	0.00
3 G1A - G2	36.48	0.07	0.00	0.36	21.56	0.00	0.00	0.00
4 G1A - G2	35.97	0.09	0.03	0.41	21.54	0.38	0.00	0.00
5 G1A - G2	36.41	0.00	0.13	0.41	21.44	0.00	0.06	0.00
6 G1A - G2	35.40	0.08	0.01	0.40	21.36	0.49	0.00	0.00
7 G1A - G2	35.59	0.07	0.00	0.42	21.29	0.03	0.02	0.00
8 G1A - G2	34.99	0.02	0.00	0.52	21.15	0.00	0.00	0.01
9 G1A - G2	33.20	0.03	0.03	0.45	20.92	0.07	0.03	0.00
10 G1A - G2	35.18	0.01	0.00	0.38	21.71	0.01	0.00	0.00
1 G1A - G3	35.91	0.01	0.14	0.36	21.45	0.00	0.00	0.01
2 G1A - G3	35.56	0.01	0.10	0.36	21.42	0.00	0.01	0.00
3 G1A - G3	36.39	0.07	0.00	0.45	21.61	0.00	0.07	0.00
4 G1A - G3	36.48	0.01	0.00	0.38	21.62	0.00	0.02	0.02
5 G1A - G3	34.00	0.04	0.05	0.38	21.12	0.23	0.00	0.00
6 G1A - G3	33.88	0.08	0.00	0.37	21.16	0.00	0.02	0.01
7 G1A - G3	34.00	0.02	0.04	0.33	21.10	0.67	0.00	0.00
8 G1A - G3	34.24	0.03	0.04	0.35	21.19	0.00	0.01	0.00
9 G1A - G3	34.79	0.01	0.05	0.37	21.38	0.00	0.01	0.00
10 G1A - G3	35.69	0.00	0.03	0.42	21.51	0.00	0.05	0.00
1 G1B - G1	35.66	0.02	0.06	0.14	21.86	0.15	0.03	0.00
2 G1B - G1	34.94	0.03	0.05	0.37	21.41	0.00	0.00	0.01
3 G1B - G1	34.75	0.03	0.00	0.27	21.65	0.08	0.00	0.01
4 G1B - G1	34.47	0.00	0.00	0.39	21.60	0.19	0.00	0.00
5 G1B - G1	34.83	0.05	0.00	0.32	21.70	0.07	0.00	0.00
6 G1B - G1	35.30	0.05	0.00	0.26	21.78	0.33	0.00	0.00
7 G1B - G1	36.77	0.03	0.00	0.16	22.24	0.00	0.00	0.00
1 G1B - G2	36.93	0.06	0.10	0.26	22.23	0.00	0.05	0.02
2 G1B - G2	36.28	0.01	0.00	0.12	22.09	0.04	0.04	0.02
3 G1B - G2	35.68	0.04	0.00	0.23	21.84	0.43	0.00	0.01
4 G1B - G2	35.03	0.07	0.03	0.39	21.55	0.05	0.07	0.01
5 G1B - G2	34.55	0.06	0.00	0.37	21.65	0.37	0.00	0.01
6 G1B - G2	34.49	0.02	0.00	0.25	21.55	0.00	0.02	0.00
7 G1B - G2	36.02	0.03	0.06	0.30	22.09	0.00	0.00	0.00
1 G1B - G3	36.15	0.05	0.00	0.26	22.21	0.07	0.00	0.01
2 G1B - G3	36.64	0.04	0.00	0.44	22.35	0.00	0.00	0.00
3 G1B - G3	35.34	0.02	0.00	0.24	21.77	0.15	0.04	0.01
4 G1B - G3	35.18	0.00	0.01	0.22	21.75	0.00	0.00	0.00
5 G1B - G3	35.24	0.04	0.01	0.26	21.74	0.00	0.00	0.00
6 G1B - G3	35.12	0.02	0.04	0.31	21.71	0.00	0.01	0.03
7 G1B - G3	36.03	0.00	0.02	0.14	22.23	0.00	0.00	0.00
1 G1B - G4	36.66	0.01	0.00	0.29	21.83	0.13	0.05	0.01
2 G1B - G4	34.41	0.02	0.02	0.04	21.38	0.07	0.00	0.01

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
1 G1A - G1	0.23	16.09	0.23	25.95	100.50
2 G1A - G1	0.24	15.44	0.26	25.07	97.73
3 G1A - G1	0.21	16.31	0.25	25.73	99.91
4 G1A - G1	0.28	15.84	0.24	25.93	100.14
5 G1A - G1	0.21	15.67	0.26	25.85	100.04
6 G1A - G1	0.27	15.37	0.26	25.68	100.29
7 G1A - G1	0.24	15.63	0.26	25.51	100.39
8 G1A - G1	0.18	16.26	0.26	27.68	102.86
1 G1A - G2	0.31	15.51	0.20	25.31	99.27
2 G1A - G2	0.26	14.96	0.21	26.07	100.04
3 G1A - G2	0.35	14.52	0.19	25.96	99.50
4 G1A - G2	0.29	15.21	0.25	26.28	100.30
5 G1A - G2	0.18	15.68	0.25	25.25	99.80
6 G1A - G2	0.21	15.87	0.20	24.87	98.67
7 G1A - G2	0.22	15.72	0.24	24.29	97.87
8 G1A - G2	0.23	15.87	0.25	24.32	97.36
9 G1A - G2	0.16	15.89	0.25	24.69	95.69
10 G1A - G2	0.20	16.17	0.27	24.44	98.37
1 G1A - G3	0.25	14.78	0.28	25.07	98.26
2 G1A - G3	0.28	14.69	0.24	25.56	98.24
3 G1A - G3	0.30	14.70	0.27	25.87	99.72
4 G1A - G3	0.32	14.90	0.31	26.70	100.77
5 G1A - G3	0.32	14.20	0.23	25.01	95.48
6 G1A - G3	0.27	14.33	0.27	25.28	95.65
7 G1A - G3	0.31	14.57	0.29	24.92	95.96
8 G1A - G3	0.31	14.50	0.28	25.80	96.75
9 G1A - G3	0.29	14.78	0.27	25.33	97.27
10 G1A - G3	0.26	14.58	0.29	24.96	97.80
1 G1B - G1	0.18	16.82	0.12	25.10	100.07
2 G1B - G1	0.11	17.02	0.14	24.31	98.39
3 G1B - G1	0.11	17.28	0.15	23.91	98.20
4 G1B - G1	0.09	17.39	0.14	24.23	98.41
5 G1B - G1	0.15	16.42	0.14	24.08	97.73
6 G1B - G1	0.19	15.37	0.19	24.96	98.29
7 G1B - G1	0.37	13.34	0.22	27.66	100.79
1 G1B - G2	0.31	12.61	0.15	29.48	102.20
2 G1B - G2	0.31	13.37	0.22	26.93	99.41
3 G1B - G2	0.38	14.62	0.13	25.94	99.12
4 G1B - G2	0.26	14.79	0.15	25.63	98.01
5 G1B - G2	0.27	15.99	0.17	24.67	97.95
6 G1B - G2	0.21	16.54	0.16	24.19	97.43
7 G1B - G2	0.22	17.07	0.13	25.29	101.21
1 G1B - G3	0.32	17.57	0.20	24.88	101.70
2 G1B - G3	0.26	17.51	0.16	24.48	101.88
3 G1B - G3	0.23	16.91	0.15	23.93	98.72
4 G1B - G3	0.24	16.47	0.14	24.41	98.43
5 G1B - G3	0.22	15.33	0.15	24.95	97.95
6 G1B - G3	0.33	15.01	0.21	26.31	99.08
7 G1B - G3	0.35	14.64	0.25	28.72	102.37
1 G1B - G4	0.26	15.24	0.16	26.12	100.71
2 G1B - G4	0.30	13.93	0.20	26.77	97.11

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
3 G1B - G4	35.09	0.03	0.11	0.32	21.73	0.31	0.00	0.02
4 G1B - G4	35.48	0.03	0.11	0.32	21.64	0.00	0.00	0.04
5 G1B - G4	37.06	0.06	0.00	0.36	22.19	0.00	0.03	0.02
6 G1B - G4	87.47	0.00	0.02	0.00	4.00	0.00	0.02	0.08
7 G1B - G4	37.01	0.03	0.05	0.12	22.03	0.00	0.03	0.01
1 G4 - G1	36.52	0.00	0.03	0.18	22.01	0.00	0.02	0.00
2 G4 - G1	36.23	0.03	0.00	0.18	21.97	0.00	0.00	0.01
3 G4 - G1	36.25	0.06	0.00	0.22	22.08	0.02	0.00	0.00
4 G4 - G1	36.62	0.03	0.06	0.19	22.01	0.00	0.01	0.00
5 G4 - G1	36.11	0.01	0.10	0.27	21.99	0.00	0.00	0.00
6 G4 - G1	36.28	0.11	0.02	0.41	22.05	0.24	0.00	0.00
7 G4 - G1	36.27	0.01	0.00	0.30	22.17	0.03	0.01	0.00
8 G4 - G1	36.29	0.02	0.05	0.20	22.14	0.08	0.01	0.00
9 G4 - G1	35.83	0.01	0.00	0.39	22.05	0.00	0.03	0.00
10 G4 - G1	36.16	0.04	0.18	0.28	22.16	0.23	0.07	0.00
11 G4 - G1	36.73	0.00	0.03	0.30	22.37	0.00	0.03	0.01
12 G4 - G1	36.96	0.01	0.00	0.21	22.39	0.15	0.00	0.00
13 G4 - G1	36.98	0.00	0.04	0.14	22.31	0.05	0.05	0.01
14 G4 - G1	37.14	0.04	0.03	0.16	22.43	0.03	0.00	0.00
15 G4 - G1	37.22	0.03	0.03	0.12	22.32	0.11	0.00	0.01
1 G4 - G2	37.90	0.10	0.00	0.24	22.32	0.00	0.01	0.00
2 G4 - G2	37.76	0.03	0.06	0.23	22.29	0.00	0.00	0.01
3 G4 - G2	37.68	0.00	0.03	0.18	22.26	0.03	0.00	0.00
4 G4 - G2	37.78	0.00	0.00	0.20	22.34	0.03	0.04	0.00
5 G4 - G2	37.07	0.00	0.04	0.29	22.30	0.21	0.04	0.01
6 G4 - G2	37.24	0.00	0.00	0.22	22.39	0.00	0.01	0.01
7 G4 - G2	37.44	0.08	0.04	0.17	22.30	0.00	0.05	0.00
8 G4 - G2	37.41	0.04	0.03	0.21	22.23	0.06	0.03	0.00
9 G4 - G2	37.53	0.03	0.04	0.31	22.45	0.12	0.04	0.01
10 G4 - G2	37.86	0.05	0.01	0.22	22.40	0.29	0.01	0.01
1 G4 - G3	34.61	0.01	0.04	0.22	19.36	0.00	0.00	0.00
2 G4 - G3	34.98	0.08	0.01	0.20	21.73	0.00	0.02	0.01
3 G4 - G3	35.58	0.09	0.08	0.19	21.95	0.00	0.01	0.02
4 G4 - G3	34.93	0.02	0.00	0.23	21.85	0.13	0.01	0.01
5 G4 - G3	35.07	0.05	0.00	0.20	21.79	0.08	0.00	0.02
6 G4 - G3	34.92	0.01	0.03	0.16	21.63	0.39	0.00	0.00
7 G4 - G3	35.56	0.09	0.09	0.15	21.92	0.18	0.01	0.00
1 G5A - G1	34.95	0.05	0.04	0.34	21.53	0.00	0.01	0.01
2 G5A - G1	35.31	0.00	0.00	0.39	19.72	0.35	0.00	0.00
3 G5A - G1	34.17	0.01	0.00	0.45	19.32	0.00	0.02	0.00
4 G5A - G1	34.78	0.00	0.01	0.57	21.59	0.11	0.05	0.00
5 G5A - G1	34.89	0.03	0.05	0.58	21.56	0.00	0.01	0.01
6 G5A - G1	35.13	0.02	0.09	0.36	21.65	0.00	0.00	0.00
7 G5A - G1	35.89	0.08	0.00	0.38	21.58	0.00	0.04	0.01
8 G5A - G1	36.68	0.02	0.02	0.25	21.89	0.25	0.03	0.00
1 G5A - G2	34.53	0.02	0.00	0.06	19.81	0.02	0.00	0.01
2 G5A - G2	35.29	0.03	0.00	0.20	20.05	0.00	0.00	0.01
3 G5A - G2	34.56	0.00	0.00	0.33	19.39	0.00	0.00	0.01
4 G5A - G2	33.98	0.00	0.00	0.25	21.27	0.00	0.06	0.01
5 G5A - G2	35.69	0.02	0.03	0.28	19.94	0.00	0.02	0.00
6 G5A - G2	33.99	0.05	0.00	0.30	21.28	0.00	0.00	0.01
7 G5A - G2	35.33	0.00	0.00	0.34	19.87	0.23	0.00	0.01
8 G5A - G2	35.63	0.05	0.09	0.29	21.61	0.00	0.00	0.00
1 G5A - G3	35.05	0.05	0.00	0.22	21.73	0.10	0.00	0.01
2 G5A - G3	34.69	0.00	0.00	0.24	21.99	0.19	0.00	0.00

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
3 G1B - G4	0.22	15.01	0.20	26.66	99.58
4 G1B - G4	0.27	15.20	0.21	25.39	98.69
5 G1B - G4	0.24	15.86	0.19	27.20	103.20
6 G1B - G4	0.06	2.10	0.04	3.52	97.31
7 G1B - G4	0.32	13.17	0.19	27.33	100.27
1 G4 - G1	0.54	11.20	0.22	29.00	99.71
2 G4 - G1	0.42	11.53	0.24	28.81	99.42
3 G4 - G1	0.51	11.75	0.22	28.88	99.98
4 G4 - G1	0.46	12.13	0.17	29.16	100.86
5 G4 - G1	0.40	12.31	0.20	28.50	99.89
6 G4 - G1	0.45	12.19	0.15	28.76	100.55
7 G4 - G1	0.39	12.65	0.19	28.87	100.88
8 G4 - G1	0.48	12.48	0.19	28.90	100.79
9 G4 - G1	0.48	12.61	0.18	28.93	100.51
10 G4 - G1	0.47	12.47	0.18	27.68	99.82
11 G4 - G1	0.50	12.47	0.17	28.85	101.44
12 G4 - G1	0.46	12.42	0.16	29.50	102.20
13 G4 - G1	0.59	12.24	0.20	29.70	102.27
14 G4 - G1	0.47	11.80	0.26	29.89	102.23
15 G4 - G1	0.52	11.53	0.23	29.96	102.03
1 G4 - G2	0.55	12.39	0.25	29.28	103.05
2 G4 - G2	0.42	13.35	0.19	28.34	102.70
3 G4 - G2	0.43	13.42	0.20	28.23	102.45
4 G4 - G2	0.41	13.83	0.20	27.29	102.11
5 G4 - G2	0.37	13.99	0.22	27.53	101.99
6 G4 - G2	0.37	13.69	0.25	27.51	101.70
7 G4 - G2	0.48	13.40	0.23	28.03	102.22
8 G4 - G2	0.52	12.94	0.27	28.42	102.12
9 G4 - G2	0.51	11.83	0.28	29.21	102.28
10 G4 - G2	0.49	11.45	0.26	29.70	102.63
1 G4 - G3	0.54	11.72	0.25	29.51	96.26
2 G4 - G3	0.52	12.14	0.21	28.18	98.08
3 G4 - G3	0.49	12.54	0.24	27.24	98.41
4 G4 - G3	0.42	12.64	0.20	27.72	98.10
5 G4 - G3	0.53	12.60	0.24	27.43	97.98
6 G4 - G3	0.48	12.33	0.26	28.02	98.07
7 G4 - G3	0.47	11.78	0.27	28.31	98.75
1 G5A - G1	0.32	12.14	0.16	28.01	97.55
2 G5A - G1	0.41	11.19	0.20	27.36	94.78
3 G5A - G1	0.38	11.83	0.23	28.73	95.12
4 G5A - G1	0.42	12.07	0.21	28.00	97.78
5 G5A - G1	0.39	11.81	0.19	28.24	97.75
6 G5A - G1	0.40	12.54	0.24	27.50	97.94
7 G5A - G1	0.39	12.02	0.22	27.67	98.28
8 G5A - G1	0.48	12.09	0.21	28.27	100.08
1 G5A - G2	0.39	10.97	0.17	29.58	95.54
2 G5A - G2	0.34	11.07	0.20	28.95	96.14
3 G5A - G2	0.41	11.36	0.19	29.65	95.89
4 G5A - G2	0.35	11.52	0.22	26.66	94.30
5 G5A - G2	0.43	11.53	0.22	29.37	97.53
6 G5A - G2	0.41	11.60	0.21	27.22	95.06
7 G5A - G2	0.45	11.38	0.23	29.81	97.55
8 G5A - G2	0.52	11.58	0.24	28.92	98.94
1 G5A - G3	0.38	12.02	0.20	31.18	100.91
2 G5A - G3	0.44	11.84	0.20	30.75	100.26

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
3 G5A - G3	35.47	0.04	0.03	0.33	21.78	0.00	0.00	0.00
4 G5A - G3	35.34	0.04	0.04	0.25	20.16	0.00	0.00	0.00
5 G5A - G3	36.29	0.01	0.06	0.23	21.95	0.00	0.00	0.00
6 G5A - G3	36.22	0.07	0.12	0.13	21.86	0.00	0.00	0.00
7 G5A - G3	35.57	0.06	0.00	0.05	21.78	0.00	0.05	0.01
8 G5A - G3	36.42	0.00	0.00	0.14	22.07	0.00	0.00	0.02
G5A - G2 I - 1	96.76	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00
G5A - G2 I - 2	90.98	0.00	0.05	0.00	0.05	0.19	0.00	0.00
G5A - G2 I - 3	92.27	0.00	0.00	0.01	0.06	0.43	0.00	0.00
G5A - G1 I - 1	73.60	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
G5A - G1 I - 2	26.78	0.05	0.10	2.71	0.62	0.00	0.00	0.00
G5A - G1 I - 3	25.24	0.00	0.03	4.82	0.50	0.00	0.00	0.00
G5A - G1 I - 4	23.42	0.09	0.03	5.48	0.74	0.00	0.00	0.00
G5A - G1 I - 5	27.59	0.25	0.00	1.82	0.46	0.28	0.05	0.00
G5A - G1 I - 6	96.76	0.01	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
1 G5B - G1	36.33	0.05	0.09	0.34	20.58	0.00	0.00	0.01
2 G5B - G1	37.36	0.01	0.00	0.33	21.44	0.19	0.09	0.01
3 G5B - G1	36.25	0.00	0.13	0.39	20.64	0.42	0.05	0.00
4 G5B - G1	36.25	0.06	0.07	0.26	20.72	0.62	0.00	0.01
5 G5B - G1	36.15	0.08	0.09	0.38	20.69	0.33	0.03	0.01
6 G5B - G1	36.08	0.03	0.00	0.28	20.48	0.26	0.01	0.00
7 G5B - G1	36.15	0.05	0.00	0.28	19.88	0.05	0.02	0.00
8 G5B - G1	36.11	0.08	0.00	0.31	20.39	0.00	0.00	0.00
G5B Inc. 1	0.16	0.08	0.02	40.56	0.05	4.23	0.05	0.00
G5B Inc. 2	0.18	0.11	0.00	37.03	0.03	5.18	0.00	0.00
G5B Inc. 3	0.17	0.11	0.11	37.76	0.01	5.04	0.00	0.00
1 G5B - G2	36.59	0.00	0.03	0.22	22.41	0.00	0.00	0.00
2 G5B - G2	36.63	0.00	0.08	0.30	22.56	0.00	0.00	0.00
3 G5B - G2	35.94	0.00	0.01	0.24	20.33	0.00	0.02	0.00
4 G5B - G2	37.03	0.03	0.04	0.20	22.51	0.01	0.00	0.02
5 G5B - G2	35.81	0.00	0.13	0.26	20.22	0.49	0.01	0.00
6 G5B - G2	35.34	0.06	0.02	0.29	20.14	0.03	0.02	0.00
7 G5B - G2	36.93	0.00	0.01	0.25	22.51	0.22	0.00	0.00
8 G5B - G2	36.25	0.00	0.10	0.27	20.67	0.00	0.00	0.02
G5B Inc. 4	95.65	0.04	0.14	0.00	0.05	0.50	0.00	0.01
G5B Inc. 5	95.80	0.02	0.06	0.03	0.03	0.12	0.02	0.00
1 G6E - G1	34.70	0.01	0.00	0.62	20.02	0.00	0.03	0.01
2 G6E - G1	32.90	0.12	0.00	0.52	19.50	0.01	0.02	0.00
3 G6E - G1	32.53	0.05	0.00	0.60	19.36	0.13	0.01	0.01
4 G6E - G1	32.85	0.03	0.00	0.51	19.40	0.00	0.01	0.00
5 G6E - G1	33.39	0.07	0.05	0.47	19.52	0.07	0.03	0.02
6 G6E - G1	34.25	0.00	0.00	0.60	19.65	0.28	0.01	0.00
7 G6E - G1	35.07	0.04	0.07	0.53	20.00	0.66	0.01	0.00
8 G6E - G1	35.72	0.05	0.11	0.48	20.33	0.38	0.02	0.00
9 G6E - G1	36.65	0.01	0.00	0.47	20.75	0.00	0.00	0.00
1 G6E - G2	35.37	0.00	0.07	0.17	20.23	0.00	0.02	0.00
2 G6E - G2	33.42	0.03	0.00	0.29	19.73	0.18	0.05	0.01
3 G6E - G2	33.00	0.04	0.00	0.26	19.69	0.10	0.04	0.00
4 G6E - G2	33.97	0.08	0.00	0.28	19.88	0.18	0.02	0.03
5 G6E - G2	34.70	0.00	0.04	0.32	20.14	0.00	0.00	0.00
6 G6E - G2	35.29	0.07	0.00	0.28	20.25	0.27	0.00	0.00
7 G6E - G2	35.80	0.00	0.09	0.17	20.50	0.03	0.00	0.01
8 G6E - G2	36.42	0.00	0.02	0.20	20.85	0.13	0.00	0.01
9 G6E - G2	36.66	0.02	0.00	0.27	21.05	0.00	0.00	0.00
1 G6E - G3	36.08	0.04	0.04	0.26	20.45	0.05	0.04	0.00

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
3 G5A - G3	0.40	11.87	0.18	29.23	99.34
4 G5A - G3	0.44	11.97	0.22	31.53	99.98
5 G5A - G3	0.33	11.71	0.17	28.83	99.57
6 G5A - G3	0.28	11.95	0.15	28.58	99.35
7 G5A - G3	0.25	12.58	0.21	27.67	98.23
8 G5A - G3	0.32	12.41	0.17	28.50	100.04
G5A - G2 I - 1	0.01	0.06	0.00	0.09	97.04
G5A - G2 I - 2	0.00	0.01	0.00	0.02	91.23
G5A - G2 I - 3	0.00	0.00	0.00	0.00	92.59
G5A - G1 I - 1	0.00	0.01	0.01	0.08	73.72
G5A - G1 I - 2	0.03	1.08	1.08	2.18	34.61
G5A - G1 I - 3	0.06	0.42	1.41	1.33	33.80
G5A - G1 I - 4	0.04	0.76	1.35	1.41	33.31
G5A - G1 I - 5	0.01	1.24	0.49	2.81	34.86
G5A - G1 I - 6	0.01	0.01	0.00	0.03	96.90
1 G5B - G1	0.56	12.31	0.20	31.29	101.75
2 G5B - G1	0.45	12.40	0.19	29.44	101.83
3 G5B - G1	0.44	12.59	0.23	30.25	101.20
4 G5B - G1	0.39	12.26	0.26	30.87	101.52
5 G5B - G1	0.46	11.97	0.25	30.78	101.08
6 G5B - G1	0.42	12.67	0.21	30.65	100.99
7 G5B - G1	0.38	12.01	0.22	29.61	98.64
8 G5B - G1	0.44	12.79	0.19	31.56	101.86
G5B Inc. 1	0.11	3.98	49.69	1.67	98.82
G5B Inc. 2	0.07	2.89	46.18	1.07	90.56
G5B Inc. 3	0.00	3.18	47.54	1.23	93.01
1 G5B - G2	0.60	12.51	0.27	29.61	102.22
2 G5B - G2	0.68	12.19	0.29	29.91	102.63
3 G5B - G2	0.72	12.18	0.27	32.37	102.07
4 G5B - G2	0.66	11.56	0.34	30.45	102.85
5 G5B - G2	0.59	11.96	0.26	30.83	100.34
6 G5B - G2	0.59	11.87	0.28	30.62	99.25
7 G5B - G2	0.59	11.71	0.26	29.66	102.06
8 G5B - G2	0.56	12.97	0.23	31.05	102.10
G5B Inc. 4	0.00	0.04	0.00	0.02	96.24
G5B Inc. 5	0.00	0.00	0.02	0.00	96.06
1 G6E - G1	0.24	18.55	0.23	27.09	101.49
2 G6E - G1	0.22	17.53	0.21	26.10	97.13
3 G6E - G1	0.21	18.29	0.24	27.19	98.56
4 G6E - G1	0.20	18.20	0.21	25.86	97.28
5 G6E - G1	0.13	17.67	0.23	25.72	97.33
6 G6E - G1	0.18	17.97	0.19	26.20	99.22
7 G6E - G1	0.17	17.84	0.21	26.01	100.32
8 G6E - G1	0.25	17.43	0.25	26.36	101.22
9 G6E - G1	0.24	16.32	0.28	27.21	101.94
1 G6E - G2	0.53	13.85	0.26	29.46	99.96
2 G6E - G2	0.37	15.35	0.22	29.04	98.60
3 G6E - G2	0.29	15.92	0.23	29.07	98.61
4 G6E - G2	0.31	15.85	0.17	28.61	99.30
5 G6E - G2	0.40	15.45	0.21	29.80	101.05
6 G6E - G2	0.46	14.74	0.27	29.75	101.25
7 G6E - G2	0.44	13.75	0.28	30.30	101.35
8 G6E - G2	0.57	12.97	0.24	30.67	102.02
9 G6E - G2	0.49	13.04	0.29	31.00	102.81
1 G6E - G3	0.53	13.74	0.28	30.84	102.33

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
2 G6E - G3	34.46	0.05	0.02	0.15	19.82	0.00	0.03	0.00
3 G6E - G3	33.37	0.05	0.01	0.24	19.60	0.00	0.00	0.00
4 G6E - G3	33.22	0.09	0.03	0.23	19.44	0.00	0.00	0.00
5 G6E - G3	33.99	0.05	0.00	0.27	19.80	0.00	0.00	0.00
6 G6E - G3	34.63	0.08	0.00	0.18	19.92	0.00	0.00	0.00
7 G6E - G3	35.43	0.04	0.00	0.29	20.34	0.08	0.00	0.00
8 G6E - G3	36.13	0.04	0.02	0.13	20.74	0.26	0.02	0.00
G6E Inc. 1	92.91	0.00	0.02	0.00	0.00	0.61	0.03	0.00
G6E Inc. 2	97.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
1 G7C - G1	33.94	0.03	0.00	0.37	19.37	0.00	0.00	0.01
2 G7C - G1	34.94	0.09	0.00	0.42	19.84	0.00	0.03	0.01
3 G7C - G1	35.04	0.07	0.04	0.34	19.85	0.00	0.00	0.00
4 G7C - G1	34.84	0.04	0.04	0.36	19.91	0.23	0.02	0.00
5 G7C - G1	34.66	0.05	0.13	0.42	19.75	0.00	0.00	0.02
6 G7C - G1	35.08	0.02	0.15	0.32	19.93	0.00	0.04	0.02
7 G7C - G1	34.89	0.00	0.00	0.28	19.87	0.00	0.00	0.00
8 G7C - G1	35.04	0.03	0.02	0.24	19.66	0.00	0.00	0.00
1 G7C - G2	35.31	0.00	0.02	0.26	20.00	0.00	0.00	0.00
2 G7C - G2	34.21	0.07	0.05	0.25	19.49	0.13	0.04	0.00
3 G7C - G2	36.97	0.00	0.06	0.28	19.40	0.28	0.01	0.00
4 G7C - G2	35.12	0.07	0.11	0.25	20.06	0.21	0.00	0.00
5 G7C - G2	34.34	0.03	0.00	0.20	19.82	0.00	0.00	0.01
6 G7C - G2	35.19	0.03	0.03	0.26	19.90	0.00	0.07	0.00
7 G7C - G2	34.68	0.00	0.02	0.26	19.95	0.06	0.00	0.00
8 G7C - G2	35.16	0.03	0.05	0.26	19.71	0.00	0.03	0.00
1 G7C - G3	92.64	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.01
2 G7C - G3	34.67	0.07	0.05	0.24	19.92	0.00	0.00	0.00
1 G7E - G1	32.05	0.00	0.04	0.49	20.08	0.05	0.02	0.01
2 G7E - G1	27.34	0.03	0.04	0.59	19.46	0.00	0.00	0.00
3 G7E - G1	25.90	0.03	0.06	0.56	20.59	0.00	0.00	0.00
4 G7E - G1	34.74	0.07	0.00	0.52	20.32	0.00	0.01	0.00
5 G7E - G1	35.50	0.00	0.02	0.47	20.62	0.24	0.01	0.00
6 G7E - G1	36.11	0.00	0.11	0.51	20.51	0.14	0.01	0.00
7 G7E - G1	35.61	0.00	0.00	0.49	20.43	0.52	0.00	0.02
8 G7E - G1	34.85	0.02	0.04	0.61	19.98	0.00	0.08	0.00
1 G7E - G2	35.82	0.00	0.00	0.50	20.78	0.27	0.00	0.01
2 G7E - G2	36.11	0.04	0.02	0.44	20.51	0.02	0.00	0.01
3 G7E - G2	35.55	0.01	0.08	0.46	20.61	0.07	0.03	0.00
4 G7E - G2	33.57	0.02	0.04	0.49	20.22	0.00	0.01	0.00
5 G7E - G2	34.97	0.04	0.02	0.46	20.60	0.06	0.06	0.01
6 G7E - G2	35.71	0.05	0.06	0.52	20.47	0.00	0.01	0.00
7 G7E - G2	35.77	0.05	0.03	0.55	20.39	0.00	0.04	0.00
8 G7E - G2	34.42	0.00	0.00	0.56	20.28	0.00	0.00	0.01
1 G7E - G3	35.37	0.10	0.13	0.49	20.67	0.37	0.00	0.00
2 G7E - G3	35.34	0.02	0.04	0.64	20.61	0.00	0.03	0.00
3 G7E - G3	34.00	0.08	0.03	0.61	20.54	0.46	0.00	0.03
4 G7E - G3	35.22	0.07	0.05	0.56	20.73	0.00	0.00	0.00
5 G7E - G3	35.76	0.01	0.07	0.53	20.63	0.00	0.00	0.01
6 G7E - G3	35.34	0.01	0.00	0.50	20.71	0.07	0.00	0.00
7 G7E - G3	35.27	0.02	0.05	0.49	20.66	0.26	0.00	0.00
8 G7E - G3	35.80	0.01	0.00	0.64	20.30	0.32	0.00	0.00
1 G7F - G1	34.28	0.06	0.07	0.30	19.96	0.00	0.00	0.01
2 G7F - G1	35.98	0.05	0.00	0.24	20.44	0.12	0.00	0.01
3 G7F - G1	35.18	0.01	0.03	0.24	20.55	0.00	0.00	0.01
4 G7F - G1	34.64	0.03	0.00	0.27	20.26	0.00	0.00	0.01

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
2 G6E - G3	0.57	12.46	0.25	31.18	98.99
3 G6E - G3	0.66	12.37	0.30	31.84	98.43
4 G6E - G3	0.70	12.54	0.26	32.50	98.99
5 G6E - G3	0.56	12.86	0.20	31.59	99.33
6 G6E - G3	0.55	12.64	0.24	31.46	99.69
7 G6E - G3	0.56	12.20	0.20	31.73	100.83
8 G6E - G3	0.46	13.23	0.20	31.33	102.45
G6E Inc. 1	0.00	0.00	0.00	0.00	93.32
G6E Inc. 2	0.00	0.03	0.00	0.09	97.24
1 G7C - G1	0.19	14.23	0.24	27.74	96.10
2 G7C - G1	0.24	14.77	0.24	25.86	96.43
3 G7C - G1	0.20	16.17	0.24	25.82	97.78
4 G7C - G1	0.21	15.85	0.25	26.89	98.54
5 G7C - G1	0.22	16.03	0.25	26.53	98.06
6 G7C - G1	0.18	15.62	0.28	26.50	98.13
7 G7C - G1	0.24	16.07	0.27	26.88	98.49
8 G7C - G1	0.28	15.54	0.22	26.55	97.58
1 G7C - G2	0.45	12.39	0.27	29.15	97.86
2 G7C - G2	0.56	12.59	0.27	29.53	97.14
3 G7C - G2	0.47	11.88	0.27	27.29	96.78
4 G7C - G2	0.51	12.39	0.26	29.18	98.08
5 G7C - G2	0.47	12.26	0.31	28.99	96.43
6 G7C - G2	0.46	12.39	0.29	28.83	97.43
7 G7C - G2	0.54	12.39	0.25	28.87	97.01
8 G7C - G2	0.46	12.65	0.24	29.04	97.63
1 G7C - G3	0.01	0.03	0.01	0.00	92.75
2 G7C - G3	0.39	14.00	0.24	26.91	96.49
1 G7E - G1	0.14	18.35	0.23	26.74	98.16
2 G7E - G1	0.19	18.22	0.20	26.59	92.66
3 G7E - G1	0.20	17.83	0.21	25.72	91.10
4 G7E - G1	0.11	18.40	0.25	26.66	101.08
5 G7E - G1	0.23	17.95	0.24	26.10	101.28
6 G7E - G1	0.12	18.13	0.24	25.75	101.57
7 G7E - G1	0.15	17.84	0.23	25.93	100.99
8 G7E - G1	0.19	17.37	0.24	24.78	98.16
1 G7E - G2	0.16	17.72	0.22	26.29	101.64
2 G7E - G2	0.20	17.69	0.24	26.11	101.36
3 G7E - G2	0.23	17.34	0.25	26.58	101.18
4 G7E - G2	0.17	17.24	0.23	25.97	97.96
5 G7E - G2	0.19	17.64	0.21	26.51	100.74
6 G7E - G2	0.21	17.92	0.19	26.54	101.68
7 G7E - G2	0.14	17.97	0.23	25.52	100.68
8 G7E - G2	0.11	18.54	0.21	27.20	101.34
1 G7E - G3	0.35	16.88	0.20	27.65	102.05
2 G7E - G3	0.22	18.28	0.25	26.63	102.06
3 G7E - G3	0.19	18.39	0.20	27.27	101.62
4 G7E - G3	0.24	18.33	0.21	26.40	101.81
5 G7E - G3	0.19	17.65	0.22	26.28	101.34
6 G7E - G3	0.19	18.34	0.23	26.29	101.65
7 G7E - G3	0.20	18.42	0.24	26.57	102.05
8 G7E - G3	0.18	17.53	0.20	25.39	100.24
1 G7F - G1	0.54	13.76	0.26	30.09	99.32
2 G7F - G1	0.43	14.26	0.30	29.44	101.21
3 G7F - G1	0.44	14.76	0.28	29.80	101.29
4 G7F - G1	0.44	14.38	0.28	29.93	100.24

Ponto	SiO ₂ %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	Al ₂ O ₃ %	F %	Cr ₂ O ₃ %	K ₂ O %
5 G7F - G1	34.39	0.03	0.04	0.27	20.47	0.00	0.00	0.00
6 G7F - G1	33.77	0.00	0.03	0.23	20.38	0.00	0.03	0.00
7 G7F - G1	33.67	0.00	0.01	0.22	20.25	0.00	0.03	0.00
1 G7F - G2	35.87	0.11	0.00	0.52	20.45	0.00	0.00	0.00
2 G7F - G2	35.82	0.07	0.07	0.54	20.47	0.00	0.00	0.00
3 G7F - G2	35.86	0.08	0.09	0.29	20.49	0.00	0.02	0.00
4 G7F - G2	35.95	0.07	0.00	0.45	20.24	0.09	0.01	0.00
5 G7F - G2	35.87	0.04	0.14	0.46	20.21	0.00	0.00	0.00
6 G7F - G2	35.56	0.06	0.06	0.57	20.33	0.00	0.00	0.00
7 G7F - G2	35.68	0.05	0.02	0.56	19.97	0.00	0.00	0.01
1 G7F - G3	35.71	0.00	0.01	0.39	20.43	0.00	0.02	0.01
2 G7F - G3	35.48	0.04	0.00	0.24	20.22	0.00	0.03	0.01
3 G7F - G3	35.97	0.05	0.00	0.37	20.42	0.18	0.00	0.02
4 G7F - G3	35.74	0.04	0.08	0.34	20.35	0.00	0.00	0.00
5 G7F - G3	36.12	0.08	0.00	0.28	20.48	0.00	0.00	0.00
6 G7F - G3	35.53	0.06	0.04	0.34	20.38	0.00	0.01	0.00
7 G7F - G3	36.00	0.05	0.06	0.23	20.48	0.43	0.03	0.01
1 G7F - G4	34.93	0.00	0.00	0.26	20.61	0.16	0.03	0.02
2 G7F - G4	35.54	0.03	0.00	0.27	20.45	0.00	0.00	0.00
3 G7F - G4	35.95	0.01	0.00	0.31	20.65	0.00	0.01	0.00
4 G7F - G4	35.85	0.05	0.15	0.33	20.54	0.00	0.01	0.00
5 G7F - G4	35.86	0.04	0.00	0.42	20.57	0.16	0.00	0.01
6 G7F - G4	35.93	0.00	0.03	0.26	20.59	0.00	0.00	0.00
7 G7F - G4	36.14	0.10	0.00	0.25	20.27	0.32	0.00	0.00

Ponto	MgO %	MnO %	CaO %	FeO %	Total %
5 G7F - G1	0.41	14.41	0.30	30.20	100.52
6 G7F - G1	0.38	14.19	0.25	30.60	99.85
7 G7F - G1	0.48	14.30	0.29	29.77	99.03
1 G7F - G2	0.43	15.42	0.22	28.71	101.72
2 G7F - G2	0.39	14.75	0.19	28.26	100.57
3 G7F - G2	0.38	14.89	0.25	28.88	101.22
4 G7F - G2	0.36	14.49	0.20	27.58	99.40
5 G7F - G2	0.36	15.57	0.24	27.03	99.92
6 G7F - G2	0.29	16.13	0.25	26.42	99.66
7 G7F - G2	0.23	16.25	0.20	26.32	99.29
1 G7F - G3	0.36	14.90	0.29	28.51	100.64
2 G7F - G3	0.33	14.79	0.28	28.80	100.21
3 G7F - G3	0.37	14.60	0.26	28.39	100.56
4 G7F - G3	0.34	14.95	0.29	28.19	100.32
5 G7F - G3	0.36	14.50	0.26	29.07	101.15
6 G7F - G3	0.42	14.18	0.29	28.67	99.93
7 G7F - G3	0.40	14.00	0.28	29.21	101.00
1 G7F - G4	0.42	13.21	0.25	30.04	99.86
2 G7F - G4	0.38	13.69	0.23	29.77	100.36
3 G7F - G4	0.45	14.42	0.20	28.70	100.69
4 G7F - G4	0.43	15.01	0.21	28.34	100.90
5 G7F - G4	0.42	14.44	0.23	28.74	100.82
6 G7F - G4	0.52	13.96	0.23	29.64	101.15
7 G7F - G4	0.45	13.50	0.27	29.21	100.37

a