



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOLÓGICA



MARCOS FIGUEIREDO DOS REIS

UNIDADES DE INTERESSE AGRONÔMICO DA REGIÃO SETENTRIONAL DA ZONA
DA MATA MINEIRA – CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA
DO RESÍDUO DA PEDREIRA ERVÁLIA-MG

OURO PRETO

MARÇO 2026

**UNIDADES DE INTERESSE AGRONÔMICO DA REGIÃO
SETENTRIONAL DA ZONA DA MATA MINEIRA –
CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DO
RESÍDUO DA PEDREIRA ERVÁLIA-MG**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitor

Prof. Dr. Luciano Campos da Silva

Vice-Reitora

Prof.^a Dr.^a Roberta Eliane Santos Froes

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Marlice de Oliveira e Nogueira

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretora

Prof.^a. Dr.^a. Irce Fernandes Gomes Guimarães

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Joney Justo da Silva

Vice-Chefe

Prof. Dr. Isaac Daniel Rudnitzki

MARCOS FIGUEIREDO DOS REIS

**UNIDADES DE INTERESSE AGRONÔMICO DA REGIÃO SETENTRIONAL DA
ZONA DA MATA MINEIRA – CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA E FÍSICO-
QUÍMICA DO RESÍDUO DA PEDREIRA ERVÁLIA-MG**

Monografia do Projeto Final de Curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Projeto Final de Curso – GEO 144, ano 2025/2.

Orientadora: Profa. Dra. Alice Fernanda de Oliveira Costa

Coorientador: Msc. Marcelo de Souza Marinho

OURO PRETO

MARÇO 2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R375u Reis, Marcos Figueiredo dos.
Unidades de interesse agrônomo da região setentrional da Zona da Mata Mineira - caracterização mineralógica e físico-química do resíduo da Pedreira Ervália-MG. [manuscrito] / Marcos Figueiredo dos Reis. - 2026.
89 f.

Orientadora: Profa. Dra. Alice Fernanda de Oliveira Costa.
Coorientador: Me. Marcelo de Souza Marinho.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Solos - Remineralização. 2. Agronomia. 3. Gnaisse. 4. Resíduos industriais - Minas e mineração. I. Costa, Alice Fernanda de Oliveira. II. Marinho, Marcelo de Souza. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 622.79:631.8

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcos Figueiredo dos Reis

Unidades de Interesse Agrônomo da região setentrional da Zona da Mata Mineira - caracterização mineralógica e físico-química do resíduo da Pedreira Ervália-MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 06 de Março de 2026

Membros da banca

Dra. Alice Fernanda de Oliveira Costa - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Msc. Marcelo de Souza Marinho - Coorientador (Serviço Geológico do Brasil)
Dra. Alice Fernanda de Oliveira Costa - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Edgar Batista Medeiros Júnior - (Universidade Federal de Viçosa)
Dr. Lucas Pereira Leão - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Alice Fernanda de Oliveira Costa, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 06/04/2026



Documento assinado eletronicamente por **Alice Fernanda de Oliveira Costa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/04/2026, às 13:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1086689** e o código CRC **C8CD9B31**.

Aos meus pais que me apoiaram e lutaram muito para que eu conseguisse percorrer meu caminho de forma segura, aos meus irmãos por estarem sempre comigo e fazerem do meu sonho o deles, a minha tia Elaine por sempre acreditar e apoiar em meus estudos, a república Butantan e todos que fazem dela sua casa por me dar morada e conforto nos momentos de alegria e mais difíceis e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

A realização deste Projeto de Conclusão de Curso representa a concretização de mais uma etapa na minha jornada acadêmica, e isso não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas e instituições.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me dar força, saúde e perseverança para enfrentar os desafios ao longo deste percurso.

Aos meus pais, Maria Roseli de Figueiredo e Marcos Antônio dos Reis e aos meus irmãos, Janine, Edilaine, Marília e Mateus, pelo amor incondicional, pelo apoio nos momentos difíceis e por sempre acreditarem no meu potencial. Sem vocês, esta conquista não teria o mesmo significado.

Aos meus orientadores, Alice Fernanda e Marcelo de Souza, pela dedicação, paciência e orientações valiosas que foram essenciais para o desenvolvimento deste projeto. Sua experiência e incentivo foram fundamentais para minha formação.

Agradecimento especial ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM pela parceria fundamental, que tornou possível a realização deste trabalho e contribuiu de forma decisiva para a qualidade e relevância dos resultados alcançados.

Aos meus amigos e colegas de curso, Carol Marcussi, Dener Lopes, Juan Lorenço, Kethelle D'ars, Mariana Rosa, Mayele Lacerda e Vitória França em especial pelo apoio mútuo, pelas trocas de conhecimento e pela parceria ao longo desta caminhada acadêmica.

Aos professores e demais profissionais da UFOP e CEFET-MG de Ouro Preto, em especial Edison Tazava, Issamu, Maria Eugênia, Maria Augusta, Gustavo Melo e Rodson, que além de compartilharem seus conhecimentos e contribuírem para minha formação, foram fonte de esperança e amizade dentro do departamento.

Aos técnicos Luíz Claudio e Lucas, que de contribuíram de forma crucial para a qualidade e relevância dos resultados alcançados.

À grandiosa República Butantan por me acolher e dar morada quando mais precisei e aos seus moradores e ex-alunos em especial: Daniel Ximenes, Bruno Nascier, Phillipe da Cunha, Raphael Tuna, Luís Magalhães, Lazaro Andrade, Caio Cajazeiro, Raul Tanaka, João Vitor e Milton Dimas.

E, por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta formação se tornasse realidade. Meu sincero agradecimento!

“Não lutamos por integração ou por separação. Lutamos
para sermos reconhecidos como seres humanos.”

(Malcom X)

RESUMO

O presente trabalho avalia o potencial agronômico de unidades geológicas localizadas na porção setentrional da Zona da Mata Mineira, com ênfase na identificação de Unidades de Interesse Agronômico e na viabilidade de utilização de resíduos da mineração como remineralizadores de solos. A pesquisa parte do contexto da elevada dependência brasileira de fertilizantes importados e da necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis, especialmente no âmbito da agricultura orgânica e da economia circular. Este trabalho teve como objetivo caracterizar mineralógica, geoquímica e granulometricamente o gnaiss da Pedreira Ervália, visando avaliar seu potencial como remineralizador de solos na agricultura. A metodologia envolveu revisão bibliográfica sobre rochagem e agrominerais silicáticos, coleta de amostras em campo, análises petrográficas em lâmina delgada, análises geoquímicas, além de análises granulométricas pelos métodos de peneiramento, pipeta e difração a laser, bem como determinação da área superficial específica. Os resultados indicaram que a rocha apresenta composição intermediária, classificada como monzodiorítica e de caráter metaluminoso, com predominância de minerais como plagioclásio, anfibólio, quartzo e biotita. Em termos químicos apresenta teores relevantes de nutrientes essenciais às plantas, como K, Ca, Mg e Fe. A análise granulométrica demonstrou distribuição de partículas compatível com os requisitos normativos para remineralizadores, favorecendo a liberação gradual de nutrientes no solo. Conclui-se que o gnaiss da Pedreira Ervália apresenta características mineralógicas, geoquímicas e físicas adequadas ao uso como remineralizador, representando uma alternativa sustentável para a melhoria da fertilidade dos solos e para o aproveitamento de resíduos da atividade minerária.

Palavras-chave: Rochagem; Potencial Agronômico; Remineralizadores; Gnaiss; Resíduos.

ABSTRACT

The present work evaluates the agronomic potential of geological units located in the northern portion of the Zona da Mata Mineira, with emphasis on the identification of Units of Agronomic Interest and the feasibility of using mining residues as soil remineralizers. The research is based on the context of Brazil's high dependence on imported fertilizers and the need for more sustainable agricultural practices, especially within the scope of organic agriculture and the circular economy. This work aimed to characterize mineralogically, geochemically, and granulometrically the gneiss from the Ervália Quarry, in order to evaluate its potential as a soil remineralizer in agriculture. The methodology involved a bibliographic review on rock powdering and silicate agrominerals, field sample collection, petrographic analyses in thin section, geochemical analyses, as well as granulometric analyses by sieving, pipette, and laser diffraction methods, in addition to the determination of specific surface area. The results indicated that the rock presents an intermediate composition, classified as monzodioritic and metaluminous in character, with predominance of minerals such as plagioclase, amphibole, quartz, and biotite, as well as relevant contents of essential plant nutrients, such as K, Ca, Mg, and Fe. The granulometric analysis demonstrated a particle size distribution compatible with the normative requirements for remineralizers, favoring the gradual release of nutrients into the soil. It is concluded that the gneiss from the Ervália Quarry presents mineralogical, geochemical, and physical characteristics suitable for use as a remineralizer, representing a sustainable alternative for improving soil fertility and for the reuse of mining activity residues.

Keywords: Rock Powdering; Agronomic Potential; Remineralizers; Gneiss; Residues.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da Zona da Mata Mineira e dos Municípios que atualmente fazem parte do coletivo SPG-FLORIÔ.....	22
Figura 2 - Mapa de localização e acesso da Pedreira Ervália.	23
Figura 3 – Contexto geotectônico e geológico da área de estudo. (a) Mapa simplificado do arcabouço tectônico regional, destacando o domínio setentrional do compartimento da Faixa Ribeira. (b) Com destaque para as Unidades de Interesse Agrônômico na região setentrional Zona da Mata Mineira.....	25
Figura 4 – Fluxograma metodológico do estudo, apresentando as principais etapas desenvolvidas.....	29
Figura 5 - Gráficos para comparação geoquímica das rochas em relação aos padrões estabelecidos nas instruções normativas de nº 5 (a) Porcentual das Somas de Bases (CaO+MgO+K ₂ O) das amostras em relação ao mínimo estabelecido na Normativa de nº 5. (b) Porcentual de K ₂ O das amostras em relação ao mínimo estabelecido na normativa de nº 5... 44	44
Figura 6 - Gráficos de micronutrientes das amostras com dados preexistentes em relação a normativa de nº 5. (a) Gráfico de porcentagem P ₂ O ₅ por amostra. (b) Concentração de Co (ppm) por amostra. (c) Concentração de Cu (ppm) por amostra. (d) Percentual de Fe por amostra. (e) Percentual de Mn por amostra. (f) Concentração de Ni (ppm) por amostra.	46
Figura 7 - Mapa das áreas com potencial reinserção de rejeitos na região da Zona da Mata Mineira.....	49
Figura 8 - Afloramento estudado em campo, Pedreira Ervália, visada para norte.....	50
Figura 9 – Fotomicrografias da amostra PE-04, representativa do afloramento da pedreira. (a) Evidência de pertita no K-feldspato (Pl). (b) Grão de plagioclásio com maclas deformadas e formação de fraturamentos longitudinais. (c) Intercrescimento de anfibólio, biotita e opacos (LP) (d) Anfibólio com coronas de biotita e alteração carbonática.	52
Figura 10 - Interface do software “ModAn”, apresentando a estimativa modal dos minerais presentes na amostra PE-04.	53
Figura 11 – Diagramas discriminatórios para a amostra PE-04 da Pedreira Ervália: (a) Classificação petrológica SiO ₂ vs Álcalis. (b) Índice de aluminosidade.	54
Figura 12 - Curva granulométrica, pelo método de peneiramento do pó de rocha de gnaiss rejeito a Pedreira Ervália.....	57
Figura 13 - Curva granulométrica, pelo método de granulometria por difração a laser do pó de rocha de gnaiss rejeito a Pedreira Ervália.	59

Figura 14 – Curva BET de área superficial do pó de rocha de gnaissse rejeito a Pedreira Ervália.	60
Figura A.I, A - Afloramento estudado em campo, Pedreira Ervália, visada para norte.....	69
Figura A.I, B - Porfiroblastos sin-tectônico, com presença de fusão parcial.....	70
Figura A.I, C - diques com paredes difusas.....	70
Figura A.I, D - Amostra PE-01: Gnaisses com maior frequência de bandamento e maior representação da banda leucocrática.....	70
Figura A.I, E - Amostra PE-02: Gnaissse com maior representação da parte melanocrática. ..	70
Figura A.I, F – Amostra PE-03: Gnaissse com presença do dique leucocrático.....	70
Figura A.I, G - Amostra PE-04: de gnaissse representando a transição da parte melanocrática para leucocrática.....	70
Figura A.I, H – Amostra PE-05: representando parte felsica do afloramento com presença de pirita.....	70
Figura A.I, I – Amostra PE-06: Porfiroblastos máficos nos diques.....	70
Figura A.I, J - Amostra PE-07: Pó de rocha, produzido na pedreira Ervália.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Região Geográfica Intermediária Juiz de Fora e suas 10 Regiões Imediatas.	21
Tabela 2 - Especificações de natureza física dos remineralizadores.....	37
Tabela 3 - Tolerâncias admitidas para os remineralizadores com relação à especificação de natureza física	37
Tabela 4 - Especificações de natureza física para os produtos sólidos granulados, mistura de grânulos, microgranulados, pó, farelados e pastilhas.....	39
Tabela 5 - Com relação à granulometria dos produtos para as partículas passantes (mínimo):	39
Tabela 6 - Com relação à granulometria dos produtos para as partículas passantes (máximo):.....	40
Tabela 7 - Especificações de natureza física para produtos sólidos dos fertilizantes orgânicos e biofertilizantes.....	41
Tabela 8 - Tolerância com relação à natureza física do produto.....	41
Tabela 9 - Valores médios e desvio-padrão para macronutrientes das unidades geológicas do norte da Zona da Mata Mineira.....	47
Tabela 10 – Valores médios e desvio padrão para micronutrientes das unidades geológicas do norte da Zona da Mata Mineira.....	47
Tabela 11 – Distribuição Granulométrica do pó de rocha pelo método de peneiramento	57
Tabela 12 - Resultados da análise granulométrica pelo método da pipeta.....	58
Tabela A.II, A – Coordenadas das amostras pré-existentes do Grupo Andrelândia	72
Tabela A.II, B – Coordenadas das amostras pré-existentes do Complexo Juiz de Fora	72
Tabela A.II, C – Coordenadas das amostras pré-existentes do Anfíbolito do Santo Antônio do Grama.....	73
Tabela A.II, D – Coordenadas das amostras pré-existentes do Batólito Muriaé.....	73
Tabela A.III, A - Dados Geoquímicos obtidos da amostra PE-04.	74
Tabela AX.I, A - Análises litoquímicas das amostras do Grupo Andrelândia (elementos maiores em % peso; traços em ppm; pgn, paragnaisse; xst, granada-biotita xisto).....	76
Tabela AX.I, B – Características petroquímica das rochas do complexo Juiz de Fora	78
Tabela AX.I, C – Teores de elementos maiores (%), traços e terras raras (ppm) de nove amostras de anfíbolito e uma de rocha meta-ultramáfica (MU) da região de Santo Antônio do Grama.....	81

Tabela AX.I, D- Dados Litoquímicos dos litotipos representantes da Unidade Gnaiss Migmatítico e granito foliado leucocrático (Batólito Muriaé)	83
Tabela AX.I, E- Dados Químicos das rochas da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Avaliação geoquímica da amostra PE-04 em relação à Instrução Normativa No5 (remineralizadores)	55
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAO	Associação de Agricultura Orgânica
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
Amp	Anfibólio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BET	Brunauer, Emmett e Teller
Bt	Biotita
Ca	Cálcio
Carb	Carbonato
CaO	Óxido de cálcio
CE	Condutividade elétrica
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
CRA	Capacidade de Retenção de Água
Fe	Ferro
FIG.	Figura
IA	Inteligência Artificial
ICP-OES	<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry</i>
IN	Instrução Normativa
K	Potássio
K ₂ O	Óxido de potássio
Kfs	K-feldspato
LPC	Luz polarizada cruzada
LPP	Luz plano polarizada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mg	Magnésio
MgO	Óxido de magnésio
Mn	Manganês

Mt	Megatonelada
Ni	Níquel
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
Pb	Chumbo
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
PK	Soma de fósforo e potássio
png	Paragnaisse
PRNT	Poder de Neutralização Total
Qtz	Quartzo
REM	Remineralizadores
SIG	Sistema de Informação Geográfica
TAS	Total Alkali-
UIA	Unidades de Interesse Agronômico
vs	versos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Apresentação	18
1.2 Objetivo.....	20
1.3 Localização e Motivação da Área de Estudo	21
1.4 Justificativa	23
2. GEOLOGIA REGIONAL	25
2.1 Geologia da porção setentrional da zona da Mata Mineira.....	25
2.1.1 Complexo Mantiqueira.....	26
2.1.2 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo	26
2.1.3 Complexo Juiz de Fora.....	27
2.1.4 Batólito Muriaé	27
2.1.5 Grupo Andrelândia.....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Revisão bibliográfica sobre os temas: agrominerais silicáticos e rochagem	30
3.2 Dados Geoquímicos Pré-Existentes e Integração no SIG	31
3.3 Trabalho de Campo	31
3.4 Caracterização Petrográfica e Mineralógica	32
3.5 Análise Geoquímica	32
3.6 Análise Granulométrica	33
3.6.1 Método do Peneiramento	33
3.6.2 Método da Pipeta.....	34
3.6.3 Granulometria por Difração a Laser	34
3.6.4 <i>BET Surface area analyzer</i>	34
3.7 Integração e interpretação dos resultados	35
4. ESTADO DA ARTE	36
4.1 Produtos de Origem Mineral.....	36
4.2 Critérios Litoquímicos e de Natureza Física Para Produtos de Origem Mineral	36
4.2.1 Remineralizadores.....	36
4.2.2 Fertilizantes Minerais e Organominerais	37
4.2.3 Corretivos de Acidez e Condicionadores do Solo.....	41
4.2.4 Substrato para plantas	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 Dados Geoquímicos Pré-Existentes e Integração no SIG	44
5.2 Estudo de Caso.....	49
5.2.1 Características Petrográficas e Mineralogia.....	50
5.2.2 Análise Geoquímica	53

5.2.3 Análise Granulométrica	56
6 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE I.....	68
APÊNDICE II	72
APÊNDICE III.....	74
ANEXO I	76

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A agricultura orgânica familiar fundamenta-se em sistemas produtivos que empregam práticas sustentáveis sem o uso de insumos químicos sintéticos, visando à produção de alimentos de qualidade, à preservação ambiental e à promoção da saúde dos consumidores. Segundo a Associação de Agricultura Orgânica (AAO), a agricultura orgânica familiar quadruplicou a sua produção nas últimas décadas, o que ampliou a demanda por insumos agrícolas de origem natural. Entretanto, a disponibilidade e o acesso a esses insumos ainda representam um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores familiares.

Paralelamente, o agronegócio configura-se como um dos pilares da economia do Brasil, o que tem acarretado no aumento do consumo e importação de fertilizantes químicos (CASTRO *et al.*, 2021). Esse cenário intensifica a dependência externa do país e levanta preocupações de ordem ambiental, econômica e estratégica, reforçando a necessidade de alternativas que promovam a redução do uso desses insumos convencionais. Dados recentes evidenciam que a produção nacional de fertilizantes é significativamente inferior à demanda interna, tornando o Brasil altamente dependente da importação desses produtos. Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2025), no ano de 2024, a produção nacional de fertilizante intermediário e complexo NPK foi de aproximadamente 6,0 Mt, enquanto a importação de fertilizante intermediários e complexos NPK foi de aproximadamente de 33,5 Mt.

Nesse contexto, a rochagem, também denominada remineralização ou pó de rocha (*rock-for-crops*), destaca-se como uma alternativa promissora. Essa técnica baseia-se no uso de rochas submetidas exclusivamente a processos físicos, como cominuição e peneiramento, sem adição de reagentes químicos ou tratamento térmico, com o objetivo de repor nutrientes perdidos por processos naturais ou pelo uso intensivo do solo. A rochagem pode atuar como complemento ou substituto parcial dos fertilizantes convencionais, especialmente no âmbito da agricultura familiar, promovendo o aumento da fertilidade do solo com menor impacto ambiental (LAPIDO-LOUREIRO *et al.*, 2008).

As rochas máficas e ultramáficas apresentam potencial para atuar na neutralização da acidez dos solos em função do seu Poder de Neutralização (PN), associado principalmente à

presença de minerais ricos em magnésio. Durante os processos de intemperismo e dissolução mineral no ambiente pedogenético, esses minerais liberam cátions básicos, especialmente Mg^{2+} , contribuindo para o aumento da saturação por bases e atuando, portanto, como fonte de magnésio para o solo.

No caso específico dos serpentinitos, rochas de composição ultramáfica predominantemente formadas por minerais do grupo da serpentina, os processos de decomposição e alteração química no solo promovem a liberação e posterior lixiviação de Mg e Ca, resultando na formação e acumulação residual de óxidos e hidróxidos de Al, Si e Fe no material alterado (CHEGSWORTH, 1973; BLASKOWSKI *et al.*, 2017). Esse comportamento geoquímico está diretamente relacionado à instabilidade desses silicatos magnésicos em condições superficiais, favorecendo sua contribuição para os processos de alteração mineral e para o fornecimento de nutrientes ao sistema solo-planta.

Os agrominerais silicáticos apresentam particular relevância nesse contexto, por fornecerem nutrientes de forma gradual e contribuírem para a melhoria das propriedades físico-químicas dos solos a longo prazo (PÁDUA, 2012; VIOLANTE, 2024). Esses materiais constituem fontes potenciais de potássio e outros elementos essenciais ao desenvolvimento de plantas, presentes em minerais como feldspatos potássicos, mica, feldspatoides (leucita, mais potássica e nefelina, mais sódica) e argilominerais (LAPIDO-LOUREIRO *et al.*, 2008). Além disso, os argilominerais desempenham papel fundamental no aumento da Capacidade de Troca Catiônica (CTC), favorecendo a retenção de nutrientes e a melhoria da qualidade do solo (VIOLANTE, 2024).

Apesar do reconhecido potencial agronômico da rochagem, sua eficiência depende diretamente das características mineralógicas, geoquímicas e granulométricas das rochas utilizadas, bem como da ausência de contaminantes, como elementos potencialmente tóxicos. Dessa forma, a identificação e a caracterização detalhada de materiais com potencial agronômico tornam-se etapas essenciais para a aplicação segura e eficiente dessa técnica, sobretudo considerando a variabilidade litológica existente no território brasileiro. Ressalta-se que o Brasil apresenta ampla diversidade litológica, com diferentes litotipos que podem ser utilizados como agrominerais silicáticos, já vem sendo investigados em estudos recentes, como o basalto, diabásio, biotita xisto, fonolito, (SILVA *et al.*, 2012; RAMOS *et al.*, 2014; TOSCANI & CAMPOS, 2017).

No entanto, variações composicionais entre diferentes tipos de rochas, bem como dentro de um mesmo litotipo, em função de sua área de ocorrência, reforçam a necessidade de estudos regionais específicos, capazes de subsidiar a seleção de materiais com maior potencial agronômico. Nesse sentido, a Zona da Mata Mineira destaca-se como área de interesse estratégico, por ser reconhecida como Polo Agroecológico estabelecido pela Lei Estadual nº 23.207, de 27 de dezembro de 2018) e apresentar demanda crescente por insumos agrícolas de origem natural. Além do potencial para a agricultura orgânica, a aplicação da rochagem nessa região também se relaciona à possibilidade de reinserção de resíduos da mineração na cadeia produtiva, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais e para a promoção dos princípios da economia circular.

Diante desse cenário, este trabalho propõe a avaliação do potencial agronômico, sob os pontos de vista mineralógico e geoquímico, de unidades geológicas presentes na porção setentrional da Zona da Mata Mineira. A partir da caracterização dessas unidades, busca-se identificar Unidades de Interesse Agronômico (UIA) e realizar sua espacialização em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), de modo a subsidiar a seleção de materiais com maior potencial para uso como remineralizadores do solo. Os resultados esperados contribuem tanto para o fortalecimento da agricultura orgânica regional quanto para o aproveitamento sustentável de materiais geológicos e resíduos da mineração.

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial agronômico, sob o ponto de vista mineralógico e geoquímico, de unidades geológicas presentes na porção setentrional da Zona da Mata Mineira, com vistas à identificação de Unidades de Interesse Agronômico (UIA) e à espacialização dessas unidades em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Como objetivos específicos, tem-se:

- i. Caracterizar mineralogicamente, geoquimicamente e granulometricamente amostras de rochas com potencial agronômico coletadas em campo;
- ii. Compilar e sistematizar as informações litogeoquímicas das rochas com potencial agronômico disponíveis na literatura e em base de dados existentes;
- iii. Organizar e integrar os dados litogeoquímicos no Sistema de Informação Geográfica (SIG) visando à análise espacial das unidades estudadas;

- iv. Aprofundar os conhecimentos sobre remineralizadores do solo, tema ainda pouco abordado nas disciplinas curriculares dos cursos de Geologia, mas de crescente relevância científica e econômica no contexto da indústria agrícola;
- v. Avaliar a relação entre a espacialização das UIA's e as atividades de mineração na região, considerando o potencial de aproveitamento de resíduos minerários como insumos agrícolas.

1.3 Localização e Motivação da Área de Estudo

A área de estudo insere-se na Zona da Mata Mineira, localizada na porção sudeste do estado de Minas Gerais (FIG. 1). Essa região abrange aproximadamente 35,7 mil Km², sendo constituída por 10 Regiões Geográficas Intermediárias e englobando 146 municípios (TAB.1).

Tabela 1 - Região Geográfica Intermediária Juiz de Fora e suas 10 Regiões Imediatas.

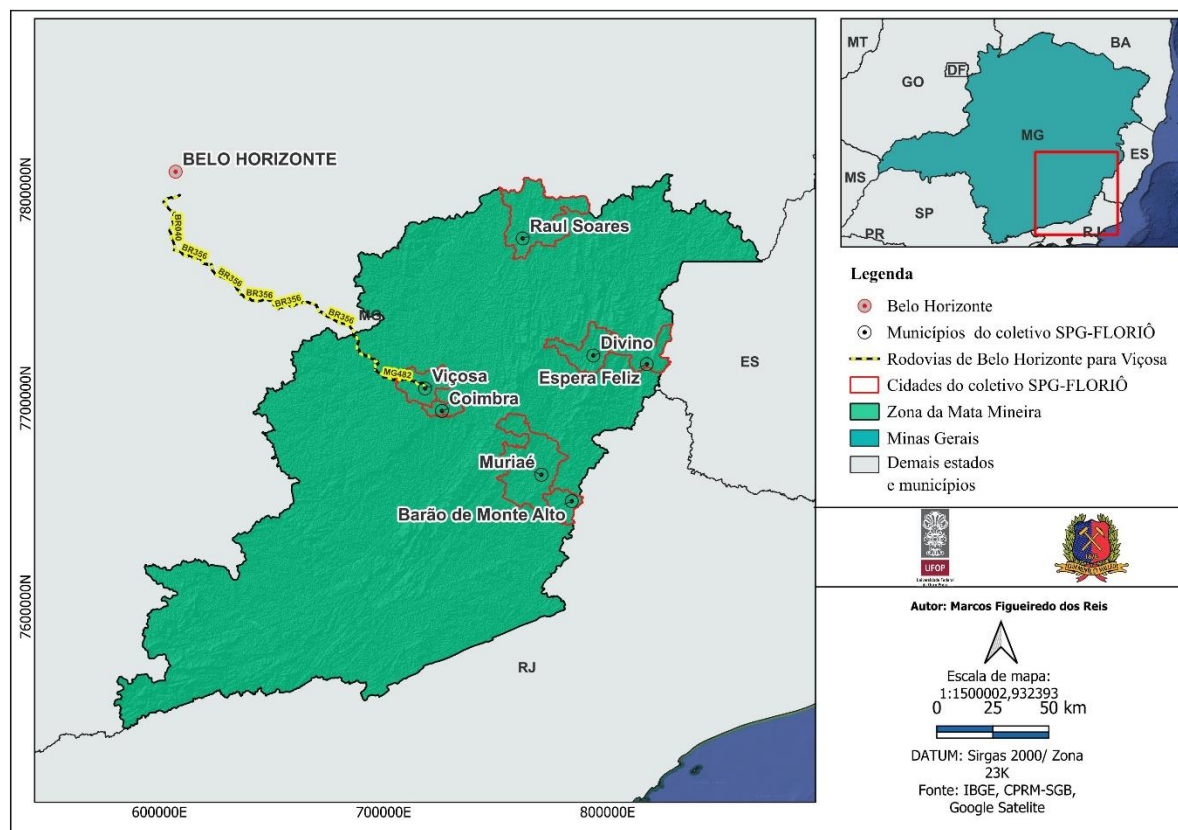
Região Geográfica Intermediária	Nº de municípios
Juiz de Fora	29
Manhuaçu	24
Ubá	17
Ponte Nova	19
Muriaé	12
Cataguases	10
Viçosa	12
Carangola	9
São João Nepomuceno-Bicas	9
Além Paraíba	5
Total	146

Fonte: Machado e Caraméz (2024, p. 40).

A escolha da Zona da Mata Mineira como área de estudo justifica-se pela crescente demanda por insumos agrícolas de origem natural, especialmente após a sanção da Lei Estadual nº 23.207, de 27 de dezembro de 2018, que institui o Polo Agroecológico e de Produção Orgânica da Zona da Mata Mineira. Essa legislação reforça a necessidade de identificar e avaliar alternativas regionais de fertilizantes naturais, alinhadas aos princípios da agroecologia e da agricultura orgânica (MINAS GERAIS, 2018). Diante desse contexto, o presente estudo concentra-se na porção setentrional da Zona da Mata Mineira, onde atua o Sistema Participativo de Garantia Floriô, formado por fornecedores(as) e colaboradores(as) organizados em grupos comprometidos com a certificação orgânica participativa na região. O

coletivo abrange 29 propriedades rurais distribuídas em sete municípios: Barão de Monte Alto, Coimbra, Divino, Espera Feliz, Muriaé, Raul Soares e Viçosa (FIG. 1) e que reúne agricultoras e agricultores certificados ou que almejam a certificação de seus produtos orgânicos.

Figura 1 - Mapa de Localização da Zona da Mata Mineira e dos Municípios que atualmente fazem parte do coletivo SPG-FLORIÔ.

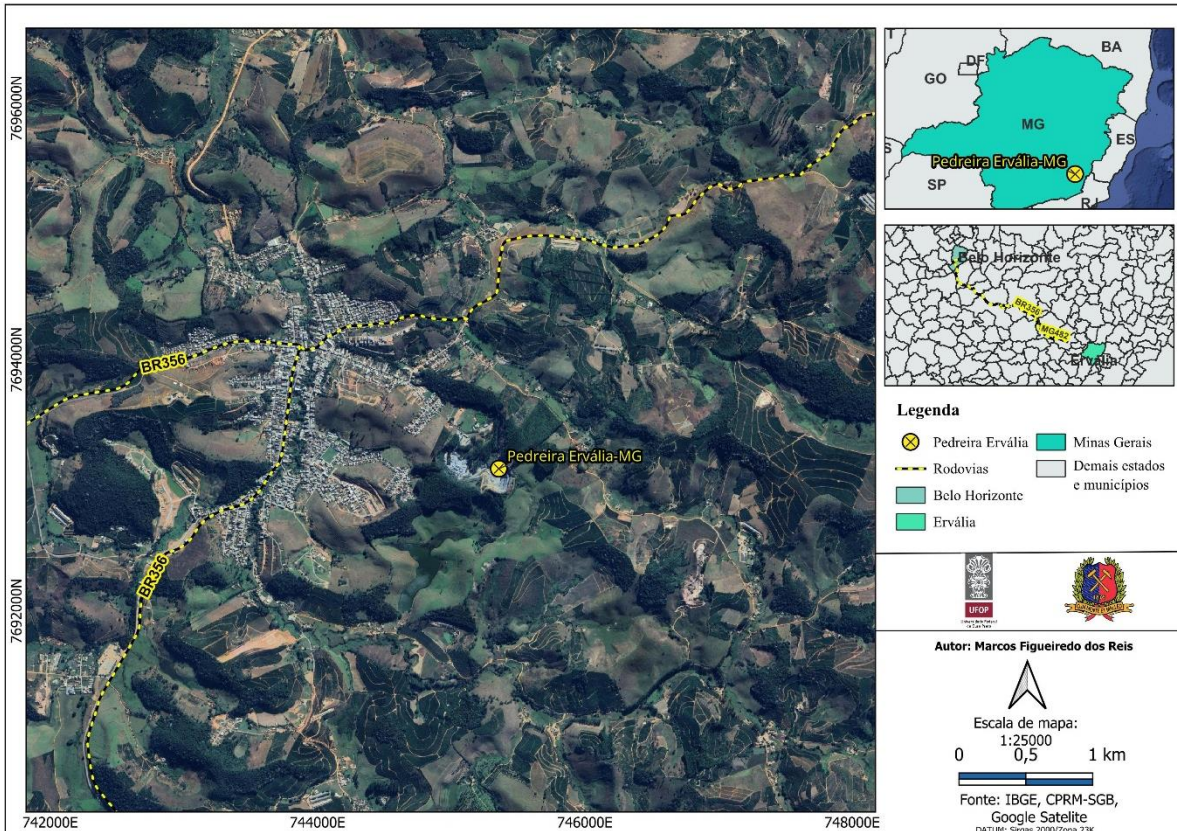


A delimitação dessa área visa atender à demanda local por insumos compatíveis com a agricultura orgânica, bem como avaliar as áreas potenciais de produção de remineralizadores das áreas consumidoras, reduzindo custos logísticos e impactos ambientais associados ao transporte. Uma pedreira potencial foi selecionada com base nos estudos dados geoquímicos compilados da literatura.

A pedreira situa-se a aproximadamente 260 km de Belo Horizonte. O acesso de Belo Horizonte a Ervália (MG) é feito principalmente pela BR-040 até Mariana, seguindo pela MG-262 até Ponte Nova, MG-120 até Viçosa e, por fim, MG-280 até Ervália. O acesso final à pedreira ocorre por vias locais, até a Rua da Pedreira (FIG. 2). O acesso à área de estudo é considerado satisfatório, com vias trafegáveis e sinalização adequada, o que facilita o transporte de materiais e a realização de atividades técnicas, como a coleta de amostras e estudos

mineralógicos. O ponto de coleta está localizado nas coordenadas UTM X = 745.397 m e Y = 7.693.082 m, Zona 23K.

Figura 2 - Mapa de localização e acesso da Pedreira Ervália.



1.4 Justificativa

O Brasil vem consolidando sua economia agroexportadora, o que acarreta uma demanda crescente por insumos agrícolas, especialmente fertilizantes. Esse cenário tem intensificado a dependência do país em relação à importação de fertilizantes químicos, gerando implicações econômicas, ambientais e estratégicas. Nesse contexto, a aplicação de pó de rocha como agromineral silicático tem se destacado como uma alternativa viável para o fornecimento de nutrientes ao solo, contribuindo para a redução da dependência externa e para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis.

Além de fornecer nutrientes de forma gradual, a rochagem contribui para a melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas dos solos, promovendo reestruturação e favorecendo sistemas produtivos da base agroecológicas. Dessa forma, a técnica apresenta especial relevância para a agricultura orgânica e familiar, que demanda insumos de origem natural compatíveis com seus princípios produtivos.

A Zona da Mata Mineira destaca-se nesse cenário por ser reconhecida como Polo Agroecológico, apresentando significativa produção agrícola de base orgânica e agroecológica. Entretanto, a aplicação eficiente da rochagem nessa região requer a identificação de materiais geológicos adequados, o que torna fundamental o reconhecimento e a caracterização das Unidades de Interesse Agronômico (UIA). A avaliação mineralógica e geoquímica dessas unidades permite selecionar rochas com maior potencial agronômico e menor risco ambiental, assegurando o uso responsável desses materiais.

Adicionalmente, a rochagem tem despertado grande interesse pela possibilidade de reaproveitamento de resíduos da mineração, como estéreis e rejeitos, no ciclo produtivo. Essa abordagem contribui para a mitigação de impactos ambientais associados à atividade minerária, promove os princípios da economia circular e agrega valor a materiais anteriormente considerados passivos ambientais.

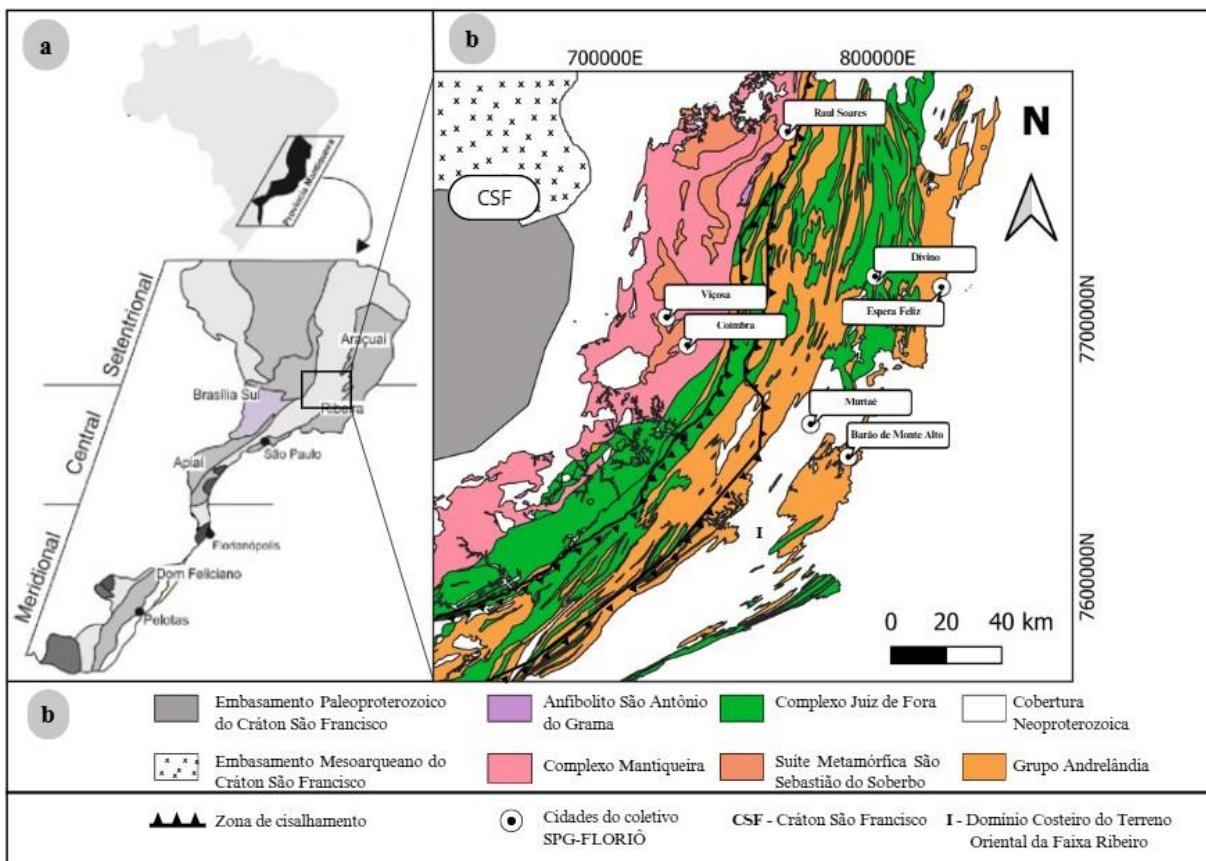
Nesse sentido, o presente trabalho justifica-se pela necessidade de subsidiar tecnicamente a aplicação da rochagem na Zona da Mata Mineira, por meio da avaliação mineralógica e geoquímica de unidades geológicas e da sua espacialização em ambiente SIG. Os resultados obtidos poderão ampliar as alternativas para a produção de insumos agrícolas de origem mineral, fortalecer práticas agrícolas sustentáveis e viabilizar uma destinação mais adequada para resíduos da mineração, alinhando-se às diretrizes de desenvolvimento sustentável e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, com destaque para os ODS 1 (Erradicação da Pobreza), ODS 2 (Fome Zero) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis).

2. GEOLOGIA REGIONAL

2.1 Geologia da porção setentrional da zona da Mata Mineira

A área de estudo está inserida na região sudeste do domínio externo do Orógeno Araçuaí, que corresponde a um cinturão de dobras e cavalgamento desenvolvido durante a orogenia Brasiliana-Pan-Africana, limitando o Cráton São Francisco em suas porções sul e sudeste (ALMEIDA, 1977; BITTENCOURT, 2022). Na porção setentrional da Zona da Mata Mineira, foco deste estudo, afloram unidades geológicas representativas desse contexto orogênico, destacando-se a Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo, os complexos Mantiqueira (com presença do anfibolito do Santo Antônio do Grama) e Juiz de Fora, além do Batólito Muriaé e o Grupo Andrelândia (Figura 3).

Figura 3 – Contexto geotectônico e geológico da área de estudo. (a) Mapa simplificado do arcabouço tectônico regional, destacando o domínio setentrional do compartimento da Faixa Ribeira. (b) Com destaque para as Unidades de Interesse Agrônômico na região setentrional Zona da Mata Mineira.



Fonte: Modificado de Costa & Nascimento (2015)

2.1.1 Complexo Mantiqueira

Segundo Noce *et al.* (2007a) o Complexo Mantiqueira constitui-se de uma associação de corpos máficos e granitoides, com composição variando de tonalítica a granítica. O litotipo predominante corresponde a um biotita-anfibólio ortognaisse bandado, pertencentes a suítes cálcio-alcálicas. As rochas associadas são classificadas como do tipo transicionais, enquanto as rochas remanescentes supracrustais ocorrem sob a forma de xenólitos, quartzitos e rochas cálcio-silicáticas (DUARTE *et al.*, 2004; FIGUEIREDO & TEIXEIRA, 1996; NOCE *et al.*, 2007a).

Idades U-Pb SHRIMP indicam que a cristalização magmática dos gnaisses ocorreu entre 2180 e 2041 Ma (SILVA *et al.*, 2002, NOCE *et al.*, 2007a). Dados isotópicos de Sr e Nd, aliados à presença de zircões herdados, sugerem-se que os protólitos desses gnaisses originaram por fusão parcial de material crustal arqueano, sendo o ambiente tectônico mais provável o de arco magmático continental (NOCE *et al.*, 2007a; FIGUEIREDO & TEIXEIRA, 1996).

Na porção leste do Complexo Mantiqueira, Fischel (1998) obteve idades modelo Sm–Nd em torno de 890 Ma para os Anfibolito do Santo Antônio do Grama, interpretando sua formação em um regime tectônico distensional, anterior às colisões associadas à Orogenia Brasileira. Petrograficamente, Queiroga (2019) classifica esses anfibolitos como ortoderivados, apresentando textura granoblástica, com granulação predominante média. A porção nematoblástica é composta, essencialmente por anfibólio (hornblenda), clinopiroxênio, plagioclásio cálcico e titanita, enquanto os principais minerais acessórios são apatita, quartzo e sulfetos (calcopirita, pirita e pirrotita). A paragênese mineral indica condições metamórficas correspondentes às fácies anfibolito de alto grau a granulito.

2.1.2 Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo

A Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo é composta por rochas metassedimentares de idades paleoproterozoicas e neoproterozoicas, associadas a um magmatismo pré a sintectônico do Sistema Orogénico Mantiqueira (SILVA, 2000).

Essa unidade foi definida por Brandalise (1991) durante o mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Ponte Nova, no limite sul da Folha Coronel Fabriciano. De acordo com a definição original, a suíte corresponde a uma sequência de rochas metassedimentares representadas por anfibólio-biotita gnaisses, anfibolitos, rochas calcissilicáticas, muscovita

quartzitos e muscovita-quartzo xisto, contendo injeções graníticas sintectônicas (SILVA, 2000).

2.1.3 Complexo Juiz de Fora

O Complexo Juiz de Fora é caracterizado por uma extensa faixa de granulitos ortoderivados, com composição granítica e gabroica, registrando pelo menos dois eventos metamórficos. O primeiro evento corresponde a condições de fácies granulito, evidenciadas pela paragênese mineral composta por ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio, ortoclásio, quartzo e hornblenda. O segundo evento metamórfico está associado à Orogenia Brasileira, no Neoproterozoico, sendo responsável pela transformação dessas rochas em ortognaisses (DUARTE *et al.*, 2000; HEILBRON *et al.*, 1995, 2003, 2004; BITTENCOURT, 2022). Datações U-Pb SHRIMP obtidas por Noce *et al.*, (2007b), forneceram idade de cristalização dos gnaisses de 2119 e 2084 Ma e idade de metamorfismo 590 e 574 Ma. Essas rochas são interpretadas como produtos de arco de ilha associado a uma zona de subdução intraoceânica.

2.1.4 Batólito Muriaé

A unidade é composta por um conjunto de ortognaisses com variação composicional desde termos gabróicos até graníticos, intensamente deformados sob condições metamórficas de médio a alto grau e amplamente afetados por processos de anatexia. Com base em critérios petrográficos e estruturais, Figueiredo (2009) subdivide o batólito em três unidades litológicas principais: gnaisse migmatítico, granito foliado e gnaisse leucocrático, as quais registram diferentes estágios de deformação e fusão parcial.

De acordo com Figueiredo (2009), o Batólito de Muriaé constitui um expressivo corpo plutônico neoproterozoico inserido no contexto tectônico do Orógeno Araçuai, na porção meridional da Província Mantiqueira. Em termos conceituais, batólitos correspondem a grandes intrusões ígneas, predominantemente granitóides, geradas em ambientes de margem continental ativa ou em contextos colisionais, geralmente associadas à edificação de arcos magmáticos e ao conseqüente espessamento crustal.

Segundo Figueiredo (2009) a unidade apresenta idade cristalização magmática no intervalo de 620 a 592 Ma, situando a unidade no Ediacarano (Neoproterozoico), em consonância com o estágio pré- a sincolisional da orogênese brasileira (Figueiredo, 2009).

2.1.5 Grupo Andrelândia

O Grupo Andrelândia, definido por Ebert (1956), corresponde a uma sequência metassedimentar neoproterozoica associada à evolução dos orógenos brasileiros. Na região de Muriaé, insere-se no contexto da porção meridional do Orógeno Araçuaí, em continuidade com o Orógeno Ribeira, refletindo a dinâmica tectônica relacionada à margem do Cráton do São Francisco durante o Neoproterozoico (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2001; HEILBRON *et al.*, 2004; NOCE *et al.*, 2007c).

Na Folha Manhauçu, o Grupo Andrelândia ocorre a leste da Zona de Cisalhamento de Abre Campo, formando faixas alongadas tectonicamente intercaladas com o Complexo Juiz de Fora, de idade paleoproterozoica, de aproximadamente 2134 Ma (MACHADO *et al.*, 1996; NOCE *et al.*, 2007c). Seus protólitos, compostos por sedimentos pelíticos a psamíticos depositados em ambientes de plataforma e sistemas turbidíticos (PACIULLO, 1997; RIBEIRO *et al.*, 2003), foram metamorfisados em condições de fácies anfibolito alto a granulito.

As associações minerais, com granada, sillimanita e localmente ortopiroxênio, indicam metamorfismo de alta temperatura relacionado ao estágio sincolisional da Orogênese Brasileira (585–565 Ma), seguido por reequilíbrio (Noce *et al.*, 2007c). Litologicamente, predominam paragnaisses derivados de sedimentos pelito-grauvaqueanos, com intercalações subordinadas de quartzitos, anfibolitos e rochas cálcio-silicáticas.

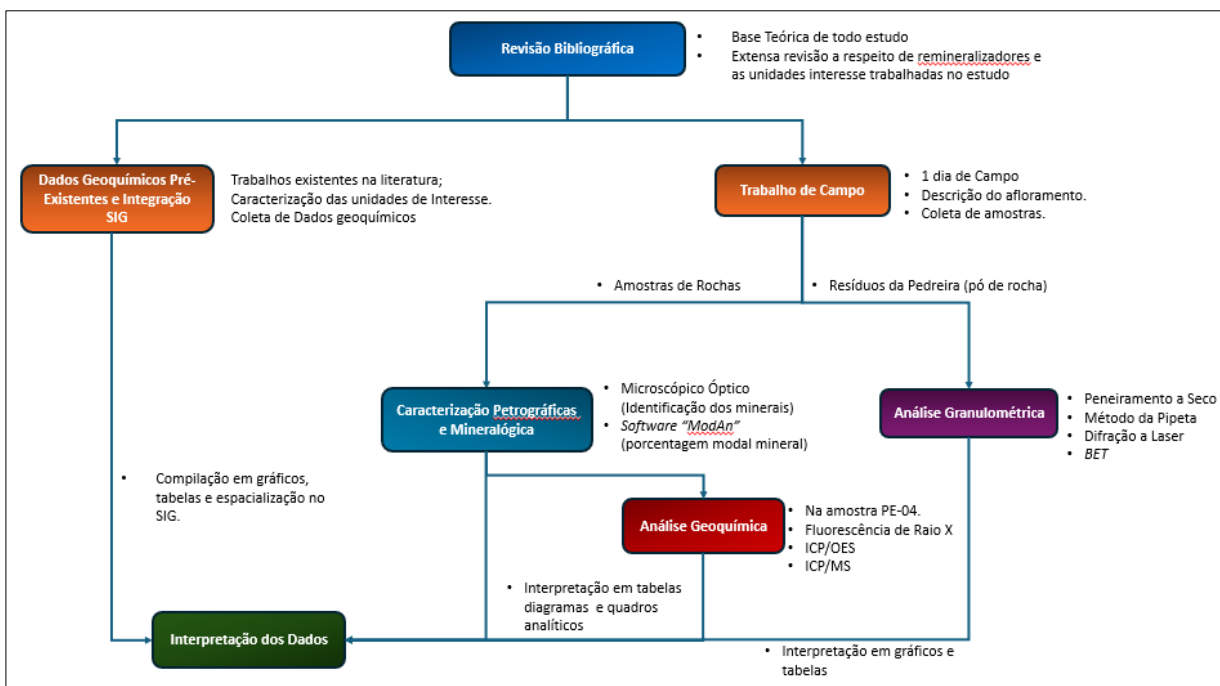
3. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico adotado neste estudo foi estruturado em diferentes etapas integradas, envolvendo levantamento bibliográfico, compilação de dados geoquímicos preexistentes, atividades de campo e análises laboratoriais. Inicialmente, realizou-se uma revisão da literatura com o objetivo de estabelecer a base teórica do trabalho e reunir informações sobre as unidades geológicas investigadas e seu potencial como remineralizadores de solo. Em seguida, foram compilados dados geoquímicos disponíveis na literatura e integrados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), permitindo a organização espacial das informações

Posteriormente, em uma área escolhida, devido a facilidade de acesso, foram conduzidas atividades de campo para descrição de afloramentos e coleta de amostras de rochas e resíduos de pedreira (pó de rocha). As amostras obtidas foram submetidas a diferentes etapas analíticas, incluindo caracterização petrográfica e mineralógica, análise granulométrica e análise geoquímica. Os resultados obtidos foram organizados em tabelas, gráficos e diagramas, permitindo a interpretação integrada dos dados.

A sequência das etapas metodológicas adotadas neste trabalho está sintetizada no fluxograma apresentado na FIG.4.

Figura 4 – Fluxograma metodológico do estudo, apresentando as principais etapas desenvolvidas.



3.1 Revisão bibliográfica sobre os temas: agrominerais silicáticos e rochagem

O desenvolvimento do projeto foi conduzido com o suporte de uma revisão sistemática da literatura sobre agrominerais silicáticos e rochagem, com o objetivo de estabelecer conceitos fundamentais relacionados ao estudo de rochas como potenciais unidades de interesse agrônomo. Além disso, a revisão foi essencial para uma compreensão mais aprofundada do tema, visto que se trata de um assunto pouco abordado durante a graduação. As principais referências utilizadas para a compreensão dos agrominerais silicáticos incluem Pádua (2012), Lapido-Loureiro *et al.* (2008) e Violante (2024).

A revisão bibliográfica também foi necessária para a definição e caracterização das unidades geológicas presentes na área de estudo. Nessa parte foram considerados os seguintes trabalhos: Bittencourt (2022), para a identificação geotectônica da região e a caracterização do Complexo Juiz de Fora; Noce *et al.* (2007a), Figueiredo & Teixeira (1996) e Duarte *et al.* (2004), para a definição do Complexo Mantiqueira; Fischel (1998) e Queiroga (2019), para a caracterização do Anfibolito de Santo Antônio do Grama; Silva (2000) e Brandalise (1991), para a caracterização da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo; e, por fim, Noce *et al.* (2007c), para a definição do Grupo Andrelândia.

Para elaboração do “Estado da Arte” deste projeto fez-se necessário um levantamento intenso a respeito das instruções normativas que regem a utilização de agrominerais silicáticos como insumo agrícola, que são determinadas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA).

As principais instruções normativas que foram descritas neste projeto para cada tipo de produto de origem dos agrominerais silicáticos são:

i) Para os Remineralizantes, a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 10 DE MARÇO DE 2016.

ii) Para os Fertilizantes Mineraiis Simples e Misto, e Organominerais as INSTRUÇÕES NORMATIVAS Nº 39, DE 8 DE AGOSTO DE 2018 e Nº 61, DE 08 DE JULHO DE 2020.

iii) Para os Corretivos (Corretivos de Acidez e Condicionadores do Solo) a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 35, DE 4 DE JULHO DE 2006.

iv) Para Substrato para Plantas, a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 10 DE MARÇO DE 2016.

3.2 Dados Geoquímicos Pré-Existentes e Integração no SIG

Foram analisados dados geoquímicos pré-existentes de 64 amostras, os quais foram comparados com os padrões estabelecidos nas normativas nº 5 e nº 39 citados no subcapítulo anterior, a fim de avaliar o potencial dessas amostras como produtos remineralizantes e/ou fertilizantes (Anexo 1).

A seleção das amostras foi realizada considerando a melhor disponibilidade de suas localizações geográficas e a qualidade dos dados geoquímicos, de modo a permitir uma melhor comparação.

Ressalta-se que algumas amostras foram espacializadas com o auxílio de Inteligência Artificial (IA), por meio do “*ChatGPT*”, com o objetivo de identificar suas localizações a partir de mapas presentes na bibliografia, uma vez que não havia dados físicos, como tabelas de coordenadas geográficas, referentes às suas posições. Após a espacialização realizada pela IA, foi realizado reajuste manual/visual, verificando onde melhor se localizam nos mapas fontes.

A partir a espacialização das amostras e o cruzamento com os dados de áreas com concessão de lavra e lavras requeridas fornecido pelo Sistema de Informações Geográficas da Mineração- SIGMINE, foi possível confeccionar um mapa de áreas de maior potencial para Unidades de Interesse Agrônomico na região setentrional da Zona da Mata Mineira.

A estruturação de dados foi realizada a partir de planilhas no Excel, com informações de localização (com coordenadas geográficas) e dados litogeoquímicos (APÊNDICE II e ANEXO 1). As amostras não apresentaram dados de Fe e Mn, apenas seus óxidos, portanto, para o cálculo estimado desses elementos foram utilizadas a porcentagem em massa atômica desses elementos em seus respectivos óxidos: Fe₂O₃ e MnO.

3.3 Trabalho de Campo

O campo foi realizado em uma pedreira na cidade de Ervália – MG, com duração de 1 dia. Foi realizado no dia 14 de maio de 2025. Para realização do campo foram utilizados os equipamentos de segurança básicos estabelecidos pela Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, além dos equipamentos que auxiliaram no levantamento das descrições da UIA e na coleta das amostras, tais como: martelo de geólogo, marreta, lupa, bússola, prancheta de estrutural, saco plástico, fitas crepe (para identificação das amostras) e caneta estereográfica.

Durante o campo foram coletadas um total de 6 amostras de rocha e 1 amostra de pó de rocha produzido pela pedreira. Em campo foi realizado a descrição da rocha, que foi alvo de estudo e das análises, medições de sua estrutura, e confecção de fotos para registro (APÊNDICE I).

3.4 Caracterização Petrográfica e Mineralógica

Foram realizados estudos petrográficos em seis amostras coletadas em campo (APÊNDICE I), com o objetivo de caracterizar a composição mineralógica e as principais feições texturais das rochas. Ressalta-se que não foi realizada contagem modal quantitativa, sendo a análise conduzida de forma descritiva e qualitativa.

A identificação mineralógica foi realizada no Laboratório de Microscopia Óptica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), por meio da análise petrográfica em lâminas delgadas, utilizando microscópio petrográfico Olympus de luz transmitida e polarizada. As observações foram efetuadas em luz plano polarizada (LPP) e luz polarizada cruzada (LPC), permitindo a determinação das propriedades ópticas diagnósticas dos minerais, tais como pleocroísmo, relevo, birrefringência, cores de interferência, clivagem e hábitos cristalinos.

Para a descrição petrográfica, foi selecionada uma lâmina delgada representativa da amostra proveniente do afloramento da Pedreira Ervália, escolhida com base na sua representatividade litológica e mineralógica em relação ao afloramento estudado. A seleção das lâminas considerou as observações macroscópicas realizadas em campo, incluindo textura, mineralogia visível a olho nu e relações de associação mineral, de modo a garantir que a amostra analisada refletisse adequadamente as características petrográficas do corpo rochoso investigado.

A partir da integração dos dados geoquímicos com a mineralogia identificada, foi realizada uma estimativa modal da mineralogia por meio do *software ModAn*. Esse *software* baseia-se em princípios de balanceamento de massa, nos quais, após a definição das fases mineralógicas, os óxidos maiores e menores são distribuídos entre elas, respeitando critérios estequiométricos, cristalográficos e químicos compatíveis com a mineralogia observada (Paktunc, 1998).

Segundo Paktunc (1998, 2001), o *software* fornece estimativas das proporções modais dos minerais, bem como indicadores estatísticos que permitem avaliar a qualidade do ajuste entre os dados observados e calculados, integrando de forma consistente dados químicos totais e mineralógicos teóricos.

3.5 Análise Geoquímica

Para a análise geoquímica, foi selecionada uma amostra de rocha coletada em campo, identificada como PE-04, por apresentar, a partir da descrição macroscópica, maior representatividade do afloramento estudado. A amostra foi encaminhada ao Laboratório de

Preparação de Amostras do Departamento de Geologia, onde passou pelos processos de britagem e moagem. Posteriormente, a química total da rocha foi determinada por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). As análises foram realizadas pelo laboratório da GEOSOL, com apoio da SGB-CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Os dados foram tratados no *software GCDkit*.

3.6 Análise Granulométrica

As análises granulométricas foram realizadas nos laboratórios de Propriedades Interfaciais do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, e de Geografia Física do CEFET - Ouro Preto – MG com o objetivo de determinar as características físicas do pó de rocha produzido na pedreira.

A análise foi realizada na amostra PE-07 (FIG. A.I, H), empregando-se quatro metodologias complementares: granulometria pelos métodos de peneiramento e pelo método da pipeta. Na fração areia fina foi realizada a granulometria por difração a laser e a análise de área superficial específica pelo método BET. A fim de avaliar o tipo de material o rejeito da Pedreira Ervália se enquadra na legislação e as características da porção fina da areia, obtendo informações relevantes a respeito ao potencial de dissolução do material no solo.

3.6.1 Método do Peneiramento

O peneiramento, foi realizado a seco com o objetivo de determinar a distribuição granulométrica da fração areia, conforme metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA *et al.*, 2017). Inicialmente, a amostra foi seca em estufa até obter massa constante, sendo posteriormente desagregada manualmente com o auxílio de almofariz e pistilo, evitando a fragmentação dos grãos minerais. Em seguida, uma massa conhecida da amostra foi submetida ao peneiramento mecânico em agitador de peneiras, utilizando uma coluna composta por peneiras de malhas padronizadas de 2,00 mm, 0,50 mm, 0,21 mm, e 0,053 mm, dispostas em ordem decrescente de abertura, com coletor de fundo. O conjunto foi submetido à agitação por tempo padronizado, permitindo a separação das frações granulométricas de acordo com o diâmetro das partículas. Após o peneiramento, o material retido em cada peneira foi pesado em balança analítica, possibilitando o cálculo da porcentagem relativa de cada fração granulométrica presente na amostra.

3.6.2 Método da Pipeta

A caracterização granulométrica da amostra foi realizada por meio do método da pipeta, conforme descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo (2017), o qual se baseia nos princípios da sedimentação diferencial das partículas em meio líquido. O método fundamenta-se na Lei de Stokes, que estabelece a relação entre o diâmetro das partículas e sua velocidade de sedimentação, permitindo a separação das frações areia, silte e argila em função do tempo, profundidade de coleta e temperatura da suspensão (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Inicialmente, a amostra foi peneirada, após foi submetida à dispersão química e mecânica, visando à desagregação completa das partículas. Em seguida, a suspensão foi transferida para proveta volumétrica e homogeneizada, sendo realizadas coletas de alíquotas de 25 mL a 5 cm de profundidade em tempos previamente determinados, correspondentes à sedimentação das frações granulométricas de interesse. As alíquotas coletadas foram transferidas para recipientes previamente pesados, secas em estufa a temperatura controlada e posteriormente pesadas, permitindo a determinação da massa seca de cada fração.

Os valores obtidos foram corrigidos por meio do fator de correção volumétrica e utilizados para o cálculo das porcentagens relativas das frações granulométricas em relação à massa total da amostra. Esses resultados constituíram a base para a interpretação da distribuição granulométrica e classificação textural do material analisado, possibilitando a discussão de suas implicações físicas e químicas.

3.6.3 Granulometria por Difração a Laser

Para a análise granulométrica a laser, a amostra foi previamente peneirada a seco em peneira de 38 μm (400 mesh), com o objetivo de obter uma fração representativa das partículas mais finas e evitar danos à placa de dispersão do equipamento. Essa metodologia baseia-se na técnica de espalhamento de luz laser de baixo ângulo, também conhecida como difração a laser, na qual os ângulos de difração do feixe de laser são medidos e relacionados ao diâmetro das partículas analisadas (SAMPAIO *et al.*, 2007). Foi realizada no equipamento Mastersizer 2000.

3.6.4 BET Surface area analyzer

A amostra foi analisada utilizando um analisador de área superficial BET, empregando gás nitrogênio (N_2) como adsorvato. Antes da análise, as amostras foram submetidas ao processo de desgaseificação a 120 °C por um período de quatro horas. Em seguida, os tubos

contendo as amostras foram inseridos no equipamento, que promoveu a adsorção do gás por meio da imersão em nitrogênio líquido.

3.7 Integração e interpretação dos resultados

Os dados geoquímicos provenientes da literatura foram previamente compilados e espacializados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), de modo a possibilitar sua integração com as amostras coletadas em campo. A partir da organização e do georreferenciamento dessas informações, foi realizada a análise espacial dos dados, visando à identificação de áreas com potencial para unidades com interesse agrônomo na porção setentrional da Zona da Mata Mineira.

As amostras coletadas na pedreira de Ervália foram analisadas de forma integrada, considerando os resultados de geoquímica, mineralogia e granulometria. Os dados obtidos foram apresentados em tabelas, diagramas, gráficos e registros fotográficos, os quais subsidiaram a caracterização técnica dos materiais estudados e forneceram suporte metodológico para a avaliação do potencial das rochas presentes na área de estudo.

4. ESTADO DA ARTE

4.1 Produtos de Origem Mineral

As regulamentações e legislações que tratam da utilização de agrominerais silicáticos como insumos agrícolas são classificadas e definidas pelo Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA), anteriormente denominado Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. O MAPA estabelece, por meio do Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014, a classificação dos produtos agrícolas em fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para as plantas (BRASIL, 2014).

Os produtos de origem mineral reconhecidos pelo MAPA incluem os Remineralizadores (REM), Fertilizantes – englobando Fertilizantes Minerais Simples, Fertilizantes Minerais Mistos e Fertilizantes Organominerais - Corretivos que compreendem os Corretivos de Acidez e Condicionadores do Solo; e Substratos para Plantas (VIOLANTE, 2024).

4.2 Critérios Litoquímicos e de Natureza Física Para Produtos de Origem Mineral

Para a análise mineralógica e química das rochas como UIA, é necessário considerar os critérios litogeoquímicos e as especificações de natureza física estabelecidos na legislação e nas normativas aplicáveis aos diferentes produtos de origem mineral. Esses critérios permitem estabelecer relações entre as características das rochas e seu potencial agroecológico.

4.2.1 Remineralizadores

A INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, de 10 de março de 2016 estabelece as especificações e garantias mínimas para os remineralizadores comerciais. De acordo com essa normativa, a soma de bases (K_2O , CaO e MgO) deve ser igual ou superior a 9%, sendo obrigatório que o teor de óxido de potássio (K_2O) seja, igual ou superior a 1%. O potencial hidrogeniônico (pH) de abrasão deve ser declarado pelo fabricante.

Quando os remineralizadores contiverem naturalmente o macronutriente fósforo (P) e micronutrientes, seus teores podem ser declarados se forem iguais ou superiores a: 1% para P_2O_5 , 0,03% para boro (B), 0,1% para cloro (Cl), 0,005% para cobalto (Co), 0,05% para cobre (Cu), 0,1% para ferro (Fe), 0,1% para manganês (Mn), 0,005% para molibdênio (Mo), 0,005% para níquel (Ni), 0,03% para selênio (Se), 0,05% para silício (Si), e 0,1% para zinco (Zn) (BRASIL, 2016).

Segundo o Mapa, o remineralizador comercial não pode conter teor superior a 25% de sílica livre (quartzo), em volume. Em relação aos elementos potencialmente tóxicos, a

normativa estabelece limites máximos de 15 ppm para arsênio (As), 10 ppm para cádmio (Cd), 0,1 ppm para mercúrio (Hg), e 200 ppm para chumbo (Pb), sendo vedadas a produção, importação e comercialização do produto caso esses limites sejam ultrapassados (BRASIL, 2016). Além disso, a normativa define especificações de natureza física (Tabela 2) e as tolerâncias admitidas para esse tipo de material (Tabela 3).

Tabela 2 - Especificações de natureza física dos remineralizadores.

Especificação de Natureza Física	Garantia Granulométrica	
	Peneira	Partículas Passantes (peso/peso)
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	100%
	2,0 mm (ABNT nº 10)	100%
Pó	0,84 mm (ABNT nº 20)	70% mínimo
	0,3 mm (ABNT nº 50)	50% mínimo
Farelo	4,8 mm (ABNT nº 4)	100%
	2,8 mm (ABNT nº 7)	80% mínimo
	0,84 mm (ABNT nº 20)	25% máximo

Fonte: Brasil (2016).

Tabela 3 - Tolerâncias admitidas para os remineralizadores com relação à especificação de natureza física

Especificação de Natureza Física	Garantia Granulométrica	
	Peneira	Tolerância
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	2,0 mm (ABNT nº 10)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
Pó	0,84 mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
Farelo	4,8 mm (ABNT nº 4)	Até 2 unidades para menos no mínimo passante.
	2,8 mm (ABNT nº 7)	Até 5 unidades para menos no mínimo passante.
	0,84 mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para mais no máximo passante.

Fonte: Brasil (2016).

4.2.2 Fertilizantes Minerais e Organominerais

Os parâmetros litogeoquímicos e especificações de natureza física dos fertilizantes de origem mineral são divididos entre fertilizantes inerais simples e mistos, regulamentados pela

INSTRUÇÃO NORMATIVA N° 39, de 8 de agosto de 2018. Já os fertilizantes organominerais são regulamentados pela INSTRUÇÃO NORMATIVA N° 61, de 08 de julho de 2020.

4.2.2.1 Fertilizantes Minerais

A regulamentação dos fertilizantes minerais mistos e complexos estabelece padrões mínimos de composição, com o objetivo de assegurar a qualidade e eficiência agrônômica desses produtos. O Art. 9º da Instrução Normativa nº 39/2018 define os teores mínimos exigidos para macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes, considerando diferentes formas de aplicação, como via solo, fertirrigação e aplicação foliar.

Para os macronutrientes primários — nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) — os fertilizantes aplicados via solo ou fertirrigação devem atender a uma soma mínima desses nutrientes. Os fertilizantes ternários (NPK) devem conter, no mínimo, 18% em peso de macronutrientes primários, enquanto os secundários (NP, NK e PK) devem apresentar, no mínimo, 15%. No caso dos fertilizantes de aplicação foliar, o teor mínimo de cada macronutriente primário deve ser igual ou superior a 1% (BRASIL, 2018).

Em relação aos macronutrientes secundários — cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) —, independentemente do modo de aplicação, é exigido um teor mínimo de 1% para cada elemento declarado, expresso com até uma casa decimal, utilizando-se o critério de truncamento para arredondamento (BRASIL, 2018).

Quanto aos micronutrientes, a normativa estabelece diferentes exigências conforme a composição e a forma de aplicação do fertilizante. Para fertilizantes aplicados via solo contendo apenas micronutrientes, ou micronutrientes associados a macronutrientes secundários, os teores mínimos são de 0,2% para boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn); 0,5% para cloro (Cl) e silício (Si); 0,3% para zinco (Zn); 0,03% para selênio (Se); e 0,05% para cobalto (Co), molibdênio (Mo) e níquel (Ni).

Para os fertilizantes minerais mistos ou complexos contendo micronutrientes e destinados à aplicação via solo, fertirrigação ou foliar, os teores mínimos são reduzidos, sendo exigidos 0,01% para boro; 0,1% para cloro e zinco; 0,005% para cobalto, molibdênio e níquel; 0,02% para cobre, ferro e manganês; 0,05% para silício; e 0,003% para selênio (BRASIL, 2018).

O Art. 3º da normativa define ainda que os fertilizantes minerais, de acordo com a sua natureza física, sólida ou fluida, devem atender a especificações de natureza física e garantia granulométrica (Tabela 4). No capítulo IV, Art. 20º, são estabelecidas as tolerâncias relativas

à granulometria dos produtos, considerando partículas passantes mínimas e máximas (Tabela 5 e 6).

Tabela 4 - Especificações de natureza física para os produtos sólidos granulados, mistura de grânulos, microgranulados, pó, farelados e pastilhas.

ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
	Peneira	Partículas Passantes
Granulado e Mistura de Grânulos	4,80 mm (ABNT 4)	95% mínimo
	2 mm (ABNT 10)	40% máximo
	1 mm (ABNT 18)	5% máximo
Microgranulado	2,8 mm (ABNT 7)	90% mínimo
	1 mm (ABNT 18)	10% máximo
Pó	2,0 mm (ABNT 10)	100%
	0,84 mm (ABNT 20)	70% mínimo
	0,3 mm (ABNT 50)	50% mínimo
Farelo	4,80 mm (ABNT 4)	90% mínimo
	2,8 mm (ABNT 7)	80% mínimo
	0,50 mm (ABNT 35)	30% máximo
Pastilha	Frações moldados de formato e tamanho variáveis	

Fonte: Modificado de Brasil (2018).

Tabela 5 - Com relação à granulometria dos produtos para as partículas passantes (mínimo):

Peneira	Tolerância
4,80 mm (ABNT 4)	Até 2 unidades para menos, no mínimo, passante.
3,36mm (ABNT nº 6)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
2,8mm (ABNT nº 7)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
2,0mm (ABNT nº 10)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
0,84mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
0,15 mm (ABNT nº 100)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.

Fonte: Brasil (2018).

Tabela 6 - Com relação à granulometria dos produtos para as partículas passantes (máximo):

Peneira	Tolerância
2,0mm (ABNT nº 10)	Até 5 unidades para mais, no máximo, passante.
1,0mm (ABNT nº 18)	Até 1 unidade para mais, no máximo, passante.
0,84mm (ABNT nº 20)	Até 5 unidades para mais, no máximo, passante.
0,5mm (ABNT nº35)	Até 5 unidades para mais, no máximo, passante.

Fonte: Brasil (2018).

4.2.2.2 Fertilizante Organomineral

A INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 61, de 08 de julho de 2020, estabelece os requisitos mínimos para fertilizantes orgânicos e organominerais, a fim de garantir a qualidade e a eficácia agrônômica desses produtos.

Os fertilizantes organominerais, sejam sólidos ou fluidos, devem apresentar teor mínimo de carbono orgânico de 8% para produtos sólidos e 3% para produtos fluidos. Para os produtos sólidos, a unidade máxima permitida é de 20% e a capacidade mínima de troca catiônica (CTC) é de 80 mmolc/kg. Os teores mínimos garantidos de macronutrientes primários e secundários são de 1% para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Para os micronutrientes, os valores mínimos são de 0,1% para cloro e zinco; 0,02% para cobre, ferro e manganês; 0,005% para cobalto, molibdênio e níquel; 0,003% para selênio; e 0,05% para silício (BRASIL, 2020).

No caso dos fertilizantes destinados à aplicação foliar e hidroponia, os nutrientes devem apresentar solubilidade em água. O teor mínimo de nitrogênio, fósforo e potássio solúveis deve ser de 1%, com soma mínima NPK de 3% e soma mínima de NP, NK ou PK de 2%. Para os macronutrientes secundários, o teor mínimo exigido é de 0,5%. Além disso, o produto deve apresentar teor mínimo de carbono total de 6%, e declarar obrigatoriamente a solubilidade, índice salino, pH e condutividade elétrica (BRASIL, 2020).

O Art 4º da normativa também estabelece especificações para os fertilizantes orgânicos e os biofertilizantes, de acordo com sua natureza física, sólida, além da tolerância de suas naturezas físicas (TAB. 7 e 8).

Tabela 7 - Especificações de natureza física para produtos sólidos dos fertilizantes orgânicos e biofertilizantes.

ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
	Peneira	Partículas Passantes
Granulado e Mistura de Grânulos	4,80 mm (ABNT 4)	90%
	2 mm (ABNT 10)	40% máximo
	1 mm (ABNT 18)	5% máximo
Pó	2,0 mm (ABNT 10)	100%
	0,84 mm (ABNT 20)	70% mínimo
	0,3 mm (ABNT 50)	50% mínimo
Farelo	4,80 mm (ABNT 4)	95% mínimo
	2,8 mm (ABNT 7)	80% mínimo
	0,50 mm (ABNT 35)	30% máximo

Fonte: Modificado de Brasil (2020).

Tabela 8 - Tolerância com relação à natureza física do produto.

Peneira	Tolerância
4,80 mm (ABNT 4)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
2,83 mm (ABNT nº 7)	Até 6 unidades para menos, no mínimo, passante.
2,0 mm (ABNT nº 10)	Até 6 unidades para menos, no mínimo, passante.
	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
1,0 mm (ABNT nº 18)	Até 5 unidades para menos, no mínimo, passante.
0,84 mm (ABNT nº 20)	Até 7 unidades para menos, no mínimo, passante.
0,3 mm (ABNT nº 50)	Até 6 unidades para menos, no mínimo, passante.

Fonte: Brasil (2020).

4.2.3 Corretivos de Acidez e Condicionadores do Solo

Os parâmetros litogeoquímicos dos corretivos de acidez e condicionadores do solo são estabelecidos pela INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 35, de 4 de julho de 2006. Essa normativa não define especificações físicas para esse tipo de material.

4.2.3.1 Corretivos de Acidez:

O Art. 3º da normativa estabelece que os corretivos de acidez devem atender a garantias mínimas relativas ao poder de neutralização (PN), à soma dos óxidos (%CaO + %MgO) e ao Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

O calcário agrícola deve apresentar um PN mínimo de 67%, soma de óxidos mínima de 38% e um PRNT mínimo de 45%. O calcário calcinado agrícola deve apresentar PN mínimo de 80%, soma de óxidos mínima de 43% e um PRNT mínimo de 54%. A cal hidratada agrícola deve apresentar PN mínimo de 94%, soma de óxidos de 43% e PRNT mínimo de 90%, enquanto a cal virgem agrícola deve conter PN mínimo de 125%, soma de óxidos mínima de 68% e PRNT mínimo de 120%. Para outros corretivos de acidez, os valores mínimos de referência são 67% para PN, 38% para soma de óxidos e 45% para PRNT (BRASIL, 2006).

O PRNT é calculado pela equação:

$$\text{PRNT (\%)} = \text{PN} \times \text{RE}/100,$$

em que o PN é determinado pelo método analítico oficial e a reatividade das partículas (RE) é definida em função da granulometria. A fração retida na peneira ABNT nº 10 tem reatividade nula, a fração que passa nessa peneira nº 10 e fica retida na peneira nº 20 possui reatividade de 20%; a fração que passa na peneira nº 20 e fica retida na peneira nº 50 tem reatividade de 60%; e a fração que passa na peneira nº 50 possui reatividade de 100% (BRASIL, 2006).

Os critérios de reatividade podem ser ajustados conforme o tipo e a origem do material corretivo, desde que fundamentados em relatório técnico-científico e recomendação de uma instituição oficial de pesquisa (BRASIL, 2006).

4.2.3.2 Condicionadores do Solo

De acordo com o Art. 6º da normativa, os condicionadores do solo são classificados segundo a matéria-prima utilizada em sua fabricação em seis classes: Classe A, Classe B, Classe C, Classe D, Classe E e Classe F, variando conforme a origem vegetal, animal, industrial, mineral ou de resíduos urbanos e sanitários, desde que garantida a segurança do uso agrícola (BRASIL, 2006).

O Art. 7º estabelece que os condicionadores do solo devem atender a garantias mínimas específicas. Quando destinados à melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas do solo, devem apresentar capacidade de retenção de água (CRA) mínima de 60% e capacidade de troca catiônica (CTC) mínima de 200 mmolc/kg. Quando destinados à melhoria da atividade

biológica do solo, as garantias devem ser aquelas declaradas pelo fabricante, desde que mensuráveis quantitativamente.

A declaração de nutrientes, carbono orgânico e relação C/N somente é permitida se o produto atender às garantias mínimas estabelecidas para fertilizantes minerais ou orgânicos, conforme sua natureza. Outras propriedades podem ser declaradas, desde que quantificáveis e acompanhadas da comprovação de eficiência agrônômica. O sulfato de cálcio pode ser registrado como condicionador de solo Classe E, não se aplicando a ele as exigências de CRA e CTC (BRASIL, 2006).

4.2.4 Substrato para plantas

Os parâmetros litogeoquímicos dos substratos para plantas são estabelecidos pela INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, de 10 de março de 2016. O Art. 6º estabelece que os resultados analíticos obtidos para substratos para plantas devem obedecer a limites de tolerância em relação às garantias declaradas do produto. Para deficiências, são permitidas variações de até 1 unidade para menos no pH, redução de até 10% na capacidade de retenção de água (CRA), até 15% na capacidade de troca catiônica e até 20% de densidade.

Para excessos, o pH pode variar até 1 unidade para mais, a condutividade elétrica (CE) pode aumentar até 50%, a densidade pode ser até 20% superior ao valor garantido e a umidade máxima pode ser excedida em até 10% (BRASIL, 2016). Essa normativa não estabelece parâmetros específicos de natureza física para os substratos.

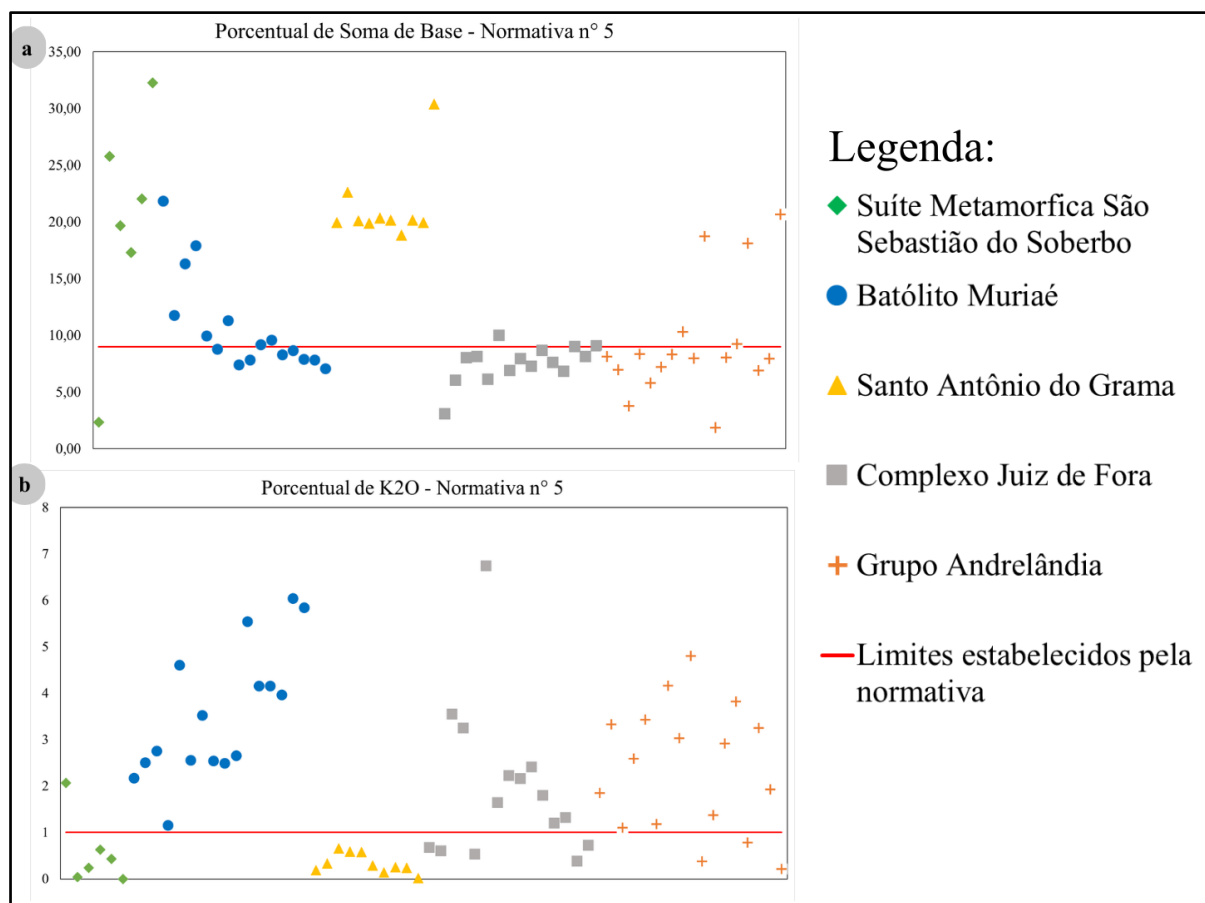
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Dados Geoquímicos Pré-Existentes e Integração no SIG

O levantamento de dados geoquímicos pré-existentes teve como foco a caracterização das principais unidades que perfazem a região do norte da Zona da Mata Mineira, onde há atuação do coletivo SPG-FLORIÔ. A área abrange a Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo, o Batólito Muriaé, os Anfibolitos Santo Antônio do Grama, o Grupo Andrelândia e o Complexo Juiz de Fora. Foram compilados um total de dados de 64 amostras, obtidos a partir de diferentes referências bibliográficas (Anexo I).

A FIG. 5 apresenta os gráficos dos óxidos e macronutrientes presentes nas amostras bem como sua relação com os limites estabelecidos pela Instrução Normativa- nº 5, que definem os critérios para classificação de remineralizadores e fertilizantes minerais no Brasil. Em todos os gráficos, cada ponto representa uma amostra individual, enquanto as linhas de referência indicam os valores mínimos exigidos pela legislação.

Figura 5 - Gráficos para comparação geoquímica das rochas em relação aos padrões estabelecidos nas instruções normativas de nº 5 (a) Porcentual das Somas de Bases ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$) das amostras em relação ao mínimo estabelecido na Normativa de nº 5. (b) Porcentual de K_2O das amostras em relação ao mínimo estabelecido na normativa de nº 5.



Na FIG 5a, observa-se que todas as unidades apresentam algumas amostras com valores de Soma de Base superiores a 9%. Destaca-se a Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo e o Anfibólito Santo Antônio do Grama, com teores próximos a 20% de soma de base. Embora algumas amostras não tenham atingido o valor mínimo estabelecido, seus resultados situam-se próximos do limite normativo, com exceção das amostras RM-315-1, da Suíte Metamórfica do São Sebastião do Soberbo, OF-46-1 do Complexo Juiz de Fora, JB04, JB06 e UB18B (do Grupo Andrelândia), que apresentaram valores inferiores a 6%.

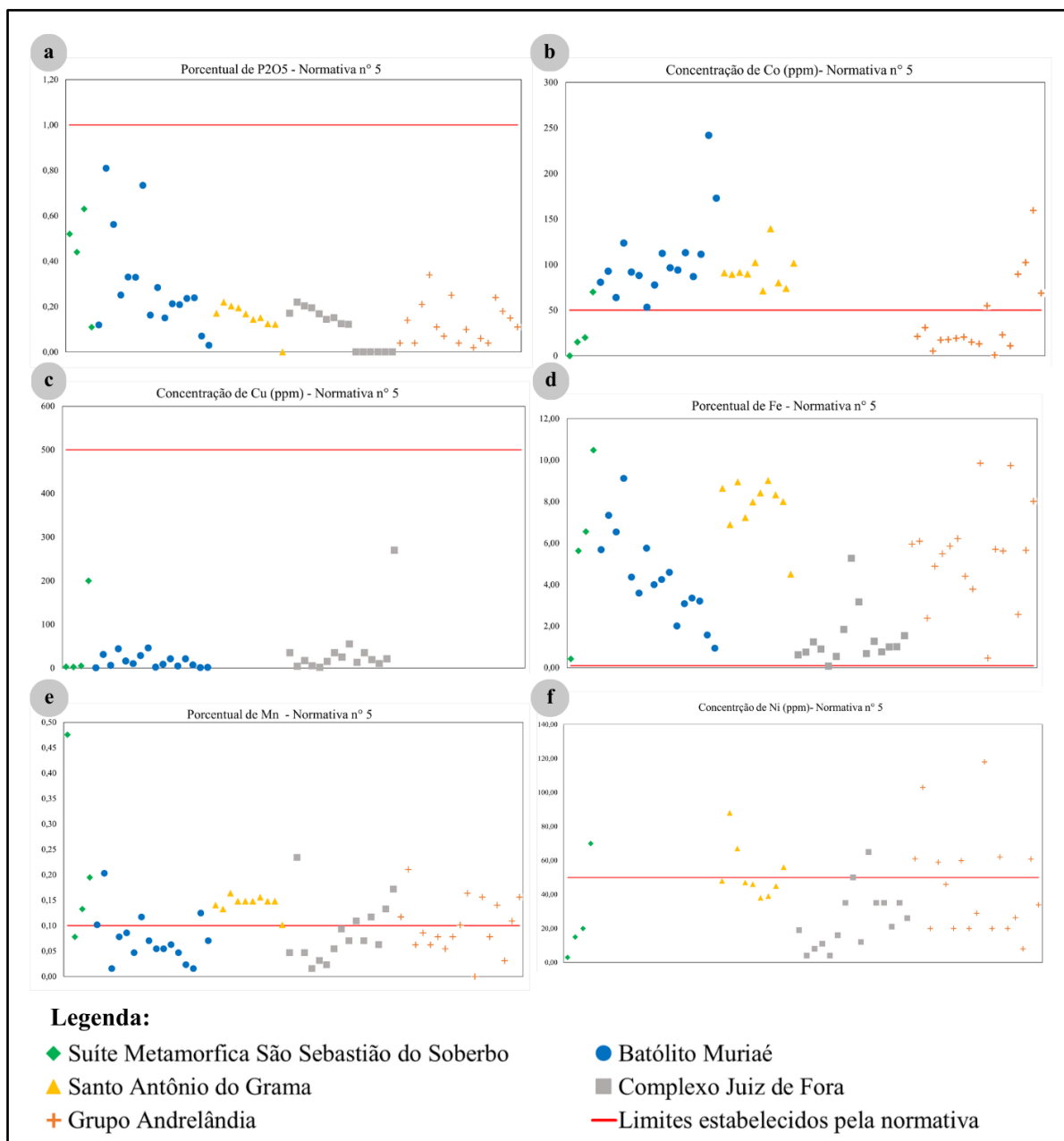
Em relação ao teor de K_2O (FIG. 5b), verificou-se que as unidades do Complexo Juiz de Fora, do Batólito Muriaé e do Grupo Andrelândia apresentaram amostras com valores superiores a 1% atendendo aos critérios da legislação, com teores que atingem até 6,74% de K_2O (no Complexo Juiz de Fora). As únicas unidades que não apresentaram valores satisfatórios para esse componente foram os Anfibólito Santo Antônio do Grama, e a Suíte Metamórfica do São Sebastião do Soberbo indicando menor potencial potássico quando comparada às demais unidades estudadas.

Nenhuma das amostras analisadas apresentou valores próximos ao limite máximo de 200 ppm estabelecido pela Instrução Normativa nº 5, indicando que as rochas da região Sentrional da Zona da Mata Mineira não possuem concentrações elevadas de Pb, o que reforça sua viabilidade para uso como remineralizadores.

No entanto, a ausência de dados para outros elementos potencialmente tóxicos impede uma avaliação mais abrangente, evidenciando a necessidade de estudos futuros com análises geoquímicas mais completas, de modo a atender integralmente aos requisitos das normativas vigentes para fertilizantes naturais.

Adicionalmente, foram compilados dados do macronutriente fósforo (P_2O_5) e dos micronutrientes, incluindo Co, Cu, Fe, Mn e Ni, apresentados na FIG. 6, com o objetivo de avaliar a possibilidade de menção desses elementos nos rótulos de produtos remineralizadores.

Figura 6 - Gráficos de micronutrientes das amostras com dados preexistentes em relação a normativa de nº 5. (a) Gráfico de porcentagem P_2O_5 por amostra. (b) Concentração de Co (ppm) por amostra. (c) Concentração de Cu (ppm) por amostra. (d) Percentual de Fe por amostra. (e) Percentual de Mn por amostra. (f) Concentração de Ni (ppm) por amostra.



Em relação ao macronutriente fósforo (FIG. 6a), os teores indicam que valores com valores máximos de 0,811%. Os teores mais elevados estão associados à Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo e ao Batólito Muriaé. Apesar disso, por apresentarem teores inferiores a 1% não é possível a menção desse nutriente nos rótulos, conforme os critérios legais.

Para o cobalto (FIG. 6b), destaca-se as amostras do Batólito Muriaé, do Anfibólito do Santo Antônio do Grama, da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo e algumas amostras

do Grupo Andrelândia com teores superiores a 50 ppm, atendendo aos requisitos da legislação. Em relação ao cobre (FIG. 6c), nenhuma amostra atingiu o valor mínimo de 500 ppm, inviabilizando sua indicação nos rótulos. Por outro lado, todas as amostras apresentaram teores de ferro superiores a 0,1% (FIG. 6d). Os teores de manganês (FIG. 6e) foram superiores a 0,1% em diversas amostras pertencentes a todas as unidades analisadas, o que possibilita a indicação desse micronutriente nos rótulos. Resultados semelhantes foram observados para o níquel (FIG. 6f), com várias amostras apresentando concentrações superiores a 50 ppm, atendendo aos critérios normativos.

As TAB. 9 e 10 apresentam o sumário dados litogeoquímicos para as amostras compiladas.

Tabela 9 - Valores médios e desvio-padrão para macronutrientes das unidades geológicas do norte da Zona da Mata Mineira.

Unidade	CaO (% ± desvio padrão)	MgO (% ± desvio padrão)	K₂O (% ± desvio padrão)	P₂O₅(% ± desvio padrão)
S.M. São Sebastião Soberbo	16,64 ± 3,64	6,95 ± 5,00	0,34 ± 0,19	0,43 ± 0,16
Anf. Santo Antônio do Grama	11,38 ± 1,54	9,54 ± 3,43	0,33 ± 0,17	0,15 ± 0,04
Batólito Muriaé	4,29 ± 2,06	2,89 ± 1,86	3,54 ± 1,19	0,30 ± 0,16
Complexo Juiz de Fora	3,75 ± 2,65	2,39 ± 1,34	1,95 ± 1,15	0,10 ± 0,15
Grupo Andrelândia	3,72 ± 2,87	3,24 ± 1,48	2,36 ± 0,76	0,13 ± 0,07

Tabela 10 – Valores médios e desvio padrão para micronutrientes das unidades geológicas do norte da Zona da Mata Mineira.

Unidade	Co (ppm ± desvio padrão)	Cu (ppm ± desvio padrão)	Fe (% ± desvio padrão)	Mn (% ± desvio padrão)	Ni (ppm ± desvio padrão)
S.M. São Sebastião Soberbo	26,25 ± 21,87	52,63 ± 73,68	5,78 ± 2,75	0,22 ± 0,13	27 ± 21,5
Anf. Santo Antônio do Grama	93,08 ± 12,83	-	4,34 ± 1,63	0,14 ± 0,01	238,3 ± 334,14
Batólito Muriaé	106,27 ± 29,69	15,53 ± 12,38	7,80 ± 0,95	0,07 ± 0,339	-
Complexo Juiz de Fora	-	37,37 ± 33,37	1,37 ± 0,84	0,09 ± 0,05	25,07 ± 14,07
Grupo Andrelândia	39,43 ± 32,68	-	5,45 ± 1,67	0,11 ± 0,04	55,60 ± 22,42

A integração dos dados geoquímicos com informações espaciais referentes a áreas concedidas ou requeridas para lavra possibilitou a identificação de tendências composicionais associadas ao potencial remineralizador das unidades estudadas (FIG. 7).

As variações geoquímicas e mineralógicas identificadas evidenciam que a porção setentrional da Zona da Mata Mineira apresenta elevada aptidão para a geração de insumos minerais com potencial de liberação lenta de nutrientes, reforçando o interesse agrônomo das litologias investigadas.

A Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo apresenta elevados teores médios de CaO (16,64%) e MgO (6,95%), configurando-se como importante fonte potencial desses macronutrientes para uso como remineralizador. Algumas amostras atingem valores de Soma de Bases próximos a 20%, superando o mínimo estabelecido pela Instrução Normativa nº 5. Contudo, os baixos teores médios de K₂O (0,34%) indicam limitada contribuição potássica, restringindo seu uso como fonte desse nutriente.

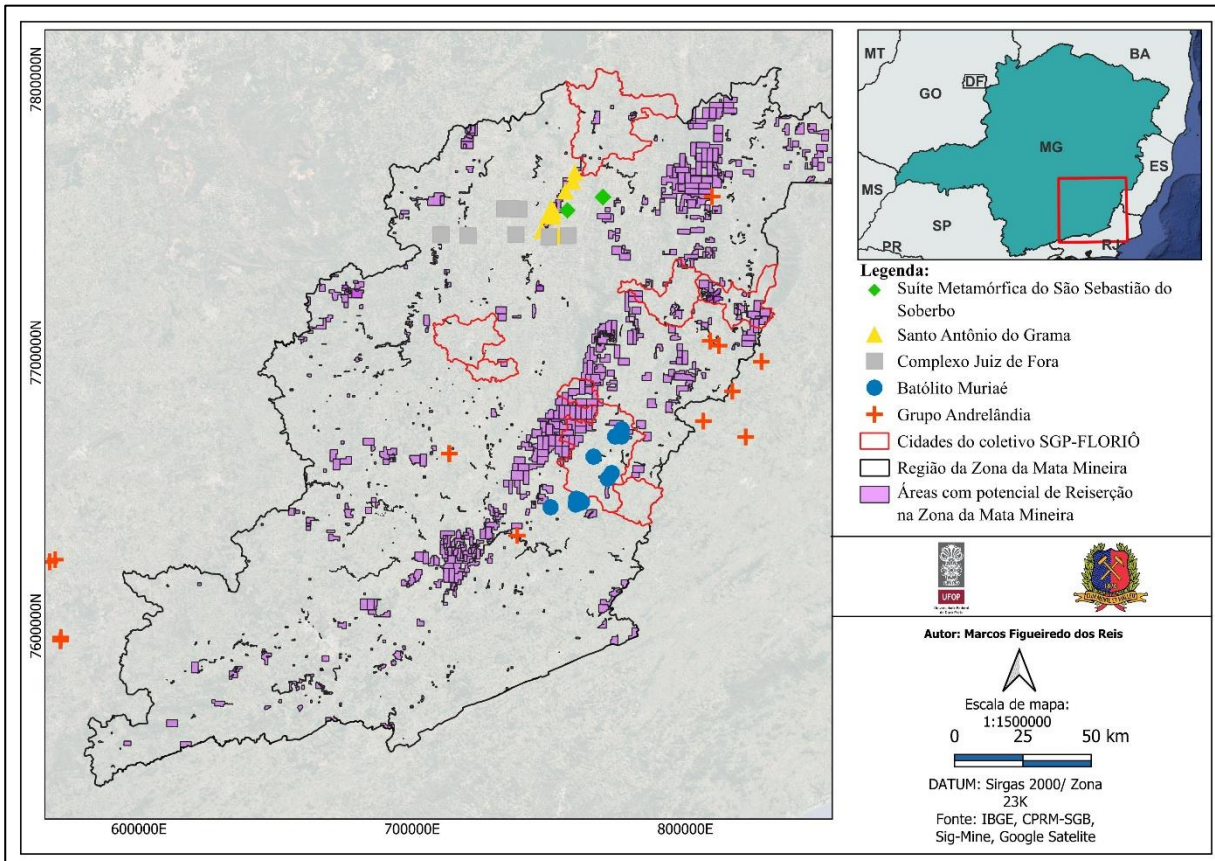
Os Anfibolitos Santo Antônio do Grama apresentam teores médios expressivos de CaO (11,38%) e MgO (9,54%), além de concentrações relevantes de Co e Ni. No entanto as amostras dessa unidade apresentaram baixos teores médios de K₂O (0,33%), limitando seu potencial como fonte potássica.

O Complexo Juiz de Fora apresenta teores médios moderados de K₂O (1,95%), com amostras atingindo valores superiores a 1%. Entretanto, os teores médios de CaO (3,75%) e MgO (2,39%) são inferiores aos observados nas outras unidades, indicando menor contribuição para a Soma de Bases.

Algumas das rochas do Grupo Andrelândia apresentam teores médios de K₂O (2,36%), além de concentrações relevantes de Mn e Ni. Porém, por se tratarem de rochas de protólito sedimentar, como descrito na geologia regional, deve-se atentar para a possível presença significativa de sílica livre (quartzo). Para avaliar com maior segurança o potencial remineralizador dessas litologias, torna-se necessária a caracterização mineralógica detalhada, visando determinar a proporção entre fases portadoras de nutrientes e minerais inertes, evitando superestimações baseadas exclusivamente em análises químicas totais.

O Batólito Muriaé apresentou os resultados mais promissores entre as unidades avaliadas, com teores médios de K₂O (3,54%) e concentrações expressivas de Co (106,27 ppm) e Fe (7,80%). Destaca-se a unidade gnáissica. A partir da integração desses resultados com dados espaciais provenientes do SIGMINE (FIG. 7), é possível verificar a existência de áreas concedidas ou requeridas para lavra próximas a essa unidade, demonstrando tanto o potencial geoquímico e quanto sua viabilidade territorial para aproveitamento econômico.

Figura 7 - Mapa das áreas com potencial reinserção de rejeitos na região da Zona da Mata Mineira



Adicionalmente, a análise da distribuição espacial das unidades evidencia a ocorrência de lavras ativas e de áreas com viabilidade para expansão das frentes de extração nessas unidades, indicando a disponibilidade regional de matérias-primas potencial à produção de remineralizadores.

Para uma avaliação mais detalhada do potencial dessa região foi selecionada uma pedreira no município de Ervália (MG) para caracterização detalhada das propriedades geoquímicas, mineralógicas e físicas do rejeito proveniente, cuja avaliação é apresentada nas seções subsequentes.

5.2 Estudo de Caso

O presente capítulo apresenta os resultados obtidos a partir do estudo de caso realizado no município de Ervália, Minas Gerais, em afloramento previamente descrito no Apêndice I (FIG. 8). No local, foram coletadas sete amostras representativas com o objetivo de proceder às análises químicas, mineralógicas e granulométricas do material. Os resultados obtidos foram comparados aos parâmetros estabelecidos na legislação vigente aplicável a produtos

agrominerários, visando avaliar a conformidade do material quanto aos requisitos técnicos e ambientais.

Figura 8 - Afloramento estudado em campo, Pedreira Ervália, visada para norte



5.2.1 Características Petrográficas e Mineralogia

O afloramento da pedreira é composto por um biotita-anfibólio gnaiss com bandamento desenvolvido de forma incipiente, com a formação de bandas milimétricas a no máximo centimétricas. Observa-se também de forma subordinada a formação de diques ou bolsões pegmatíticos, ora com a presença de minerais peritéticos (anfibólio), indicando a fusão parcial do dessa rocha.

Os minerais essenciais e secundários observados em lâmina delgada foram plagioclásio, anfibólio, quartzo, feldspato potássico e biotita (FIG. 9). Como minerais acessórios ocorrem apatita, zircão, titanita, mica branca, epidoto e opacos.

Os feldspatos são representados por plagioclásio e subordinadamente pelos feldspatos potássicos. Ocorre na forma de agregados xenoblásticos com contatos lobados e serrilhados. Os grãos apresentam maclas polissintéticas evidentes, geralmente acunhadas, sendo também comum a ocorrência de extinção ondulante e concêntrica; além disso pode ser observado

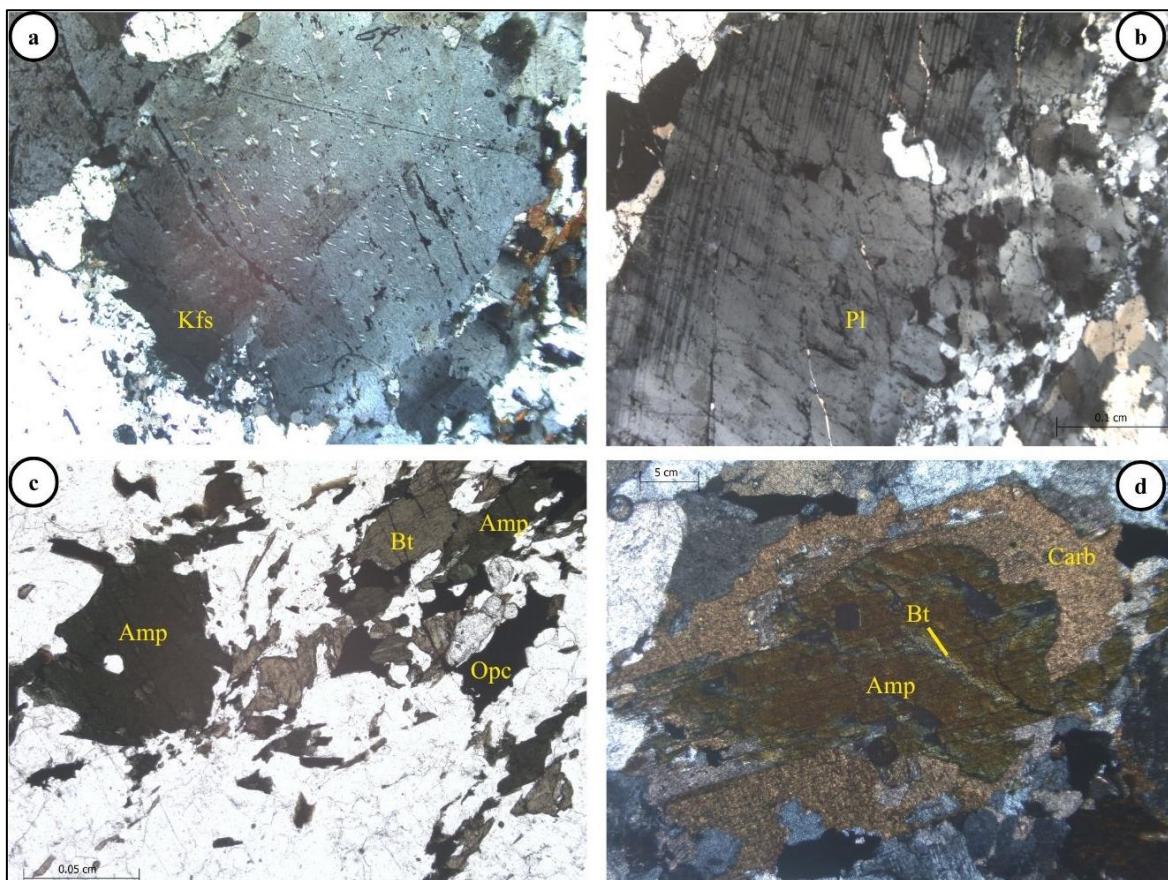
exsoluções na forma de pertita. Frequentemente são alterados por sericitização e saussuritização (FIG. 9 a,b).

O quartzo apresenta-se anédrico e, em luz polarizada, pode exibir coloração amarelada. É geralmente recristalizado, formando agregados com contatos lobados serrilhados, com pequenos *bulgers*, evidenciando processos de deformação e recristalização dinâmica, além de extinção ondulante e presença de subgrãos.

Os anfibólios exibem coloração verde-escura a verde-acastanhada em luz natural, hábito predominantemente subédrico a anédrico, ocorrendo como cristais prismáticos alongados que definem localmente uma orientação preferencial, conferindo à rocha um fraco bandamento. Em luz polarizada, apresentam pleocroísmo em tons de verde, birrefringência moderada e clivagens bem desenvolvidas segundo os planos característicos dos anfibólios ($56^{\circ}/124^{\circ}$). As características ópticas e morfológicas observadas indicam que estes minerais correspondem provavelmente à hornblenda, típica de assembleias metamórficas de fácies anfibolito.

Constituem, juntamente com a biotita, as bandas melanocráticas do afloramento (FIG 9 c). A biotita apresenta-se em grãos finos, fracamente orientados, possui pleocroísmo entre castanho fraco e castanho forte avermelhado. Normalmente associada ao anfibólio, como coronas por processos de substituição, esses grãos podem apresentar uma alteração para carbonato e opacos (FIG. 9 d).

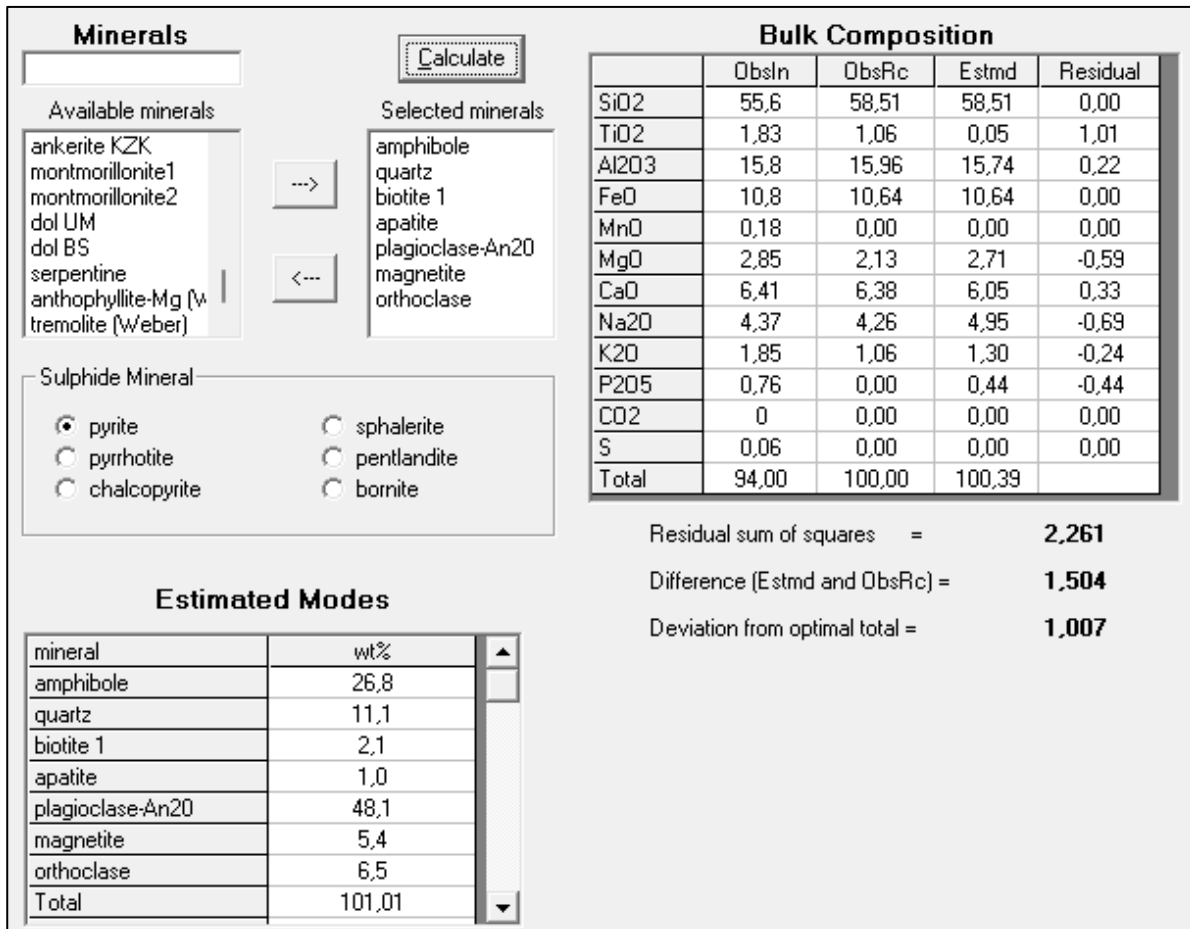
Figura 9 – Fotomicrografias da amostra PE-04, representativa do afloramento da pedreira. (a) Evidência de peritita no K-feldspato (Pl). (b) Grão de plagioclásio com maclas deformadas e formação de fraturamentos longitudinais. (c) Intercrescimento de anfibólio, biotita e opacos (LP) (d) Anfibólio com coronas de biotita e alteração carbonática.



A apatita ocorre como mineral acessório, comumente incluída em grãos de maior dimensão como biotita, anfibólio e plagioclásio. Zircão, epidoto e titanita aparecem de forma subordinada, associados principalmente aos níveis mais félsicos, enquanto os minerais opacos concentram-se preferencialmente nos níveis mais máficos (FIG. 9c).

A modelagem mineralógica obtida a partir do *Software* “ModAn” está apresentada na FIG. 10. A estimativa modal indicou a presença de 48,1% de plagioclásio, 26,8% de anfibólio, 11,1% de quartzo, 6,5% de ortoclásio, 5% de magnetita, 2% de biotita e 1% de apatita. De acordo com essa composição a rocha seria classificada como um quartzo monzodiorito, de acordo com o diagrama QAP de Streckeisen. A porcentagem de sílica livre presente na amostra PE-04 está abaixo do limite máximo de 25% estabelecido pela Instrução Normativa nº 5, reforçando o enquadramento da amostra quanto a esse critério.

Figura 10 - Interface do *software* “ModAn”, apresentando a estimativa modal dos minerais presentes na amostra PE-04.



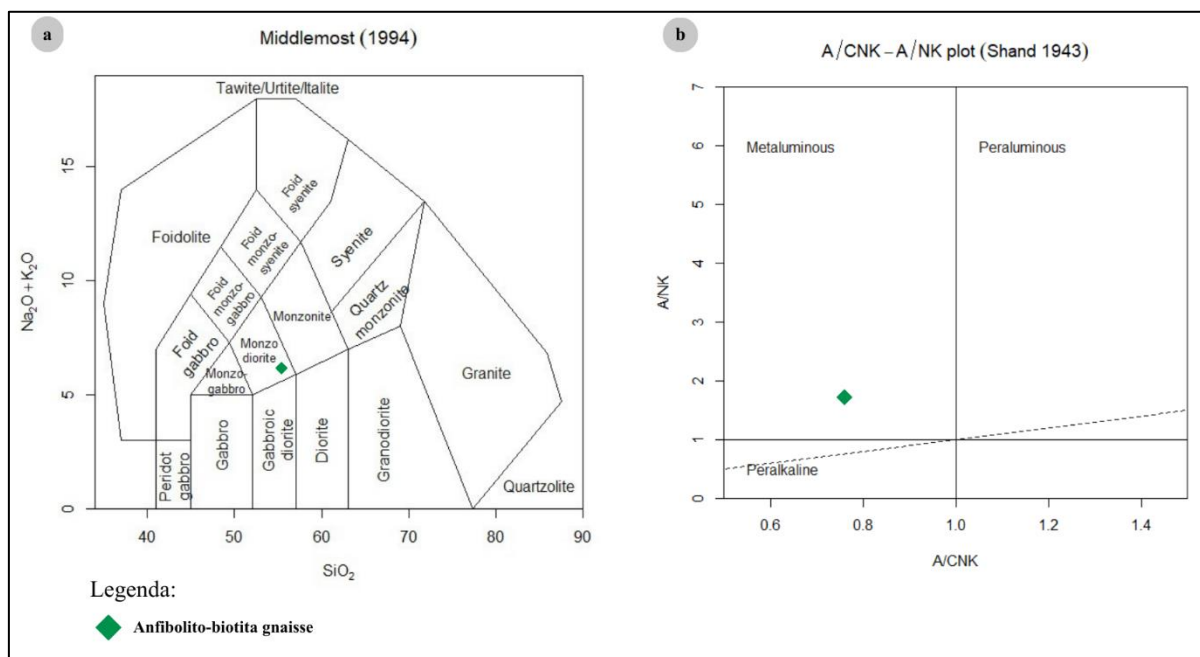
De modo geral, os resultados indicam o enquadramento mineralógico e um bom potencial dessa rocha para uso como remineralizador de acordo com os critérios estabelecidos na IN 05. Esse potencial está relacionado à presença expressiva de minerais máficos e baixa proporção de quartzo.

5.2.2 Análise Geoquímica

A análise geoquímica foi realizada na amostra PE-04, apresentada no APÊNDICE VI, selecionada por melhor representar o afloramento estudado. Trata-se de um gnaisse com transição composicional da porção melanocrática para a leucocrática, feição recorrente em todo o afloramento analisado.

Os diagramas classificatórios de TAS e A/CNK-A/NK foram utilizados para avaliar a natureza química do protólito do gnaisse (FIG 11):

Figura 11 – Diagramas discriminatórios para a amostra PE-04 da Pedreira Ervália: (a) Classificação petrológica SiO₂ vs Alcalis. (b) Índice de aluminosidade.



A partir do diagrama de TAS (FIG. 11a) a amostra apresentou composição no campo do monzodiorito, próximo ao limite com os campos de monzonito e gabrodioritos. Os teores intermediários de SiO₂ (55,6%) e moderados de álcalis totais (6,22%), indicando o caráter intermediário do protólito.

Já a o diagrama de saturação em alumina (A/CNK-A/NK, FIG. 11b), apresenta dados no campo metaluminoso. Essa classificação indica que há alumínio suficiente para formar feldspatos, mas insuficiente para estabilizar minerais aluminosos em excesso, como muscovita primária, granada ou cordierita. Rochas metaluminosas são tipicamente associadas à presença de minerais como hornblenda e biotita, o que é consistente com a composição mineralógica do gnaiss analisado.

Esses dados indicam que o protólito da amostra PE-04 corresponde a uma rocha ígnea de composição intermediária metaluminosa, classificada como monzodiorito. Além disso, as características listadas a cima se assemelha com aquela mineralogia descrita pelo *software ModAn*, o que corrobora o potencial do *software* e demonstra a importância da integração de diferentes métodos para caracterização mineralógica de uma rocha.

Com base nos resultados obtidos procedeu-se à análise geoquímica da amostra frente às normativas vigentes aplicáveis a remineralizadores. A partir do QUA. 1, observa-se quais componentes químicos apresentaram resultados compatíveis com os critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 5.

Quadro 1 - Avaliação geoquímica da amostra PE-04 em relação à Instrução Normativa No5 (remineralizadores)

Componentes químicos	Quantitativo	Avaliação segundo a IN nº 5
Macronutrientes		
Soma de bases (K ₂ O + CaO + MgO) (%)	11,11	Atende ao valor mínimo (> 9%) exigido para remineralizadores.
K ₂ O (%)	1,85	Atende ao valor mínimo (≥ 1%) para remineralizadores.
Micronutrientes		
P ₂ O ₅ (%)	0,76	Atende a norma, mas não pode ser destacado no rótulo.
B	–	Não analisado.
Cl	–	Não analisado.
Co (%)	0,00473	Valor próximo ao mínimo exigido (0,005%); passível de indicação em rótulo.
Cu (%)	< 0,00005	Não atende ao valor mínimo (0,05%) para indicação no rótulo.
Fe (%)	7,17	Atende ao valor mínimo (≥ 0,1%) para ser indicado em rótulo.
Mn (%)	0,12	Atende ao valor mínimo (≥ 0,1%) para ser indicado em rótulo.
Mo (%)	0,000071	Não atende ao valor mínimo (0,005%) para ser indicado em rótulo.
Ni (%)	0,00068	Não atende ao valor mínimo (0,005%) para ser indicado em rótulo.
Se (%)	0,0002	Não atende ao valor mínimo (0,03%) para ser indicado em rótulo.

Continua...

Continuação...

Componentes químicos	Quantitativo	Avaliação segundo a IN nº 5
Micronutrientes		
Si	–	Não analisado.
Zn (%)	0,0113	Não atende ao valor mínimo (0,1%).
Elementos potencialmente tóxicos		
As (ppm)	1,0	Atende ao limite máximo permitido (≤ 15 ppm).
Cd (ppm)	0,15	Atende ao limite máximo permitido (≤ 10 ppm).
Hg (ppm)	–	Não analisado.
Pb (ppm)	12,8	Atende ao limite máximo permitido (≤ 200 ppm).

A avaliação indica elevado potencial da amostra PE-04 para uso como remineralizador, uma vez que apresenta resultados favoráveis tanto para os óxidos e macronutrientes exigidos quanto para os elementos potencialmente tóxicos, os quais se mantêm abaixo dos limites máximos permitidos pela legislação. No que se refere aos micronutrientes, os dados permitem a indicação em rótulo dos micronutrientes cobaltos (Co), ferro (Fe) e manganês (Mn), conforme os critérios normativos.

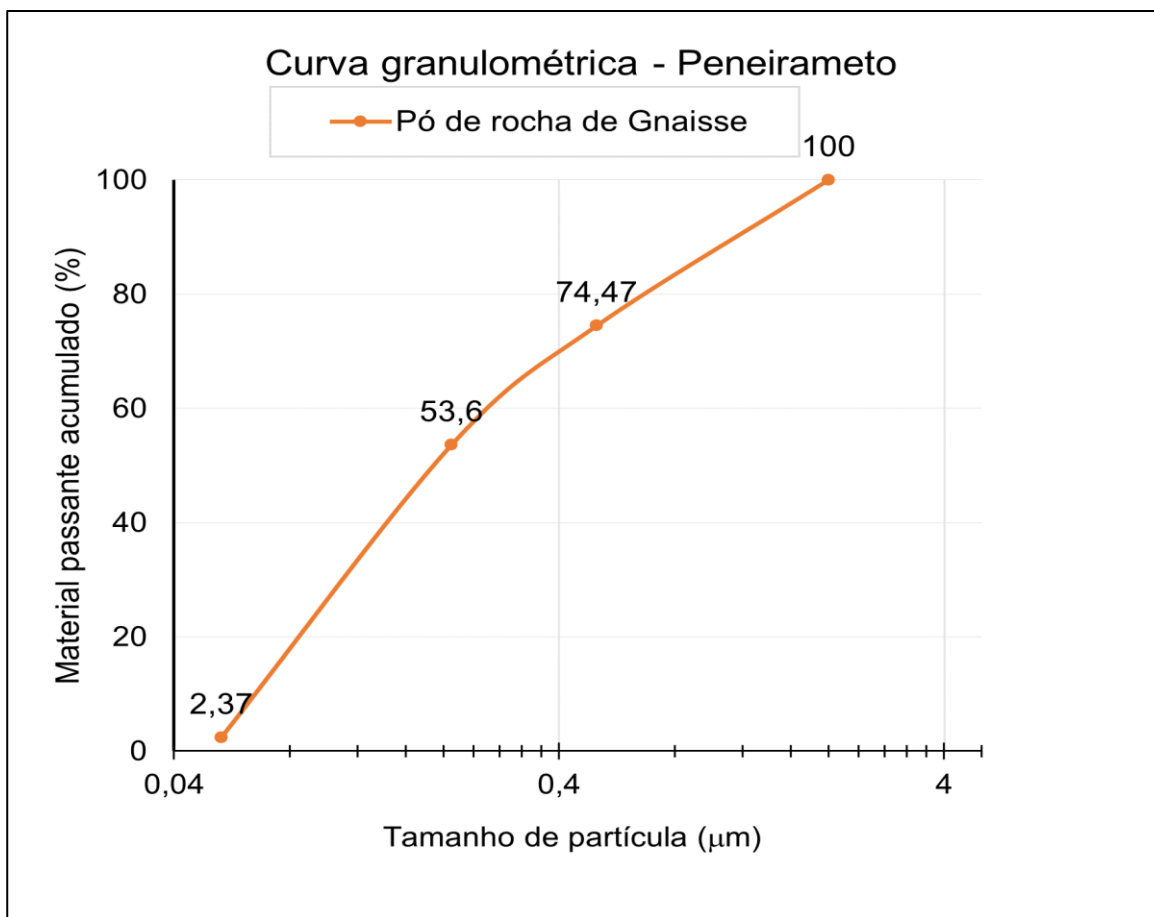
De forma integrada, os resultados obtidos permitem concluir que a amostra PE-04 apresenta elevado potencial para uso como remineralizador, atendendo de maneira consistente aos critérios estabelecidos pela Instrução Normativa nº 5. Assim, a caracterização geoquímica realizada reforça a importância do enquadramento normativo adequado para a definição do uso agrônomo da rocha estudada, destacando o papel dos remineralizadores como alternativas tecnicamente viáveis e ambientalmente alinhadas à agricultura sustentável.

5.2.3 Análise Granulométrica

A distribuição granulométrica do material analisado é apresentada na TAB. 11, na qual constam os percentuais retidos individualmente e os percentuais passantes acumulados para cada peneira utilizada no ensaio. E a apresentação gráfica da curva granulométrica é apresentada na FIG. 12.

Tabela 11 – Distribuição Granulométrica do pó de rocha pelo método de peneiramento

Peneira/Limite (mm)	% Retida Individual	% Passante Acumulada
2.0	-	100.00%
0.5	25.53%	74.47%
0.21	20.87%	53.60%
0.053	51.23%	2.37%
Fundo	2.36%	0.00%

Figura 12 - Curva granulométrica, pelo método de peneiramento do pó de rocha de gnaiss rejeito a Pedreira Ervália.

Conforme os dados obtidos, observa-se concentração significativa do material na fração entre 0,21 - 0,053 mm, indicando predominância de partículas de granulometria areia fina. O percentual de material na fração silte/argila foi de 2,36%.

A aplicação do método da pipeta, com correção da massa pelo fator de umidade ($F = 0,99957$), evidenciou variação gravimétrica desprezível entre as massas úmida e seca da

amostra de controle, indicando eficiência no processo de secagem em estufa e assegurando a confiabilidade dos valores obtidos. Esse fator de correção próximo da unidade demonstra que a amostra apresentava teor de umidade residual mínimo, não interferindo significativamente na determinação das frações granulométricas.

Os resultados obtidos encontram-se apresentados na TAB. 12, na qual são indicadas as massas absolutas e as respectivas porcentagens das frações granulométricas determinadas pelo método da pipeta.

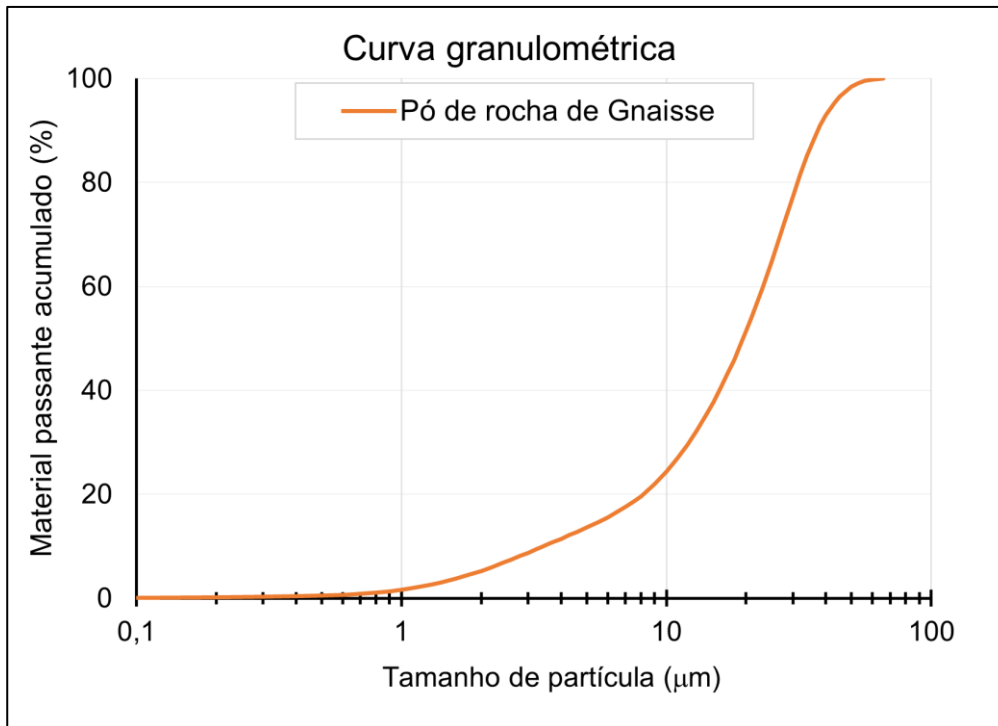
Tabela 12 - Resultados da análise granulométrica pelo método da pipeta.

Fração	Massa (g)	Porcetagem (%)
Areia	7,1947	70,82
Silte	2,9057	28,6
Argila	0,0596	0,59

Observa-se o predomínio da fração areia, correspondente a 70,82% da massa total da amostra, seguida pela fração silte, com 28,60%, e uma contribuição reduzida da fração argila, representando apenas 0,59%. Interessante observar que o peneiramento a seco subestima muito o percentual silte/argila presente em uma amostra em uma ordem de grandeza. Houve um incremento de 2,36% no peneiramento a seco para 29,19% na separação pelo método gravimétrico. Isso tem um impacto relevante para a área superficial da amostra e conseqüentemente para a susceptibilidade ao intemperismo.

Na análise de granulométrica a laser a distribuição granulométrica de parte da fração silte/argila do pó de rocha de gnaiss (abaixo de 0,038 mm) evidenciou valores de $D_{10} = 3,43 \mu m$, $D_{50} = 19,52 \mu m$, e $D_{90} = 37,3 \mu m$, o que demonstra que 50% do volume da amostra é constituído com diâmetro inferior a aproximadamente $20 \mu m$, enquanto 90% apresentam diâmetro inferiores de $40 \mu m$. O valor médio de diâmetro das partículas é de $20,33 \mu m$, evidenciando uma inclinação na curva granulométrica acentuada entre $10 \mu m$ e $40 \mu m$, apresentando relativamente um comportamento homogêneo (FIG. 13).

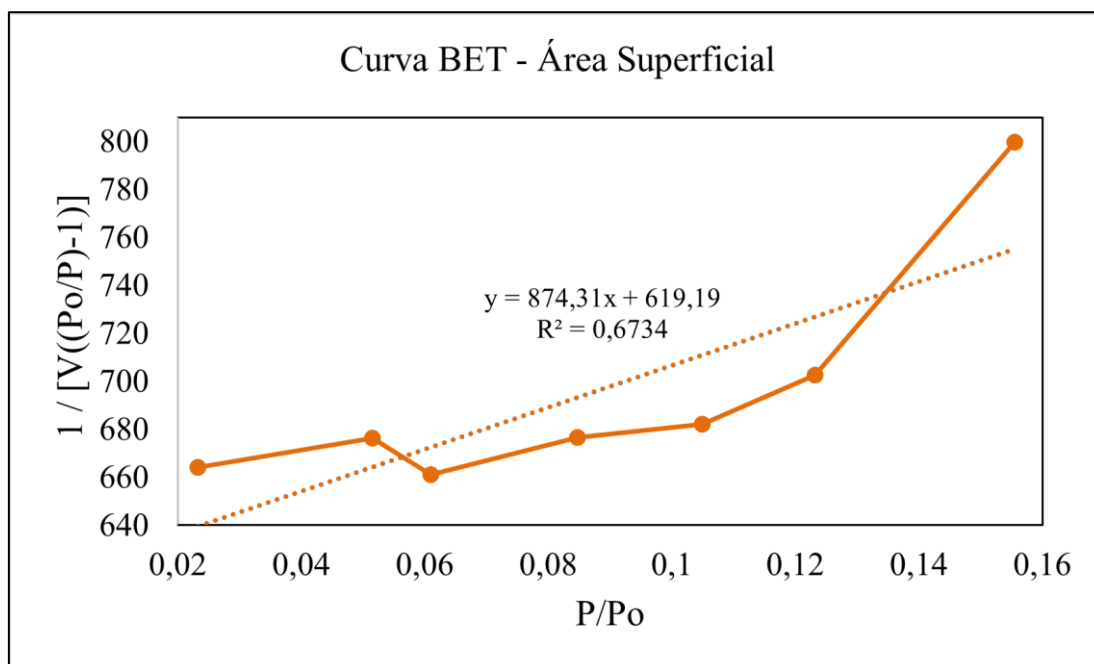
Figura 13 - Curva granulométrica, pelo método de granulometria por difração a laser do pó de rocha de gnaiss rejeito a Pedreira Ervália.



A análise granulométrica por difração a laser evidenciou a presença de partículas finas, conforme indicado pelos parâmetros característicos da distribuição granulométrica. A presença majoritária de partículas com menores diâmetros implica aumento da área superficial total disponível para interação com o meio, fator relevante para materiais destinados à aplicação como remineralizadores de solo. A distribuição granulométrica relativamente homogênea observada indica eficiência no processo de cominuição, resultando em um material com comportamento físico uniforme e previsível.

A determinação da área superficial específica da areia fina do pó de rocha de gnaiss (75-150 μm) foi realizada a partir do método de Brunauer, Emmett e Teller (BET). A curva de BET multiponto apresentou comportamento quase linear no intervalo de pressão relativa avaliado ($0,2 < P/P_0 < 0,16$), o que permitiu a aplicação do modelo teórico proposto para cálculo da área específica (FIG. 14).

Figura 14 – Curva BET de área superficial do pó de rocha de gnaiss rejeito a Pedreira Ervália.



A inclinação positiva da reta e o intercepto igualmente positivo obtidos a partir da regressão linear dos dados resultaram em uma constante $C = 2,41$, indicando uma interação fraca com o adsorvato (N_2) e a superfície do material estudado, pois valores reduzidos da constante C indicam baixa energia de absorção, característica de superfícies com baixa microporosidade (BRUNAUER; *et al.*, 1938; LOWELL *et al.*, 2004). O modelo que indicou uma superfície específica com valor de $2,33 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, característico de frações fina de rochas silicáticas.

Esses resultados confirmam que o produto analisado, proveniente do processo de cominuição em pedreira, apresenta características granulométricas compatíveis com materiais classificados como pó de rocha, com predominância de partículas na faixa granulométrica correspondente à fração areia fina e silte.

De acordo com as normativas vigentes aplicáveis à caracterização granulométrica de materiais particulados, a natureza física do material analisado enquadra-se como pó de rocha, atendendo aos critérios estabelecidos pelas referências ABNT n° 10 (2,00 mm), n° 20 (0,84 mm) e n° 50 (0,30 mm).

6 CONCLUSÃO

A integração dos dados em ambiente SIG permitiu identificar áreas com elevado potencial para reinserção de resíduos da mineração como insumos agrícolas.

Os resultados permitiram cumprir os objetivos propostos, fornecendo subsídios técnicos para a identificação e avaliação de Unidades de Interesse Agrônômico (UIA) e para a análise do potencial de reaproveitamento de resíduos na região. A caracterização geoquímica, integrada a dados pré-existentes, evidenciou que diversas unidades geológicas apresentam composição compatível com o uso como remineralizadores, em função dos teores de Ca, Mg, K e micronutrientes, associados a baixos níveis de elementos potencialmente tóxicos, atendendo aos critérios da Instrução Normativa nº 5/2016. Esses dados confirmam o potencial agrônômico da Zona da Mata Mineira para o aproveitamento de agrominerais.

Os resultados também evidenciaram diferenças entre o enquadramento como remineralizador e como fertilizante mineral. Enquanto fertilizantes fornecem nutrientes prontamente solúveis e de resposta imediata, os remineralizadores atuam por liberação gradual, promovendo melhoria duradoura das propriedades do solo. O material estudado atende aos critérios para remineralizadores, mas não aos requisitos de fertilizantes convencionais, reforçando sua vocação como insumo de liberação lenta. Adicionalmente, apresenta potencial para uso em formulações organominerais e substratos agrícolas, atuando como fonte complementar de nutrientes e condicionador físico do solo, especialmente relevante na agricultura orgânica e agroecológica.

Do ponto de vista mineralógico e granulométrico, o material apresenta minerais silicáticos portadores de nutrientes e granulometria compatível com os requisitos normativos, favorecendo a dissolução progressiva e a disponibilidade gradual de nutrientes.

O Batólito Muriaé destaca-se sob a perspectiva territorial, associando resultados geoquímicos promissores à ocorrência em áreas com concessão ou requerimento mineral no SIGMINE, o que reforça sua viabilidade logística para reaproveitamento de estéreis e rejeitos. De forma complementar, os Anfibólitos Santo Antônio do Grama também apresentam relevância espacial, pela coincidência entre áreas de interesse minerário e composição favorável ao fornecimento de Ca e Mg.

Em relação à Pedreira de Ervália, os resultados demonstram que o material estudado apresenta elevado potencial como remineralizador, pois apresenta Soma de Bases e teor de K_2O compatíveis com os critérios normativos para remineralizadores, associados a uma granulometria enquadrada como pó de rocha, configurando-se como material tecnicamente apto

à liberação gradual de nutrientes e ao reaproveitamento sustentável de resíduos minerários na agricultura.

Ressalta-se que, embora os resultados obtidos indiquem potencial para o uso da rocha estudada como remineralizador, a definição mais robusta de seus padrões de eficiência agrônômica ainda demanda a realização de estudos complementares. Nesse contexto, recomenda-se a determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e do Poder de Neutralização (PN), parâmetros essenciais para avaliar a interação do material com o solo e sua capacidade de correção da acidez. Adicionalmente, a análise do teor de nitrogênio e de outros nutrientes associados torna-se fundamental para uma caracterização química mais abrangente. Ensaio experimentais em vasos, seguidos de testes em campo, também são indispensáveis para validar o desempenho agrônômico em condições reais, incluindo avaliações detalhadas do desenvolvimento radicular e da composição foliar das plantas. Tais abordagens permitirão consolidar critérios técnicos mais confiáveis para a aplicação da rocha como remineralizador, contribuindo para sua utilização segura e eficiente em sistemas produtivos.

Por fim, os resultados obtidos reforçam a relevância do aproveitamento de resíduos minerários como fonte alternativa de insumos agrícolas, contribuindo para a redução da dependência de fertilizantes importados, para o fortalecimento da agricultura sustentável e para a valorização dos recursos geológicos regionais. Dessa forma, este trabalho contribui significativamente para o avanço do conhecimento sobre agrominerais silicáticos na região da Zona da Mata Mineira e estabelece bases técnicas para futuras investigações voltadas à viabilização agrônômica e tecnológica desses materiais.

Esse resultado contribui diretamente para a promoção da economia circular, agregando valor a materiais anteriormente considerados passivos ambientais e reduzindo os impactos associados à disposição de rejeitos

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F. F. M. **O Cráton do São Francisco**. Rev. Bras. Geoc. 7:349-364, 1997.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Pesquisa Setorial: Macro Indicadores, 2025**. Disponível em: https://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 27 jan. 2025.
- BELÉM, J., PEDROSA-SOARES, A. C., NOCE, C. M., SILVA, L. C., ARMSTRONG, R., FLECK, A., GRADIM, C., QUEIROGA, G. **Bacia precursora versus bacias orogênicas: exemplos do Grupo Andrelândia com base em datação U-Pb (LA-ICP-MS) em zircão e análise litoquímicas**. Geonomos, Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 224–243, 2011.
- BITTENCOURT, M. M. **Modelagem Metamórfica de Rochas do Complexo Juiz de Fora e do Grupo Andrelândia na Região de Abre Campo e Manhuaçu, Minas Gerais**. Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG n 433, p. 40, 2022.
- BRANDALISE L. A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Ponte Nova, SF.23-X-B-II. Escala 1:100.000. Texto explicativo**. Brasília, DNPM/CPRM, 194p, 1991.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006. Estabelece critérios para corretivos de acidez do solo. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 6 jul. 2006.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 151, n. 252, p. 24-27, 30 dez. 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete da Ministra. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 49, p. 10-11, 14 mar. 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 9 ago. 2018.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 9 jul. 2020.
- BLASKOWSKI, A. E.; BERGMANN, M.; SILVEIRA, C. A. P.; GARNIER, J.; CAMARGO, M. A.; CAVALCANTE, O. A. **Potencial das rochas das pilhas de rejeitos da mineração Ferbasa – Cia de Ferroligas da Bahia como corretivos e remineralizadores de solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2017, Pelotas. *Anais...* Assis: Triunfal Gráfica e Editora. p. 122–127, 2017.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. **Adsorption of gases in multimolecular layers**. Journal of the American Chemical Society, v. 60, n. 2, p. 309–319, 1938.

- CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, M. E.; HUFF, S. T. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: CARDOSO, I.M.; FÁVERO, C. (Org.) **Coleção Transição Agroecológica - Solos e Agroecologia**. V.4. p. 101-128, 2018.
- CASTRO, V. R.; SANTOS, L. J. da C.; GOMES, E. R. Uso de pó de rochas silicáticas como fonte de nutrientes para solos da agricultura: revisão. *In*. Holzmann, H.A. **Impacto das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica 2**. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção: Atena Editora, Cap 11, p. 107-118, 2021.
- CHESWORTH, W. **The parent rock in the genesis of soils**. Geoderma, v.10, p.215-225, 1973.
- COSTA, M. S. & NASCIMENTO, M. dos S. **Tratos deposicionais e arquitetura estratigráfica de sucessões sedimentares da Bacia do Itajaí (Neoproterozoico), nordeste de Santa Catarina, Brasil**. Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 15, n. 2, p. 111-134, 2015.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J. **An Introduction to the Rock-forming Minerals**. 3rd ed. The Mineralogical Society, London. 2013.
- DUARTE B. P.; HEILBRON M.; CAMPOS-NETO M. C. **Granulite/Charnockite from the Juiz de Fora Domain, central segment of the Brasiliano-Pan-African Ribeira Belt**. Revista Brasileira de Geociências, v. 30(30), pp. 358-362, 2000.
- DUARTE B. P.; VALENTE S. C.; HEILBRON M.; CAMPOS NETO M. C. **Petrogenesis of the orthogneisses of the Mantiqueira Complex, Central Ribeira Belt, SE Brazil: An Archaean to Paleoproterozoic asement unit reworked during the Pan-African Orogeny**. Gondwana Res, 7: 437-450, 2004.
- EBERT, H. A. tectônica do sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes. In: **Relatório Anual do Diretor**. Rio de Janeiro: DGM, p. 97-107, 136-137. 1956.
- FIGUEIREDO, C. M. de S. **O arco magmático brasileiro na conexão entre os orógenos Araçuai e Ribeira, região de Muriaé-MG**. Dissertação de Mestrado em Geologia – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte – MG, n 97, 88 p., 2009.
- FIGUEIREDO M.C.H. & TEIXEIRA W. **The Mantiqueira Metamorphic Complex, Eastern Minas Gerais State: preliminary geochronological and geochemical results**. Anais da Acad. Bras. Cienc, 68(2): 223-246, 1996.
- FISCHEL D. P. **Geologia isotópica Sm-Nd do Complexo Mantiqueira e do Cinturão Ribeira na região de Abre Campo, Minas Gerais**. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 98p, 1998.
- HEILBRON M.; VALERIANO C. M.; VALLADARES C. S.; MACHADO N. A. **Orogênese Brasileira no Segmento Central da Faixa Ribeira, Brasil**. Revista Brasileira de Geociências, v. 25(4), pp. 249-266, 1995.
- HEILBRON M.; DUARTE B.; VALLADARES C.; NOGUEIRA J. R.; TUPINAMBÁ M.; EIRADO L. G. Síntese geológica do bloco oriental (Zona da Mata). In: A. C. PEDROSA

SOARES, C. M. NOCE, R. TROUW & M. HEILBRON (orgs.), **Projeto Sul de Minas – Etapa I: geologia e recursos minerais do Sudeste Mineiro**. Belo Horizonte, COMIG/UFMG/UFRJ/UERJ, v. 1, pp. 8-50, 2003.

HEILBRON M.; PEDROSA-SOARES A. C.; CAMPOS-NETO M.; SILVA L. C.; TROUW R. A. J.; JANASI V. C. A Província Mantiqueira. In: V. MANTESSO-NETO, A. BARTORELLI, C. D. R. CARNEIRO & B. B. NEVES (eds.), **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Beca, pp. 203-234, 2004.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes agroindústria & sustentabilidade**. CETEM, Rio de Janeiro, 880p, 2008.

LOWELL, S. *et al.* **Characterization of porous solids and powders: surface area, pore size and density**. Dordrecht: Springer, 2004.

MACHADO, N., VALLADARES, C. HEILBRON, M. C. P. L., VALERIANO, C. de M. **U-Pb geochronology of the central Ribeira belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny**. Precambrian Research, n. 79, p. 347-361, 1996.

MACHADO, P. J. O. & CARAMEZ, L. A. S. **Gênese Territorial Da Zona Da Mata Mineira**. In: Revista Territorium Terram, v. 07, n. 11, p. 40, 2024.

MINAS GERAIS. Governo do Estado de Minas Gerais. Lei nº 23.207 27 de dezembro de 2018. **Assembleia Legislativa de Minas Gerais: Palácio da Liberdade**, em Belo Horizonte, MG, dez. 2018.

NOCE C. M.; PEDROSA-SOARES A. C.; SILVA L. C.; ALKMIM F. F. **O Embasamento Arqueano E Paleoproterozóico Do Orógeno Araçuaí**. In: Revista Gnomos, vol. 15, n 1, 1722, 2007a.

NOCE C. M.; PEDROSA-SOARES A. C.; SILVA L. C.; ARMSTRONG R.; PIUZANA D. **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, 2007b.

NOCE, C. M.; COSTA, A. G.; PIUZANA, D.; VIEIRA, V. S.; CARVALHO, C. da M. **Manhuaçu: folha SF.23-X-B-III, escala 1:100.000: nota explicativa**. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil; UFMG, 2007c.

PACIULLO, F. V. P. **A seqüência deposicional Andrelândia**. 263 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

PAKTUNC, A. D. **MODAN: an interactive computer program for estimating mineral quantities based on bulk composition**. Computers & Geosciences, v. 24, n. 5, p. 425–431, 1998.

PAKTUNC, A. D. **MODAN: a computer program for estimating mineral quantities based on bulk composition: Windows version**. Computers & Geosciences, p. 883-886, 2001.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como Adubação Complementar para Culturas Oleaginosas**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, n. 110, p. 307-323, 2001.

QUEIROGA, G. N. **Caracterização de restos de litosfera oceânica do Orógeno Araçuaí entre os paralelos 17° e 21° S.** Tese de Doutorado em Geologia – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2010.

QUEIROGA G. N. **Caracterização De Restos De Litosfera Oceânica Do Orógeno Araçuaí Entre Os Paralelos 17° E 21° S.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, n.18, 180p, 2019.

RAMOS, C. G.; SILVA, G. S.; DE MELLO, A. G.; DE LEÃO, F. B.; KAUTZMANN, R. M. **Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem.** Comunicações Geológicas, v. 101, Especial III, p. 1161-1164, 2014.

RIBEIRO, A. *et al.* Síntese geológica regional do bloco ocidental (Campo das Vertentes e sul de Minas). In: PEDROSA-SOARES, A. C. *et al.* (Coords.). **Projeto Sul de Minas – Etapa I: geologia e recursos minerais do Sudeste Mineiro.** Belo Horizonte: COMIG/UFMG/UFRJ/UERJ, v. 1, p. 51-83, 2003.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S.C.A.; BRAGA, P.F.A. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais.** Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia – CTEM-MCT. Rio de Janeiro, 5570 p, 2007.

SILVA, D. R. G.; MERCHI, G.; SPEHAR, C. R.; GUILHERME, L. R.; REIN, T. A.; SOARES, D. A.; ÁVILA, F. W. **Characterization and Nutrient Release from Silicate Rocks and Influence on Chemical Changes in Soil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36, 951-962, 2012.

SILVA, L. S. **Projeto Leste. Província Pegmatítica Oriental. Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais.** Belo Horizonte: CPRM, p.80, 2000.

SILVA L. C.; ARMSTRONG R.; NOCE C. M.; CARNEIRO M. A.; PIMENTEL M. M.; PEDROSA-SOARES A. C.; LEITE C. A.; VIEIRA V. S.; SILVA M. A.; PAES V. J. C.; CARDOSO-FILHO J. M. **Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, parte II: Orógeno Araçuaí, Cinturão Mineiro e Cráton São Francisco Meridional.** Rev. Bras. Geociênc., 32:513-528, 2002.

SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. **Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: a review.** Science of the Total Environment, Amsterdam, v. 807, p. 150, 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 274 p., 2017.

TOSCANI, R. G. DA S. & CAMPOS J. E. G. **Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos altamente intemperizados.** Geociências, v. 36, n. 2, p. 259 – 274, 2017.

VIOLANTE, M. R. **Avaliação do potencial agrogeológico das rochas ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo.** Trabalho de Conclusão de

Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 76P, 2024.

APÊNDICE I

Descrição de Campo

Localização: Pedreira Ervália

Data: 14/05/2025

Coordenadas: X – 745397 E

DATUM: Sirgas 2000/Zona 23 K

Y – 7693082 N

Horas: 9:30

Descrição do Afloramento: O afloramento é composto por um Anfibólio-biotita gnaisse, com presença de diques de leucossoma. Ao longo dele nota-se uma alternância dos níveis leucocráticos, com predominância dos níveis melanocráticos, além disso, observa-se que os diques feldspáticos são produtos da fusão parcial desta rocha (FIG. A.I, A).

Descrição da Rocha: A rocha possui coloração cinza clara com bandamento gnáissico. Em campo foi possível observar que as bandas melanocráticas são compostas em sua maioria por anfibólio e biotita . As bandas leucocráticas composta por sua maioria de plagioclásio, quartzo e plagioclásio. Também foi possível observar a presença de porfiroblastos sin-tectônicos- com presença de fusão parcial (FIG. A.I, B), e diques com paredes difusas (FIG. A.I, C) com 5-10% de minerais peritéticos, além disso, foi possível observar presença de pirita. Assim definindo a rocha como um Gnaisse de fácies anfibolito.

Descrição das amostras: A amostra coletada em campo foi retirada com o intuito de representar as principais diferenciações do afloramento.

- **PE-01:** Amostra de Gnaises com maior frequência de bandamento e maior representação da banda leucocrática - apenas para microscopia óptica (FIG. A.I, D).
- **PE-02:** Amostra de Gnaisse com maior representação da parte melanocrática - apenas para microscopia óptica (FIG. A.I, E).
- **PE-03:** Amostra de Gnaisse com presença do dique leucocrático - apenas para microscopia óptica (FIG. A.I, F).
- **PE-04:** Amostra de gnaisse representando a transição da parte melanocrática para leucocrática - microscopia óptica e geoquímica (FIG. A.I, G).
- **PE-05:** Amostra representando parte felsica do afloramento com presença de pirita – apenas para microscopia óptica (FIG. A.I, H).
- **PE-06:** Amostra representando porfiroblastos máficos nos diques – apenas para microscopia óptica (FIG. A. I, I).

- **PE-07:** Amostra pó de rocha gnáissica da pedreira Ervália (FIG. A.I, J).

Medições em campo:

Sb – 100/40

Sb – 80/50

Dique – 130/25

Figura A.I, A - Afloramento estudado em campo, Pedreira Ervália, visada para norte.



Figura A.I, B - Porfiroblastos sin-tectônico, com presença de fusão parcial.



Figura A.I, C - diques com paredes difusas.



Figura A.I, D - Amostra PE-01: Gnaisses com maior frequência de bandamento e maior representação da banda leucocrática.



Figura A.I, E- Amostra PE-02: Gnaisse com maior representação da parte melanocrática.



Figura A.I, F – Amostra PE-03: Gnaisse com presença do dique leucocrático.



Figura A.I, G - Amostra PE-04: de gnaisse representando a transição da parte melanocrática para leucocrática.



Figura A.I, H – Amostra PE-05: representando parte felsica do afloramento com presença de pirita.



Figura A.I, I – Amostra PE-06: Porfiroblastos máficos nos diques.



Figura A.I, J- Amostra PE-07: Pó de rocha, produzido na pedreira Ervália.



APÊNDICE II

Dados de Coordenadas em Sirgas 2000, Zona 23S

Tabela A.II, A– Coordenadas das amostras pré-existentes do Grupo Andrelândia

Amostra	Rocha	Coordenada E	Coordenada N
CE33	paragnaisse	809192	7704342
JB03	paragnaisse	567332	7623481
JB04	paragnaisse	569388	7624306
JB05	granada-biotita-xisto	571439	7595822
JB06	paragnaisse	571348	7594685
MU11	paragnaisse	809898	7757177
MU15A	paragnaisse	812410	7702621
MU165	paragnaisse	822189	7669186
UB03	paragnaisse	738556	7633161
UB18A	paragnaisse	713641	7663095
UB18B	paragnaisse	713641	7663095
UB18C	paragnaisse	713641	7663095
UB65	paragnaisse	713641	7663095
GQ17	paragnaisse	817306	7685905
GQ18	paragnaisse	827934	7696783
GQ20	paragnaisse	806691	7675021

Fonte: Belém, *et al.* (2011), com coordenadas obtidas a partir de Inteligência Artificial.

Tabela A.II, B– Coordenadas das amostras pré-existentes do Complexo Juiz de Fora

Amostra	Litotipo	Coordenada E	Coordenada N
OF-46-1	metatonalito	710626	7743181
OF-30	tonalito	720532	7742906
OF-28-2	bt-gnaisse granítico	750099	7742458
RM-114	bt-hb gnaisse	739159	7752627
OF-31	metatonalito	720532	7742906
OF-51-3	protomilonito	738075	7743293
OF-51-2	metatonalito	738075	7743293
RM-162	gnaisse enderbítico	736418	7752816
OF-28-1	tonalito gnaisse	750099	7742458
RM-123	bt-gnaisse	736417	7752816
RM-119	bt-gnaisse granitífero	733980	7752718
RM-121	charnoquito	733980	7752718
OF-49	protomilonito	757312	7742855
OF-46-2	milonito	710626	7743181
RM-147	anfíbolito	736418	7752816

Fonte: Brandalise, (1991)

Tabela A.II, C– Coordenadas das amostras pré-existentes do Anfibolito do Santo Antônio do Grama

Amostra	Rocha	Coordenada E	Coordenada N
GQ-141	Anfibolitos	751868	7752050
B1B	Anfibolitos	749680	7750232
CG9C	Anfibolitos	753596	7742945
GQ-13	Anfibolitos	751000	7752900
GQ-04	Anfibolitos	751221	7752616
GQ-09	Anfibolitos	759661	7766030
GQ-63	Anfibolitos	758867	7762829
GQ-69	Anfibolitos	756167	7759152
GQ-03	Anfibolitos	751753	7749967
GQ-119	Tremilita-talco xisto	747543	7744905

Fonte: Queiroga, (2010)

Tabela A.II, D– Coordenadas das amostras pré-existentes do Batólito Muriaé.

Amostra	Rocha	utm x	utm(y)
CE56B	Enclaves Gabro- dioríticos	774412	7669394
CE66	Enclaves Gabro- dioríticos	761279	7646235
CE68A	Enclaves Gabro- dioríticos	766501	7661975
CE70A	Enclaves Gabro- dioríticos	771651	7653959
CE10	Honblenda-biotita Gnaiss	776804	7671982
CE56A	Honblenda-biotita Gnaiss	774412	7669394
CE60	Honblenda-biotita Gnaiss	761929	7645435
CE76A	Honblenda-biotita Gnaiss	773142	7655992
MU56A	Honblenda-biotita Gnaiss	766501	7661975
CE85B	Honblenda-biotita Gnaiss	776782	7669394
CE73A	Granitoide Anatético	750752	7643484
MU14C	Granitoide Anatético	759929	7644485
MU81B	Granitoide Anatético	762229	7645285
CE57	Granito foliado	761629	7645135
CE10C	Granito leucocrático	776804	7671982
CE100	Granito leucocrático	760129	7646585

Fonte: Figueiredo, (2010), com dados gerados por IA

APÊNDICE III

Tabela A.III, A - Dados Geoquímicos obtidos da amostra PE-04.

Elemento maiores e traços	Unidade	Quantificação
Ag	ppm	0,08
Al	%	7,52
As	ppm	1
Ba	ppm	896
Be	ppm	2,3
Bi	ppm	<0.04
Ca	%	4,34
Cd	ppm	0,15
Ce	ppm	205,95
Co	ppm	47,3
Cr	ppm	10
Cs	ppm	<5
Cu	ppm	<0.5
Fe	%	7,17
Ga	ppm	25,4
Ge	ppm	0,4
Hf	ppm	1,01
In	ppm	0,12
K	%	1,5
La	ppm	95,9
Li	ppm	13
Lu	ppm	0,56
Mg	%	1,55
Mn	%	0,12
Mo	ppm	0,71
Na	%	2,92
Nb	ppm	28,1
Ni	ppm	6,8
P	ppm	3260
Pb	ppm	12,8
Rb	ppm	22,5
S	%	0,06
Sb	ppm	<0.05
Sc	ppm	22
Se	ppm	2
Sn	ppm	2,3
Sr	ppm	553,5

Continua...

Continuação...

Elemento maiores e traços	Unidade	Quantificação
Ta	ppm	1,47
Tb	ppm	2,07
Te	ppm	<0.05
Th	ppm	3,5
Ti	%	1,05
Tl	ppm	0,14
U	ppm	0,3
V	ppm	132
W	ppm	315,7
Y	ppm	49,8
Yb	ppm	4,1
Zn	ppm	133
Zr	ppm	21,1
Al ₂ O ₃	%	15,8
BaO	%	0,11
CaO	%	6,41
Cr ₂ O ₃	%	<0.01
Fe ₂ O ₃	%	10,8
K ₂ O	%	1,85
MgO	%	2,85
MnO	%	0,18
Na ₂ O	%	4,37
P ₂ O ₅	%	0,76
SiO ₂	%	55,6
SrO	%	0,06
TiO ₂	%	1,83
SOMA	%	100,68
LOI	%	0,15

ANEXO I

Tabela AX.I, A- Análises litoquímicas das amostras do Grupo Andrelândia (elementos maiores em % peso; traços em ppm; pgn, paragnaisse; xst, granada-biotita xisto).

Amostra	CE33	JB03	JB04	JB05	JB06	MU11	MU15A	MU165	UB03	UB18A	UB18B	UB18C	UB65	GQ17	GQ18	GQ20	GQ27
Rocha	pgn	pgn	pgn	xst	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn
Elementos maiores em %																	
SiO ₂	63,35	55,64	80,69	63,83	63,75	63,06	58,66	62,16	67,59	49,17	93,84	63,74	63,03	48,45	67,85	63,65	48,36
TiO ₂	0,92	0,78	0,29	0,84	1,08	0,83	0,82	0,56	0,53	1,17	0,04	0,7	0,76	2,58	0,56	0,94	1,46
Al ₂ O ₃	15,39	22,45	9,17	15,95	16,85	17,17	21,86	15,97	14,69	13,64	2,7	15,18	15,98	13,36	15,57	15,54	14,42
Fe ₂ O ₃	8,53	8,71	3,42	6,99	7,85	8,38	8,9	6,31	5,41	14,1	0,66	8,16	8,05	13,93	3,67	8,09	11,47
MnO	0,15	0,27	0,08	0,11	0,08	0,1	0,07	0,1	0,13	0,21	<0,01	0,2	0,1	0,18	0,04	0,14	0,2
MgO	3,63	2,64	1,29	3,15	1,63	2,74	3,41	2,64	1,54	7,31	0,06	2,99	3,26	6,47	1,18	3,5	7,73
CaO	2,67	1	1,38	2,62	0,76	3,29	0,75	4,65	1,65	11,05	0,45	2,14	2,18	10,89	2,48	2,54	12,74
Na ₂ O	2,38	1,84	2,06	2,81	1,12	3,36	0,81	3,62	2,58	1,73	0,42	3,27	1,98	2,16	4,22	2,65	2,57
K ₂ O	1,85	3,33	1,1	2,59	3,43	1,18	4,16	3,03	4,8	0,38	1,37	2,92	3,82	0,78	3,25	1,93	0,21
P ₂ O ₅	0,04	0,14	0,04	0,21	0,34	0,11	0,07	0,25	0,04	0,1	0,02	0,06	0,04	0,24	0,18	0,15	0,11
LOI	0,9	2,9	0,4	0,7	2,9	-0,4	0,2	0,4	0,8	0,9	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5
Soma	99,81	99,76	99,95	99,8	99,83	99,83	99,74	99,7	99,75	99,78	99,97	99,78	99,74	99,77	99,85	99,83	99,8
Elementos traços em ppm																	
Ni	61	103	<20	59	46	<20	60	<20	29	118	<20	62	<20	26,4	8,1	60,8	34
Rb	78,6	134,3	69,9	90,6	139,4	35,6	187	66,7	172,3	10,5	31,9	147,5	131,5	3,1	121,3	90	1,2
Ba	388	812	157	592	585	393	986	1217	1243	27	303	799	977	249	631	347	39
Sc	22	17	5	17	21	19	20	13	13	45	<1	17	19	-	-	-	-
Th	8,9	15,3	9,3	8,9	13,7	4,6	19,1	0,6	8,5	0,3	34,5	12,4	8,6	2,4	37,5	9,4	0,2
U	1,4	3,3	1,7	2,6	2,2	0,7	1,7	0,2	0,8	<0,1	1	2,2	0,8	0,9	0,8	2,2	<0,1

Continua...

Continuação...

Amostra	CE33	JB03	JB04	JB05	JB06	MU11	MU15A	MU165	UB03	UB18A	UB18B	UB18C	UB65	GQ17	GQ18	GQ20	GQ27
Rocha	pgn	pgn	pgn	xst	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn	pgn
Elementos traços em ppm																	
Nb	7,8	20,7	9	10,6	15,6	6,6	12	6,1	20,7	3,2	0,7	9,5	7	17,4	8,7	11,2	7,4
Ta	0,4	1,5	1,5	0,8	1,1	0,4	0,5	0,3	1,2	0,2	<0.1	0,7	0,1	1,2	0,4	0,8	0,6
La	38,7	50,5	17,4	17,4	38,3	27,4	58,7	38	28	2,9	31,9	33,4	37,7	23,3	85,6	29,6	7,1
Ce	87,3	101,5	38,4	52,1	89,5	62,5	123,9	83,2	53,5	8,6	53,8	64,8	78,7	43,08	211,1	63	19
Pr	9,19	11,01	3,81	5,27	9,75	6,82	13,09	8,94	5,78	1,38	5,18	7,36	9,05	6,81	17,11	8,18	2,82
Sr	181	245	143,9	206,4	133,4	347,1	178,5	673,3	341,8	130,4	73,7	311,4	269,2	343,1	237	200,3	165,4
Nd	35,2	40,6	14,4	21,7	36,9	26,8	50,2	33,2	20,2	6,9	15,9	27,9	34,6	27,9	53,4	32,5	13,9
Zr	207,7	153,7	123,3	194,4	223,6	202	150,5	143,3	288	51,2	182	153	279,8	134,4	193,1	207,3	81,3
Hf	6,5	4,6	3,8	6,1	6,7	6,3	4,3	4,1	8,6	1,5	4,6	4,4	7,9	4,1	5,8	6,4	2,4
Sm	6,33	6,93	2,68	4,6	6,85	5,18	7,55	5,73	3,03	2,35	1,75	4,68	6,05	6,12	7,12	7,2	3,87
Eu	1,3	1,53	0,65	1,15	1,45	1,37	1,5	1,4	1,52	0,75	0,41	1,13	1,55	1,99	1,02	1,43	1,39
Gd	6,37	6,01	2,46	4,55	6,52	5,3	6,52	4,37	2,35	3,41	0,76	3,74	5,53	6,1	3,7	7,18	4,57
Tb	1,18	0,92	0,41	0,83	1,14	0,96	1,05	0,65	0,46	0,63	0,1	0,59	0,97	1,01	0,49	1,28	0,65
Dy	7,25	5,01	2,29	5,15	6,27	5,61	6,21	3,11	3,35	3,89	0,37	3,44	5,89	0,05	5,79	2,14	5,32
Y	42,6	28,5	12,9	30,9	34,4	34,7	36,7	16,9	26,7	24,3	1,9	22	37	30,3	8,5	42,9	29
Ho	1,47	1,01	0,44	1,08	1,28	1,23	1,29	0,62	0,89	0,86	0,06	0,73	1,27	1,14	0,29	1,52	1,12
Er	4,39	2,95	1,21	3,29	3,83	3,58	3,9	1,58	3,15	2,53	0,12	2,18	3,78	3,02	0,66	4,52	3,18
Tm	0,65	0,48	0,2	0,53	0,59	0,56	0,58	0,25	0,57	0,38	0,02	0,32	0,57	0,45	0,09	0,75	0,49
Yb	4,32	3,06	1,35	3,27	3,72	3,59	3,72	1,55	4,06	2,46	0,12	2,17	3,6	2,76	0,49	4,75	2,97
Lu	0,64	0,47	0,21	0,51	0,58	0,53	0,56	0,24	0,67	0,36	0,02	0,33	0,55	0,4	0,06	0,68	0,43
Co	21,2	30,9	5,2	17,3	17,9	19,3	20,5	15,2	13	54,8	0,8	23,1	11	89,5	102,5	159,5	68,7

Fonte: Belém, *et al.* (2011)

Tabela AX.I, B– Características petroquímica das rochas do complexo Juiz de Fora

Amostra	OF-46-1	OF-30	OF-28-2	RM-114	OF-31	OF-51-3	OF-51-2	RM--162
Litotipo	metatonalito	tonalito	bt-gnaiss granítico	bt-hb gnaiss	metatonalito	protomilonito	metatonalito	gnaiss enderbítico
Elementos maiores em %								
SiO ₂	84,36	71,19	71,03	69,94	69,63	67,26	66,3	64,72
Al ₂ O ₃	7,54	16,4	15,08	16,57	18,29	16,58	15,84	17,18
Fe ₂ O ₃ *	0,88	1,07	1,77	1,28	0,1	0,77	2,63	7,54
FeO	1,47	0,66	0,56	0,85	1,66	1,23	3,04	4,78
MnO	0,06	0,3	0,06	0,02	0,04	0,03	0,07	0,12
MgO	0,79	0,6	1,29	0,73	0,53	1,16	2,32	3,31
CaO	1,74	3,54	2,92	1,74	3,68	2,22	4,1	2,18
Na ₂ O	1,64	4,85	3,18	4,15	5,07	2,1	2,94	2,4
K ₂ O	0,67	0,6	3,55	3,25	0,53	6,74	1,64	2,22
TiO ₂	0,4	0,25	0,5	0,5	0,25	0,6	0,55	1
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0,52	0	0
PF	0,28	0,31	0,54	0,52	0,28	13,5	0,88	0,11
H ₂ O	0,24	0,17	0,21	0,13	0,18	0,09	0,16	0,1
Total	100,07	99,67	100,69	99,68	100,24	100,65	100,47	99,63
Elementos traços em ppm								
Cu	35	4	17	5	1,5	15	35	25
Pb	1,5	0,75	1,5	3	0,75	1,5	0,75	0,75
Zn	20	12	24	40	18	35	90	85
Co	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	26	2,5	8	11	2,5	12	47	56

Continua...

Continuação...

Amostra	OF-46-1	OF-30	OF-28-2	RM-114	OF-31	OF-51-3	OF-51-2	RM--162
Litotipo	metatonalito	tonalito	bt-gnaise granítico	bt-hb gnaise	metatonalito	protomilonito	metatonalito	gnaise enderbítico
Elementos maiores em %								
Ni	19	4	8	11	4	16	35	50
V	40	10	35	30	20	20	70	120
Sc	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	25	25	25	25	25	85	25	70
Nb	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Ba	250	1200	1430	950	300	2320	460	600
Sr	250	60	420	470	1190	360	250	220
Zr	25	7,5	80	65	25	25	55	55
Th	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Rb	27	5	84	140	13	240	100	95
Li	18	6	8	15	7	25	40	21
Ti	2396	1498	2995	2995	1498	3594	3295	5990
K	5561	4980	29465	26975	4399	55942	13612	18426

Amostra	OF-28-1	RM-123	RM-119	RM-121	OF-49	OF-46-2	RM-147
Litotipo	tonalito gnaise	bt-gnaise	bt-gnaise granitífero	charnoquito	protomilonito	milonito	anfíbolito

Elementos maiores em %

SiO ₂	64,33	64,28	63,98	62,24	61,8	56,58	50,54
Al ₂ O ₃	16,03	17,35	16,88	16,4	18,86	16,22	16,22
Fe ₂ O ₃ *	4,53	0,96	1,81	1,08	1,42	1,44	2,2
FeO	1,13	5,83	4,03	7,77	3,6	8,47	11,66

Continua...

Continuação....

Amostra	OF-28-1	RM-123	RM-119	RM-121	OF-49	OF-46-2	RM-147
Litotipo	tonalito gnaisse	bt-gnaisse	bt-gnaisse granitífero	charnoquito	protomilonito	milonito	anfíbolito
Elementos maiores em %							
MnO	0,09	0,14	0,09	0,15	0,08	0,17	0,22
MgO	1,66	3,28	2,72	2,92	3,48	5,47	5,64
CaO	4,1	2,02	3,68	4,31	4,31	7,97	7,69
Na ₂ O	3,45	2,99	3,07	2,72	4,21	2,29	2,72
K ₂ O	2,16	2,41	1,8	1,2	1,32	0,38	0,72
TiO ₂	0,85	1,05	0,85	1	0,75	1	1,85
P ₂ O ₅	0,52	0	0,26	0,26	0	0	0
PF	0,68	0,26	0,37	0,13	0,23	0,11	0,19
H ₂ O	0,24	0	0,26	0	0,2	0	0
Total	99,77	100,57	99,87	100,18	100,26	100,1	99,65
Elementos traços em ppm							
Cu	55	13	35	19	10	21	270
Pb	1,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Zn	35	90	55	50	30	16	21
Co	0	0	0	0	0	0	0
Cr	21	72	62	46	37	19	13
Ni	12	65	35	35	21	35	26
V	65	140	110	170	80	190	310
Sc	0	0	0	0	0	0	0
Y	50	95	60	55	25	70	90
Nb	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

Continua...

Continuação...

Amostra	OF-28-1	RM-123	RM-119	RM-121	OF-49	OF-46-2	RM-147
Litotipo	tonalito gnaisse	bt-ganisse	bt-gnaisse granítico	charnoquito	protomilonito	milonito	anfíbolito
Elementos traços em ppm							
Ba	1230	540	570	530	800	130	380
Sr	460	220	290	230	100	180	260
Zr	80	55	25	25	25	25	25
Th	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Rb	37	100	100	57	45	5	13
Li	10	23	20	13	9	7	1
Ti	5092	6290	5092	5990	4493	5990	11082
K	17928	20003	14940	9960	10956	3154	5976

Fonte: Brandalise, (1991)

Tabela AX.I, C– Teores de elementos maiores (%), traços e terras raras (ppm) de nove amostras de anfíbolito e uma de rocha meta-ultramáfica (MU) da região de Santo Antônio do Grama.

Amostra	GQ-141	B1B	CG9C	GQ-13	GQ-04	GQ-09	GQ-63	GQ-69	GQ-03	GQ-119
Rocha	anfíbolitos	anfíbolitos	anfíbolitos	anfíbolitos	anfíbolitos	anfíbolitos	anfíbolitos	anfíbolitos	anfíbolitos	MU
Elementos maiores em %										
SiO ₂	46.51	47.46	47.55	47.68	47.77	47.92	48.25	48.34	48.46	55.62
TiO ₂	1.55	1.14	1.45	1.32	1.37	1.35	1.58	1.32	1.26	0.03
Al ₂ O ₃	14.98	15.70	14.24	15.03	14.82	14.53	14.45	14.35	14.64	2.38
Fe ₂ O ₃	12.36	9.85	12.81	10.35	11.42	12.04	12.89	11.91	11.45	6.45
MnO	0.18	0.17	0.21	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.19	0.13

Continua...

Continuação...

Amostra	GQ-141	B1B	CG9C	GQ-13	GQ-04	GQ-09	GQ-63	GQ-69	GQ-03	GQ-119
Rocha	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	MU
Elementos maiores em %										
MgO	8.12	7.18	7.50	7.15	7.55	7.98	7.32	7.99	7.90	26.71
CaO	11.65	15.11	11.96	12.14	12.23	11.90	11.38	11.93	11.80	3.66
Na ₂ O	2.71	2.19	2.80	2.97	2.70	2.73	2.68	2.73	2.95	0.20
K ₂ O	0.19	0.33	0.66	0.59	0.58	0.29	0.14	0.25	0.24	,
P ₂ O ₅	0.171	0.220	0.203	0.194	0.168	0.144	0.151	0.125	0.122	nd
Cr ₂ O ₃	0.006	0.015	0.015	0.010	0.010	0.008	0.006	0.009	0.012	0.360
O.006	0.015	0.015	0.010	0.010	0.008	0.006	0.009	0.012	0.360	
P.F.	1.30	0.40	0.40	2.10	1.00	0.70	0.70	0.60	0.80	3.80
Total	99.73	99.77	99.80	99.72	99.81	99.78	99.75	99.83	99.87	99.36
Elementos traços em ppm										
Ni	48.00	88.00	67.00	47.00	46.00	38.00	39.00	45.00	56.00	1909.00
Co	91.10	89.30	91.60	89.90	102.40	71.30	139.40	80.20	74.00	101.60
V	303.00	264.0	297.00	253.00	296.00	296.00	321.00	295.00	287.00	42.00
Zr	84.70	70.10	80.00	84.70	78.60	70.90	84.40	73.30	68.80	2.00
Y	32.70	21.00	27.40	20.50	25.50	27.10	33.80	28.40	27.70	5.30
Rb	2.10	5.30	8.00	5.80	7.90	3.40	1.30	3.20	2.20	0.40
Sr	158.40	330.30	208.10	325.50	264.80	165.60	162.40	167.00	182.90	9.70
Nb	20.50	24.10	22.00	25.30	23.70	16.40	15.10	13.50	13.40	0.70
La	12.20	19.20	15.2	17.10	18.80	12.60	10.90	8.60	8.90	9.50
Ce	27.00	36.20	32.0	35.70	35.70	26.10	25.20	19.80	20.30	3.30
Pr	3.63	4.35	4.20	4.56	4.69	3.55	3.57	2.82	2.84	2.19
Nd	15.80	17.80	17.7	18.90	19.00	14.9	16.30	13.60	12.90	8.60

Continua...

Continuação

Amostra	GQ-141	B1B	CG9C	GQ-13	GQ-04	GQ-09	GQ-63	GQ-69	GQ-03	GQ-119
Rocha	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	anfibolitos	MU
Elementos maiores em %										
Sm	3.98	3.71	4.12	3.72	4.05	3.47	4.11	3.36	3.40	1.33
Eu	1.51	1.29	1.44	1.19	1.32	1.23	1.50	1.23	1.16	0.50
Gd	4.78	3.60	4.57	3.81	4.29	4.28	5.10	4.21	4.27	1.11
Tb	0.92	0.60	0.82	0.66	0.74	0.77	0.97	0.79	0.78	0.17
Dy	5.82	3.67	4.96	3.85	4.45	4.75	5.82	4.88	4.91	0.92
Ho	1.22	0.76	1.01	0.77	0.87	1.02	1.29	1.06	1.02	0.17
Er	3.58	2.29	2.94	2.11	2.63	2.82	3.70	3.04	2.83	0.45
Tm	0.57	0.33	0.46	0.31	0.41	0.47	0.57	0.46	0.47	0.06
Yb	3.48	2.04	2.78	2.11	2.52	2.78	3.51	2.96	2.85	0.40
Lu	0.50	0.33	0.41	0.31	0.35	0.41	0.55	0.44	0.42	0.06

Fonte: Modificado de Queiroga, (2010)

Tabela AX.I, D- Dados Litoquímicos dos litotipos representantes da Unidade Gnaiss Migmatítico e granito foliado leucocrático (Batólito Muriaé)

Amostra	CE56B	CE66	CE68A	CE70A	CE10	CE56A	CE60	CE76A
Rocha	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Honblenda-biotita Gnaiss	Honblenda-biotita Gnaiss	Honblenda-biotita Gnaiss	Honblenda-biotita Gnaiss
Elementos maiores em %								
SiO ₂	48,69	53,42	51,22	46,09	62,96	64,07	56,16	64,76
Al ₂ O ₃	16,58	16,53	16,12	15,25	15,35	16,52	17,02	16,07
Fe ₂ O ₃	8,13	10,49	9,35	13,04	6,23	5,13	8,24	5,71
MgO	9,46	3,32	6,35	7,12	1,74	2,27	2,83	1,86
CaO	10,2	5,93	7,21	9,63	3,59	3,95	4,93	3

Continua...

Continuação...

Amostra	CE56B	CE66	CE68A	CE70A	CE10	CE56A	CE60	CE76A
Rocha	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Honblenda-biotita Gnaisse	Honblenda-biotita Gnaisse	Honblenda-biotita Gnaisse	Honblenda-biotita Gnaisse
Elementos maiores em %								
Na2O	2,54	3,52	3,34	3,28	3,2	3,73	3,72	4,39
K2O	2,17	2,5	2,75	1,15	4,6	2,55	3,52	2,54
TiO2	0,74	2,17	1,63	1,51	0,95	0,75	1,45	0,83
P2O5	0,119	0,809	0,562	0,251	0,33	0,329	0,734	0,162
MnO	0,13	0,26	0,02	0,1	0,11	0,06	0,15	0,09
CrO3	0,034	<0,002	0,032	0,023	0,002	0,006	0,002	0,008
LOI	0,9	0,8	0,9	1	0,6	0,5	0,8	0,4
Total	99,72	99,68	99,59	99,58	99,72	99,85	99,58	99,87
Elementos traços em ppm								
La	16,5	80,1	54	27,1	91,8	41,9	60,8	44,7
Ce	33,1	161	110,5	66,1	150,5	79,8	121,4	83,5
Pr	3,93	19,74	13,78	8,44	20,86	9,01	14,83	9,34
Nd	16,6	79,6	55,3	35,4	80,5	34,5	57,9	34
Sm	3,06	13,11	9,94	7,42	14,4	5,59	9,86	5,37
Eu	1,14	2,84	2,54	2,19	1,61	1,06	2,79	1,66
Gd	3,1	10,36	7,95	7,16	11,67	3,82	7,28	4,03
Tb	0,54	1,6	1,24	1,16	1,811	0,57	1,1	0,62
Dy	3,1	8,27	6,63	7,06	10,22	2,82	5,44	3,27
Ho	0,65	1,62	1,2	1,51	2	0,55	1,04	0,65
Er	1,93	4,22	3,35	4	5,37	1,43	2,81	1,84

Continua...

Continuação...

Amostra	CE56B	CE66	CE68A	CE70A	CE10	CE56A	CE60	CE76A
Rocha	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Enclaves Gabro-dioríticos	Honblenda-biotita Gnaissé	Honblenda-biotita Gnaissé	Honblenda-biotita Gnaissé	Honblenda-biotita Gnaissé
Elementos traços em ppm								
Tm	0,28	0,67	0,51	0,68	0,82	0,19	0,42	0,3
Yb	1,74	4,08	2,94	3,87	4,99	1,05	2,51	1,84
Lu	0,27	0,63	0,47	0,6	0,73	0,16	0,38	0,3
Cs	3	1	1,5	<0,1	2,6	4,4	0,7	1,7
Rb	94,6	70,2	104,1	13,4	182,4	127,9	111,8	151
Ba	259	1072	1316	270	1112	379	1743	482
Th	3,3	3,8	6,2	2,5	20,4	6,5	6,3	12
U	1,5	1,1	1,2	0,2	1,9	1,4	1,6	1,3
Ta	0,7	1,7	1,1	1,7	2	1,1	1,7	1
Nb	9,1	31,5	18,4	15,5	36	12,2	32,3	15,8
Sr	59	529,1	635,6	403,8	323,3	321,2	739,5	293,7
Hf	1,9	9,1	7,1	3,2	10,8	5,2	6,3	9,5
Zr	67,8	359,9	283,7	111,5	401,5	182,6	254,5	334,9
Ti	0,5	0,3	0,6	<0,1	0,7	0,7	0,4	0,7
Ga	14,5	21,2	18	18,1	21,2	17,6	17,7	21,4
Co	80,7	92,8	63,8	123,8	91,7	88	53,3	77,7
V	143	169	145	299	72	84	119	83
W	307	301,7	548,7	507,6	658,3	315,1	538,7	651,7
Mo	0,3	1,7	0,1	0,5	1,3	0,2	0,6	0,3
Cu	2,3	31,2	6,1	44	15,8	10,1	28,4	46,1
Pb		2	1,3	1,3	3,5	1,7	1,9	1,9

Continua...

Continuação...

Amostra	MU56A	CE85B	CE73A	MU14C	MU81B	CE57	CE10C	CE100
Rocha	Honblenda-biotita Gnaiss	Honblenda-biotita Gnaiss	Granitóide Anatótico	Granitóide Anatótico	Granitóide Anatótico	Granito foliado	Granito leucocrático	Granito leucocrático
Elementos maiores em %								
SiO ₂	63,31	64,18	68,35	68,58	69,51	67,03	71,7	74,04
Al ₂ O ₃	16,5	14,86	14,9	13,99	15,1	15,13	13,94	13,51
Fe ₂ O ₃	6,07	6,57	2,87	4,41	4,79	4,59	2,25	1,34
MgO	1,79	3,09	1,7	1,43	1,48	1,18	0,41	0,19
CaO	3,55	3,43	2,34	2,69	3,02	2,75	1,37	1,03
Na ₂ O	4,27	3,36	2,65	2,85	3,07	3,73	2,66	2,95
K ₂ O	2,49	2,65	5,54	4,15	4,15	3,96	6,04	5,84
TiO ₂	0,77	0,72	0,52	0,78	0,75	0,79	0,34	0,18
P ₂ O ₅	0,284	0,15	0,212	0,209	0,236	0,239	0,07	0,03
MnO	0,07	0,07	0,08	0,06	0,03	0,02	0,16	0,09
CrO ₃	0,004	0,004	0,004	0,003	0,005	<0,002	<0,002	<0,002
LOI	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,3	0,8	0,7
Total	99,76	99,83	99,74	99,69	99,77	99,78	99,62	99,83

Elementos traços em ppm

La	25,3	183,7	50	149,5	39,7	84,3	64,6	70,2
Ce	48,8	329,3	99,2	270,5	77,9	161,5	115,1	145,4
Pr	5,85	35,97	11,6	29,83	9,11	18,22	12,87	16,48
Nd	22	120,7	42,2	104,1	35	67,8	42,7	57,1
Sm	3,97	14,25	6,35	12,86	6,09	10,06	4,84	9,91
Eu	1,04	1,95	1,41	1,63	2,05	1,38	1,19	0,47
Gd	3,65	6,73	4,38	7,25	4,65	6,57	3,01	7,69

Continua...

Continuação...

Amostra	MU56A	CE85B	CE73A	MU14C	MU81B	CE57	CE10C	CE100
Rocha	Honblenda-biotita Gnaiss	Honblenda-biotita Gnaiss	Granitóide Anatótico	Granitóide Anatótico	Granitóide Anatótico	Granito foliado	Granito leucocrático	Granito leucocrático
Elementos traços em ppm								
Tb	2,64	0,84	0,7	0,97	0,72	0,99	1,45	6,7
Dy	0,51	3,45	3,81	4,44	3,71	4,88	0,32	1,21
Ho	0,49	0,56	0,68	0,7	0,68	0,88	0,28	1,26
Er	1,26	1,44	1,92	1,65	1,82	2,31	0,65	3,6
Tm	0,2	0,23	0,28	0,2	0,25	0,31	0,12	0,58
Yb	1,04	1,4	1,65	1,19	1,58	1,97	0,73	3,32
Lu	0,16	0,23	0,24	0,18	0,25	0,29	0,11	0,49
Cs	3,3	3,8	2	3,4	0,6	2,5	1,9	6,1
Rb	175,9	168,5	145,8	163,1	114,9	196,9	190,9	374,1
Ba	433	304	1272	1501	1088	770	1003	236
Th	8,2	60,6	12,4	46,2	5,9	20,3	23,5	50,4
U	1,3	2	1,2	1,9	0,6	2,3	1,8	7,7
Ta	3,4	0,8	1	1,4	0,7	1,8	0,9	2,2
Nb	77,3	17,8	19,4	10,5	12,7	25,9	10,3	21,8
Sr	223,2	272,8	361,6	375,7	326,4	230,1	218,9	63
Hf	4,7	8,5	8,7	12,6	11,3	11,8	6,7	6
Zr	158,8	317	289,2	437	384,5	428	211,9	149,5
Ti	0,8	0,9	0,5	0,4	0,4	0,8	0,3	0,3
Ga	19,7	23,5	16,6	17,2	18,7	22,6	16,3	18,3
Co	112,2	96,5	94	113	86,7	111,3	241,8	173
V	99	62	55	74	57	52	25	15

Continua...

Continuação...

Amostra	MU56A	CE85B	CE73A	MU14C	MU81B	CE57	CE10C	CE100
Rocha	Honblenda-biotita Gnaiss	Honblenda-biotita Gnaiss	Granitóide Anatótico	Granitóide Anatótico	Granitóide Anatótico	Granito foliado	Granito leucocrático	Granito leucocrático
Elementos traços em ppm								
W	575,7	551	989,5	512,3	884,4	1487,1	1044,1	
Mo	2	1,5	2,3	0,3	1,2	0,4	3,2	4,8
Cu	2,1	8,5	21,2	4,3	21	6,9	0,8	1,3
Pb	2	4,4	1,6	3,5	1,6	2,4	4,7	5,6

Fonte: Figueiredo, (2010)

Tabela AX.I, E- Dados Químicos das rochas da Suíte Metamórfica São Sebastião do Soberbo

Amostra	RM-303B	SS-45B	SS-45C	SS-50B
Rocha	Piroxenito (calcissilicática)	Epidoto-hornblenda Gnaiss	Microclina-moscovita-plagioclásio gnaiss	Anfibolito
Elementos maiores em %				
SiO ₂	52,90	49,90	49,00	47,00
Al ₂ O ₃	1,13	17,40	17,90	13,20
Fe ₂ O ₃	0,61	8,06	9,38	15,00
FeO	2,79	1,85	3,28	9,01
MnO	0,61	0,10	0,17	0,25
MgO	16,95	1,74	2,56	6,54
CaO	22,97	17,60	13,40	12,60
Na ₂ O	0,24	1,78	3,75	2,58
K ₂ O	0,04	0,24	0,63	0,43
TiO ₂	0,10	2,18	2,12	1,99

Continua...

Continuação...

Amostra	RM-303B	SS-45B	SS-45C	SS-50B
Rocha	Piroxenito (calcissilicática)	Epidoto-hornblenda Gnaiss	Microclina- moscovita- plagioclásio gnaiss	Anfibolito
Elementos maiores em %				
P2O5	0,52	0,44	0,63	0,11
PF	1,43	1,29	0,90	0,84
Total	100,40	100,77	100,43	99,61
Elementos traços em ppm				
Cu	3,00	2,50	5,00	200,00
Pb	1,50	30,00	15,00	5,00
Zn	3,00	0,00	0,00	0,00
Co	0,00	15,00	20,00	70,00
Cr	2,50	30,00	50,00	300,00
Ni	3,00	15,00	20,00	70,00
V	30,00	300,00	200,00	700,00
Sc	0,00	10,00	15,00	30,00
Y	25,00	30,00	30,00	30,00
Nb	7,50	15,00	10,00	5,00
Ba	10,00	70,00	100,00	20,00
Sr	17,00	2000,00	700,00	50,00
Zr	25,00	200,00	300,00	150,00
Th	7,50	0,00	0,00	0,00
Rb	5,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Brandalise, (1991)