



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Uso do resíduo da mineralização de esmeraldas da
Província Esmeraldífera de Nova Era em solo
agrícola**

AUTOR: Amando de Pinho Aguiar

ORIENTAÇÃO: Heinrich Adolf Horn

137

**BELO HORIZONTE
10/10/2013**

Amando de Pinho Aguiar

Uso do resíduo da mineralização de esmeraldas da Província Esmeraldífera de Nova Era em solo agrícola

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito para obtenção do título de Mestre em Geologia.
Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn

Belo Horizonte
2013

A282u
2013

Aguiar, Amando de Pinho
Uso do resíduo da mineralização de esmeraldas da Província
Esmeraldífera de Nova Era em solo agrícola [manuscrito]/ Amando de
Pinho Aguiar. – 2013.
83 f.: il. (color).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais,
Instituto de Geociências, 2013.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Orientador: Adolf Heinrich Horn.

Bibliografia: f. 69-79.

Inclui anexos.

1. Resíduos como fertilizantes – Teses. 2. Fertilizantes – Teses. 3.
Insumos agrícolas – Teses. I. Horn, Adolf Heinrich. II. Universidade
Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 631.81



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



Dissertação intitulada ‘Uso do resíduo da mineralização de esmeraldas da Província Esmeraldífera de Nova Era em solo agrícola’, de autoria de Amando de Pinho Aguiar, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores.

Adolf Heinrich Horn – Professor Dr. IGC/UFMG – Orientador

Alexandre Sylvio Vieira da Costa – Professor Dr. UFVJM – Co-orientador

Éder de Souza Martins - Pesquisador Dr. (Embrapa - Cerrado) – Brasília – DF

Tânia Mara Dussin – Professora Dr. (a) – IGC/UFMG

Belo Horizonte - MG, 10 de outubro de 2013

Av. Presidente Antônio Carlos, 6.627, sala 3056 – Belo Horizonte, MG – 31270-901 – Brasil

Tel. – (31) 34095404 – Fax (31) 34095404

À minha família,
Especialmente meus pais Antônio Aguiar ``Im`` e Almeny por incentivarem sempre a
realização dos meus sonhos

AGRADECIMENTOS

Às energias da natureza, força maior existente, mas que não dá para ver, por permitir que todos estes abaixo fizessem parte de minha aventura neste planeta, proporcionando-me coragem nos momentos mais difíceis.

Ao professor orientador Adolf Heinrich Horn, pelos ensinamentos, confiança e amizade construída no período de realização deste projeto de pesquisa.

Ao professor co-orientador Alexandre Sylvio Vieira Costa pelos valiosos ensinamentos, companheirismo e confiança construídos em minha formação profissional (Graduação e Pós-Graduação).

Ao professor co-orientador José Maria Leal, pelas sugestões e acompanhamento das atividades inerentes ao projeto.

À amiga e mestre ao ensinar Professora Dra. Luciana Oliveira, por participar ativamente em momento de muita importância da minha evolução acadêmica. Suas informações tornaram meus sonhos possíveis.

Ao programa de Pós-Graduação em Geologia da UFMG, pelo suporte técnico e científico na execução do projeto de pesquisa.

À Univale, por disponibilizar sua infra-estrutura para desenvolvimento das atividades de campo.

À FAAG – Univale, por apoiar o projeto com insumos, suporte técnico em seu Laboratório de Química-Fertilidade dos solos e casa de vegetação.

À FAPEMIG, pela bolsa de estudos.

À Mineradora Belmont e Garimpo Capoeirana por disponibilizarem amostras de rejeito mineral para realização dos trabalhos de pesquisa.

Ao grande irmão e companheiro André Ricardo, por estar presente e participar ativamente em todas as etapas desta conquista.

À sempre presente Antônelle de Pinho Aguiar, irmã companheira, pelo carinho, confiança e incentivo em todas as etapas de minha vida.

À Alaiz e Lorenzo Antônio, pelo amor, companheirismo e apoio, compreendendo a dimensão desse projeto e entendendo os momentos de ausência.

Aos técnicos de laboratório Terezinha, Mário, Elizane e William, pelas análises executadas e sugestões inferidas ao projeto.

Aos companheiros sempre presentes com informações solicitadas e momentos de descontração no CPMTc - IGC, Wallace Trindade e Elizene Veloso.

A minha família pela compreensão e apoio constante. Aos amigos, colegas e todos que de alguma forma contribuíram para realização deste projeto.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ii
SUMÁRIO.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISATA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Apresentação.....	1
1.1.1. Problemas ambientais ligados à geração e estocagem dos resíduos.....	1
1.1.2. Dependência da importação de insumos agrícolas.....	1
1.1.3. Uma proposta para redução dessa dependência.....	2
1.2. Localização da área de mineração.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Resultados esperados.....	4
1.5. Revisão bibliográfica.....	4
1.5.1. Aspectos legais da mineração.....	4
1.5.2. Resíduo sólido produzido.....	5
1.5.3. Resíduo como fonte de poluição Ambiental.....	7
1.5.4. A técnica da Rochagem.....	7
1.5.5. A importância dos nutrientes minerais para as plantas.....	10
1.5.6. Uso de corretivos e fertilizantes na agricultura.....	18
1.5.7. Contaminação de solos com metais pesados ou elementos potencialmente tóxicos – (EPT).....	18
1.6. Descrição da área.....	21
1.6.1. Mapas usados.....	21
1.6.2. Trabalhos anteriores.....	21
2. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA ESMERALDÍFERA ITABIRA – NOVA ERA – MG.....	23
2.1. Contexto Geotectônico.....	23
2.2. Litoestratigrafia.....	24
2.2.1. Complexo Mantiqueira.....	25
2.2.2. Complexo Guanhões.....	26
2.2.3. Supergrupo Minas.....	28
2.2.4. Rochas Ígneas.....	28
Suíte Borrachudos.....	28
Pegmatitos.....	29
Intrusivas Máficas.....	30
3. PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA PROVÍNCIA E PRODUÇÃO ESTIMADA DO RESÍDUO MINERAL.....	31
3.1. Petrografia.....	31
3.1.1. Gnaisses.....	31
3.1.2. Xistos.....	31
3.1.3. Quartzitos.....	32
3.1.4. Granitóides.....	32

3.1.5. Anfibolitos.....	33
3.2. Quantidade estimada do resíduo mineral.....	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1. Amostragem do resíduo mineral.....	36
4.1.1. Preparação e tratamento da amostra.....	36
4.1.1.1. Caracterização física.....	37
4.1.1.2. Caracterização química.....	38
4.1.1.3. Mineralogia do resíduo.....	39
4.2. Amostragem do solo agrícola.....	39
4.2.1. Preparação e tratamento das amostras.....	40
4.2.1.1. Caracterização física.....	40
4.2.1.2. Caracterização química.....	41
4.3. Incubação do resíduo ao solo.....	42
4.4. Ensaio de lixiviação.....	43
4.5. Experimento em casa de vegetação.....	45
4.5.1. Cultura utilizada.....	45
4.5.2. Condições de cultivo.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1. Característica química do resíduo.....	49
5.2. Composição mineralógica do resíduo.....	50
5.3. Efeito das doses de aplicação nos atributos químicos do solo incubado.....	55
5.3.1. Efeito no pH em água.....	56
5.3.2. Efeito no teor de potássio – (K).....	57
5.3.3. Efeito no teor de cálcio – Ca ²⁺ e magnésio – Mg ²⁺	58
5.3.4. Efeito no grau de saturação por bases – (% V).....	60
5.3.5. Efeito na saturação de alumínio – (m).....	61
5.4. Avaliação da solução lixiviada.....	62
5.5. Efeito das diferentes doses de resíduo mineral nos parâmetros fenológicos.....	63
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
7. TRABALHOS FUTUROS.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Acetil – CoA – Acetil Coenzima A

ATP – Trifosfato de Adenosina

ATPases – Trifosfato de Adenosina (família de enzimas)

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

CPMTC – Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa

CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais

CONAMA 001/1986 – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNA – Ácido desoxirribonucléico

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPT – Elementos Potencialmente Tóxicos

FAD – Flavina Adenina Dinucleotídeo

Gmvs – Grupo metavulcano sedimentar

GTP – Trifosfato de Guanina

ICP-OES - Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometer

MO – Microscópio óptico

MSPA – Matéria Seca da Parte Aérea

MSPE – Matéria Seca peso Espiga

MSPG – Matéria Seca Peso Grãos

MSRA – Matéria Seca Sistema Radicular

NAD – Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo

NBR - 10004 – Normas Brasileiras de Regulamentação

NRM – Normas Reguladoras de Mineração

pH – Potencial de Hidrogênio

RIMA - Relatório de Impacto ambiental

RNA – Ácido Ribonucleico

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

TTG – Tonalito – Trondhjemito – Granodiorito

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

UnB – Universidade de Brasília

Univale – Universidade Vale do Rio Doce

UTP – Uridina Trifosfato

XRF – X - Ray Fluorescence

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização e acesso à área de mineração no Município de Nova Era –MG	3
Figura 2 a, b: Área de disposição do rejeito mineral no garimpo Capoeirana em Nova Era – MG.....	6
Figura 3: Contexto geotectônico da região que gera o resíduo mineral estudado (Almeida 1997, com modificações de Alkmim et al. 1993 e Dardenne & Schobbenhaus 2001).....	23
Figura 4: Geologia simplificada da Província Esmeraldífera entre Itabira - Nova Era, com localização da área que gera o material estudado.....	24
Figura 5: Imagem de uma amostra de rocha do Garimpo Capoeirana - Esmeralda-Mica-Xisto em contato com veio pegmatóide.....	33
Figura 6: Principais Estados produtores de esmeraldas no Brasil.....	34
Figura 7: Pilha de resíduo mineral.....	36
Figura 8 a, b: Moinho de rochas, modelo - MPV – 1.....	37
Figura 9: Amostras do solo.....	40
Figura 10: Ensaio de incubação.....	43
Figura 11 (a, b): a. Aparelho lixiviômetro e b. Amostras da solução lixiviada para análise química.....	44
Figura 12: Plantas de milho Híbrido Duplo BR 206.....	47
Figura 13: Desenvolvimento das plantas de milho Híbrido Duplo BR 206.....	48
Figura 14: Fotomicrografia em Microscopia Ótica, analisada do pó de rocha da biotita e anfíbólio.....	51
Figura 15: Unidade estrutural básica das micas (Silva, 2009).....	52

Figura 16: minerais intemperizados. a. Em camadas b. Em borda, minerais no solo por 12 meses (Microsonda - JEOL-Modelo JXA - 8900RL WD\ED COMBINED MICROANALYZER).....	53
Figura 17 (a, b): Unidade estrutura básica dos Inossilicatos (a - Anfibólios, b - Piroxênios).....	54
Figura 18 (a, b): Localização dos pontos analisados por MSE (números) em a: mica-biotita-flogopita, b: anfibólio da amostra do resíduo (Microsonda - JEOL - Modelo JXA - 8900RL WD\ED COMBINED MICROANALYZER).....	55
Figura 19: Teor de potássio acumulado no solo incubado (60 dias) com diferentes proporções de resíduo mineral.....	57
Figura 20: Teor de magnésio acumulado no solo incubado (60 dias) com diferentes proporções de resíduo mineral.....	59
Figura 21: Teor de cálcio acumulado no solo incubado (60 dias) com diferentes proporções de resíduo mineral.....	60
Figura 22: Saturação por bases (% V).....	61
Figura 23: Níveis da saturação de alumínio (m).....	62
Figura 24: Teor de Mg ⁺² e Ca ⁺² lixiviado.....	63
Figura 25: Produção de materia seca parte aérea (MSPA).....	65
Figura 26: Desenvolvimento milho híbrido duplo BR 206.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos Resíduos.....	5
Tabela 2: Elementos essenciais às plantas superiores, S: símbolo químico; forma disponível para as plantas; PA: Peso Atômico (modificada, Morenco, R. A. et al. 2009).....	10
Tabela 3: Limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores de solo (Brasil, 2006).....	19
Tabela 4: Valores médios de alguns calcários e silicatos.....	20
Tabela 5: Produção estimada das esmeraldas e do resíduo da província até 2030 (Mineradora Belmont, 2010).....	35
Tabela 6: Granulometria e reatividade do resíduo, conforme metodologia adotada pela legislação (Brasil, 2007). Determinação realizada com media de três repetições.....	38
Tabela 7: Percentual das frações granulométricas do solo (Embrapa, 1997). Laboratório FAAG/Univale – 2011.....	41
Tabela 8: Característica química do Solo Agrícola. Laboratório FAAG/Univale – 2012.....	42
Tabela 9: Característica química do resíduo (Acme Analytical Laboratories LTDA (ACME, 2011).....	49
Tabela 10: Característica química do Solo Agrícola incubado por 60 dias com diferentes doses de resíduo mineral.....	56
Tabela 11: Parâmetros fenológicos do milho Híbrido duplo BR 206, avaliados aos 120 dias após o plantio, em função das diferentes doses de resíduo.....	64

RESUMO

O objetivo principal dessa dissertação foi avaliar o uso do resíduo de mineração como insumo alternativo para solo agrícola. O material é gerado pela mineração de gemas da Província Esmeraldífera, localizada nos municípios de Itabira e Nova Era, em Minas Gerais. Sua geologia é representada pelo Complexo Guanhães e Mantiqueira, além da Suíte Borrachudo. Os xistos, principais portadores dos cristais de esmeraldas, objeto deste trabalho são os constituintes dominantes do resíduo. Os experimentos foram conduzidos em laboratório e casa de vegetação. A caracterização química do resíduo foi determinada por X – Ray Fluorecence – Whole Rock & Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry - ICP-MS and Trace Elements. A granulometria do resíduo foi padronizada de acordo com as peneiras ABNT 10, 20, 50 e fundo, para uma melhor reatividade. A caracterização físico-química do solo seguiu método descrito pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Na caracterização química do solo, após o ensaio de incubação, avaliou-se os teores disponibilizados de Mg^{+2} , Ca^{+2} e K^+ trocável, pH em água, os níveis de saturação de alumínio e por bases. Complementarmente, foram avaliados os parâmetros fenológicos do milho. O resíduo liberou Mg^{+2} e K^+ para o solo, com valores máximos próximo a 20 ton. ha^{-1} . Os níveis para o Mg^{+2} variaram de $0,30 \text{ cmol. dm}^{-3}$ no solo testemunho, até valores acima de $1,5 \text{ cmol. dm}^{-3}$ na dose próximo a 20 ton. ha^{-1} . O potássio atingiu teores de 250 mg.dm^{-3} para a dose próximo a 20 ton. ha^{-1} . No solo incubado em laboratório com rocha moída, foi analisado também o produto de sua lixiviação por Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry - ICP-OES. O Ca^{2+} , no ensaio de incubação não foi promissor, situação contrária observada no produto do ensaio de lixiviação, que apresentou acréscimo de 24% na dose de 40 ton. ha^{-1} . O resíduo proporcionou diminuição no pH do solo. Em relação à saturação de alumínio, a redução foi significativa, com redução do percentual da ordem de 60%, para a maior dose. Os parâmetros fenológicos apresentaram acréscimos para as doses de 5 e 10 ton. ha^{-1} , com percentuais variando de 18 a 42 % na produção de matéria seca da parte aérea e 41 e 68 % para a matéria seca da produção de espiga e matéria seca da produção de grãos, respectivamente, comparados ao testemunho. O resíduo mineral estudado, por apresentar baixa concentração de elementos potencialmente tóxicos, suprir os solos com Mg^{2+} e K^{2+} e proporcionar uma redução do Al^{3+} trocável, motivam estudos de ordem econômica para sua comercialização. A sua utilização como insumo agrícola alternativo fornece minerais de baixo custo para os agricultores, proporcionando a redução do custo de manutenção desse passivo ambiental pelas mineradoras e a diminuição da importação de fertilizantes agrícolas no Brasil. **Palavras chave:** resíduo mineral, nutrientes, fertilizante.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation was to evaluate the use of mining waste as a feedstock for alternative agricultural soil. The material is generated by mining gems Esmeraldífera Province, located in the districts of Itabira and Nova Era in Minas Gerais. Its geology is represented by Guanhões and Mantiqueira Complex, besides the suite Borrachudo. The Schist, main carriers of emerald crystals, the object of this work are the dominant constituents of the residue. The experiments were conducted in laboratory and greenhouse. The chemical characterization of the residue was determined by X – Ray Fluorecence – Whole Rock & Inductively Coupled Plasma – Mass Espectrometry - ICP-MS and Trace Elements. The residue was standardized grading according to ABNT sieves 10, 20, 50, and bottom, for a better reactivity. The physic-chemical characterization of the soil followed the method described by the Brazilian Agricultural Research. The chemical characterization of the soil after the incubation soil, we evaluated the levels of available Mg^{+2} , Ca^{+2} e K^{+} changed, pH in water, saturation levels of aluminum and bases. In addition, phonological parameters were evaluated of maize. The residue released Mg^{+2} e K^{+} to the soil, with a peak near 20 ton. ha^{-1} , Potassium levels reached 250 mg. dm^{-3} for the next dose 20 ton. ha^{-1} . In soil incubated in the laboratory with crushed rock, was analyzed also the product of a leaching by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry - ICP-OES. The Ca^{2+} , incubating the test was not promising, the opposite situation observed in the product of leaching test, which grew by 24% at the dose of 40 tons. ha^{-1} , The residue afforded decreased the soil pH. Regarding the aluminum saturation, the reduction was significant, with the percentage reduction of the order of 60%, at the highest dose. The phonological parameters, showed increases in the doses of 5 and 10 ton. ha^{-1} , with percentages ranging from 18 to 42% in dry matter production of shoots and 41 and 68% for dry matter production spike and dry matter of grain, respectively, compared to the testimony. The mineral residue studied, showed low concentrations of potentially toxic elements Mg^{+2} e K^{+} , supply the soil with and providing a reduction of exchangeable Al^{3+} , motivate studies economic order for your marketing. Its use as an input agricultural mineral provides alternative low cost to farmers, providing reducing the maintenance cost of this environmental liability by mining and decrease in imports of agricultural fertilizers in Brazil.

Keywords: Mineral residue, nutrients, fertilizer.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

O crescimento da população mundial tem impulsionado um aumento significativo nas atividades industriais e de mineração a fim de suprir as necessidades de matéria prima.

Uma consequência dessa intensificação e do uso dos recursos naturais é um crescimento da geração dos resíduos, na forma de materiais de mineralização pobre, que causam cada vez mais problemas ambientais e criam efeitos negativos a sobrevivência da humanidade.

O desconhecimento de um tratamento adequado desses resíduos, junto a um não cumprimento da legislação em vigor, pode acarretar sérios prejuízos de ordem ambiental e econômicos para a sociedade.

Essa problemática necessita de várias técnicas:

- Supervisão da disposição e monitoramento dos resíduos minerais, previsto em plano de lavra, por meio das Normas Reguladoras de Mineração – NRM, junto ao Departamento Nacional de Prospecção Mineral - DNPM;
- Avaliação dos diversos graus de impacto pelos órgãos responsáveis, por um longo período de tempo;
- Presença de recursos econômicos públicos e privados.

1.1.1. Problemas ambientais ligados à geração e estocagem dos resíduos

Um dos problemas ambientais inerentes à mineração é a falta de execução criteriosa de plano de lavra, principalmente, no item referente à disposição dos resíduos minerais. Esse é um passivo ambiental que, quando lançado diretamente em sistemas naturais sem a observação de critérios definidos, pode apresentar um grande potencial de poluição do solo, águas subterrâneas e superficiais, podendo causar impactos negativos para os ecossistemas.

1.1.2. Dependência da importação de insumos agrícolas

Para acompanhar o aumento da produção agrícola, em um mundo globalizado, o Brasil apresenta uma grande dependência de insumos minerais para a produção de fertilizantes. Segundo o CETEM (2009), para os adubos formulados (N – P – K) a importação é da ordem de 74%, com ênfase para o Nitrogênio de 75%, o Fósforo com 51% e 90 % para o Potássio.

Esses percentuais elevados configuram-se pelo baixo número de jazidas com fontes de elementos químicos, matéria prima para a indústria de fertilizantes.

A intensificação dessa dependência ocorre devido à baixa eficiência tecnológica necessária para o beneficiamento de minerais com elementos primários, fósforo e potássio, que são utilizados na produção de fertilizantes formulados.

1.1.3. Uma proposta para redução dessa dependência

Uma prática antiga de correção química dos solos, a rochagem, sobretudo na forma de calagem e fosfatagem, está sendo tratada cada vez com mais interesse, nos últimos anos.

A valorização recente da utilização de rochas nos solos está ligada à busca de alternativas às fontes de nutrientes importados pelo Brasil, visto que o país tornou-se o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo.

O estudo da viabilidade de uso da grande quantidade de resíduos provenientes da mineração e garimpo de esmeraldas pode, conforme a sua composição mineralógica, química, estruturação e produção localizada, servir para a redução dessa dependência de materiais para produção de fertilizantes no território nacional.

A disponibilização desses materiais poderá suprir de forma barata e eficaz as necessidades nutricionais dos solos, na produção agrícola, além de mitigar a problemática ambiental e econômica da sua disposição, configurando-os como ativo ambiental.

Para serem utilizados, os resíduos de mineração devem apresentar propriedades específicas e pré-definidas. As caracterizações física, química e mineralógica dos resíduos são essenciais para gestão desses no sistema solo-planta e das possíveis intervenções negativas causadas, após sua disposição final.

1.2. Localização da área de mineração

A Mineradora Belmont e o Garimpo Capoeirana, locais que geram o resíduo mineral estudado em Minas Gerais, estão encaixados na porção centro-sudeste do Estado. Ao partir de Belo Horizonte usa-se a Rodovia BR – 381 em direção Governador Valadares, até o trevo com a MGC – 129 (+/- 65 km) entrando à esquerda, no sentido da cidade de Itabira.

A partir de Itabira o acesso ocorre pela MG – 120, percorrendo 20 km sentido sudeste, até as proximidades do Córrego Ribeirão do Peixe. A área encontra-se entre os paralelos 19° 40' e 19° 43' sul e meridianos 43° 04' e 43° 08' Oeste, ilustrados na figura 1.

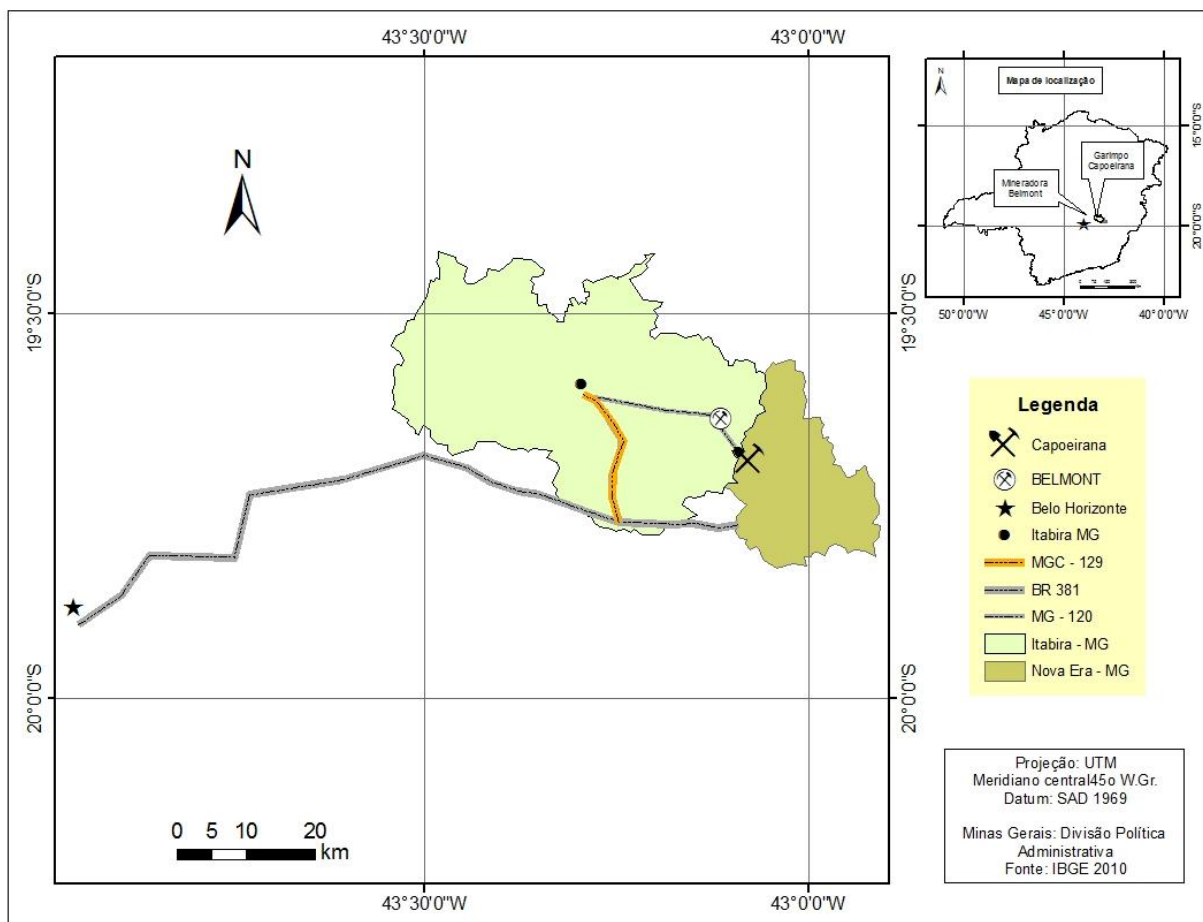


Figura 1: Mapa de localização e acesso à área de mineração no Município de Nova Era-MG.

1.3. Objetivos

Esse trabalho propôs avaliar a viabilidade de uso do resíduo da mineração de esmeraldas como insumo mineral alternativo (condicionador ou fertilizante de solo) para fins agrícolas.

Assim, por meio da avaliação de fatores mineralógicos, físico, químicos e parâmetros fenológicos das plantas de milho, se propôs fornecer um produto de baixo custo para os agricultores, com a redução dos passivos ambientais existentes em pilhas de resíduos das mineradoras e garimpos de esmeraldas.

1.4. Resultados esperados

Como os solos agrícolas das regiões tropicais, devido a sua formação, demandam de intensa reposição de insumos para a manutenção da produção vegetal, a utilização de novas rotas alternativas de minerais permitirá uma contribuição significativa, na redução da importação de fertilizantes pelo Brasil.

A identificação das fontes minerais, localização e caracterização do potencial de fornecimento dos nutrientes (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} e Zn) contidos no resíduo da mineração de Nova Era, para o sistema solo-planta, na porção centro oeste da Bacia do Rio Doce em Minas Gerais, contribuirá, no desenvolvimento agrícola dessa região, possibilitando o fornecimento de insumos a baixo custo aos produtores das proximidades dessa atividade de mineração.

1.5. Revisão bibliográfica

1.5.1. Aspectos legais da mineração

A política nacional de meio ambiente consagra, dentre outros princípios, a racionalização do uso do solo, subsolo, água e ar, do planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais, e do controle e zoneamento das atividades potenciais ou efetivamente poluidoras.

Para assegurar a sua aplicação, estabeleceu-se como um de seus principais instrumentos o licenciamento ambiental. Em 1981, a Lei Federal 6938 determinou, em seu artigo 10º, que a construção, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades que se utilizam de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como capazes de causarem degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento por órgão estadual competente, integrante do SISNAMA.

Desta forma os empreendimentos de mineração estão submetidos não apenas a concessão federal referente à exploração da lavra, mas também ao licenciamento ambiental estadual, no que diz respeito ao controle e proteção do meio ambiente.

O licenciamento das atividades industriais deve ser fundamentado em estudos que avaliem o impacto do empreendimento no meio ambiente, visando sua definição com segurança técnica, assegurando o suprimento de água, os locais para disposição final dos resíduos sólidos, a forma de lançamento dos efluentes gasosos na atmosfera e o destino final dos efluentes líquidos gerados pela unidade de processamento. Portanto, torna-se necessário que sejam conhecidas as alterações ambientais ocasionadas pela instalação da unidade de

processamento. Essas alterações, antes que sejam investidas grandes quantias de recursos financeiros, devem ser previstas e aprovadas.

As exigências e recomendações da resolução do CONAMA 001/1986, precisam ser atendidas conforme as características do empreendimento. O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) são diferentes ferramentas, de acordo com o processo industrial.

1.5.2. Resíduo sólido produzido

Segundo Acre (2004), resíduo sólido é qualquer material, substância ou objeto descartado resultante de atividades humanas e animais ou decorrentes de fenômenos naturais, que se encontram no estado sólido e semi-sólido, incluindo os particulados.

Para Naumoff & Peres (2000) os resíduos sólidos são originários das atividades dos diversos ramos industriais, tais como a metalurgia, a química, a petroquímica, a mineração, a papelaria, a alimentícia, sendo bastante variado, podendo ser representados por cinzas, lodos, óleo, resíduos de plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros, dentre outros.

A classificação de resíduos conforme sua periculosidade e solubilidade e de acordo com a Norma Brasileira de Regulamentação (NBR 10.004) encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação dos resíduos

Resíduos	
Classe I	Perigosos mostrando possibilidade periculosidade por inflamabilidade, reatividade, corrosividade ou patogenicidade
Classe II	Não inertes podendo ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Classe III	Inertes não representando grandes problemas para o meio ambiente ou a saúde pública

A disposição dos resíduos em aterros é muito utilizada, caracterizando-se por escavações em terrenos onde são depositados grandes volumes do material estéril e dos resíduos não minérios. Contudo, os aterros precisam ser construídos e operados com grande segurança para que não ocorra contato direto com o solo, com conseqüente percolação, ou ainda que haja o escape de fluidos lixiviados para os aquíferos. A figura 2 (a, b) mostra a forma como as pilhas de resíduo estão depositadas nas proximidades dos garimpos da Província Esmeraldífera de Nova Era, em Minas Gerais.



Figura 2 (a, b): Área de disposição do resíduo mineral, no garimpo Capoeirana em Nova Era – MG.



Figura 2 (a, b): Área de disposição do resíduo mineral, no garimpo Capoeirana em Nova Era – MG.

- a. Visão da erosão causado por chuva, formando canaletas de escoamento.
- b. Imagem mostrando a variação de granulometria entre pó e blocos.

1.5.3. Resíduo como fonte de poluição ambiental

A destinação final incorreta dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos de diferentes fontes produtoras causa modificações nas características do solo, do sedimento, da água e do ar, contaminando, assim, o meio. A poluição pode ocorrer por várias formas, principalmente, quando os materiais alteram o aspecto estético, a composição e o meio físico. A existência da contaminação, por menor que seja, torna-se uma ameaça à saúde dos homens, plantas e animais.

A grande diversidade das atividades industriais e de mineração gera resíduos de diversos estados físicos (sólidos, líquidos, gasosos) e químicos, podendo poluir o solo, a água e o ar. Apesar dessa preocupação, nem todas as indústrias ou mineradoras geram resíduos com poder impactante nesses três ambientes.

Os resíduos de mineração mostram diferenças de comportamento físico e químico em relação ao tempo de exploração, ao teor do bem/estéril, ao volume produzido e ao potencial de toxicidade, sendo necessária a criação de procedimentos exclusivos para cada tipo de material produzido.

Segundo Figueiredo *et al.* (2000), entende-se como prevenção da poluição qualquer prática que vise a redução ou a eliminação, seja em volume, concentração e toxicidade das cargas poluentes na própria fonte geradora. Ela pode ser realizada incluindo modificações nos equipamentos, processos e procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos com substituição de matérias primas e substâncias tóxicas que resultem na melhoria da qualidade ambiental.

1.5.4. A técnica da Rochagem

Segundo Leonardos *et al.* (1976) a rochagem é definida como uma prática agrícola de incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, sendo a calagem e a fosfatagem os casos mais utilizados nesse procedimento. O conhecimento da técnica que adiciona diferentes tipos de rochas aos solos pobres buscando introduzir suplemento nutricional para plantas remonta da antiguidade (Theodoro *et al.*, 2002).

Caracteriza-se como uma técnica de fornecimento de nutrientes ao perfil fértil dos solos pobres, muitas vezes em pequenas proporções, com aumento significativo de fornecimento em macro e micro elementos para o cultivo agro-silvicultural.

Sugerida, no Brasil, na década de 1950, por Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko (em Minas Gerais) e evoluído por pesquisas (Leonardos, 1976) a técnica da rochagem não é somente uma alternativa ao uso de fertilizantes químicos mais solúveis para aumentar a fertilidade do solo, mas também é uma proposta auto-sustentável que pode beneficiar o setor agrícola em varias escalas de produção e também as mineradoras, na solução da disposição de seus resíduos de mineração, um passivo ambiental.

Encontra-se em atividade, nas universidades brasileiras e no exterior, em órgãos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, estudos sobre o conhecimento da dinâmica de rochas nos sistemas solo-planta.

Várias pesquisas desenvolvidas por essas instituições mostram que a remineralização dos solos, por meio da adição de macro e micronutrientes (agrominerais), derivados de rochas moídas, resulta em produções compatíveis e equiparáveis àquelas obtidas com o uso dos fertilizantes mais solúveis. Porém, há o impedimento para o amplo uso dos pós de rocha, já que não existe uma normatização para o seu uso. Há um grupo de pesquisadores da Embrapa, CETEM, PETROBRAS, CPRM e DNPM discutindo a ausência da normatização e apontando as perspectivas, por meio de comprovações científicas, para a efetivação de um arcabouço legal para o setor, já que sem regulamentação, o uso e a comercialização de tais materiais ficam restritos e sujeitos a riscos devido à inobservância de garantias mínimas.

A regulamentação do setor de fertilizantes está amparada por três instrumentos legais:

- (i) A Lei dos fertilizantes (Lei nº 6.894/1980);
- (ii) O Decreto nº 4.954/2004, que regulamenta essa Lei;
- (iii) Instruções normativas, especialmente a IN 35/06, instituída pelo MAPA.

No entanto, em nenhum desses instrumentos legais está previsto uma categoria que possibilite o uso, a comercialização ou a fiscalização de pós de rochas, pois devido as suas características diversificadas torna-se impossível fazer o seu enquadramento dentro das categorias já existentes de insumos (condicionadores, fertilizantes e corretivos).

Contudo, foi elaborada uma proposta de critérios para normatização de rochas silicáticas como fonte de nutrientes e condicionadores de solo, idealizada pelo pesquisador Éder de Souza Martins – Embrapa cerrados e publicada no II Congresso Brasileiro de

Rochagem. Nela são sugeridas alterações no tamanho das partículas (moagem) dos aluminossilicatos, possibilitando uma hidrólise mais efetiva, com disponibilização dos elementos de interesse agrônômico para a solução do solo. Essa interferência física, altera o processo natural de intemperismo desses minerais, possibilitando uma variação da velocidade na escala de tempo natural da ordem de 10^3 a 10^6 anos para aproximados 10^0 e 10^1 anos. Aliado a redução granulométrica das partículas, cita-se também a composição química e mineralógica; as condições edafoclimáticas e a atividade biológica. Considerando a composição química e mineralógica, deverão ser analisados quanto à composição relativa à soma total das bases, na forma de óxidos: $MgO + CaO + K_2O + Na_2O$, que para as rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, com reconhecido efeito agrônômico, deverão ser no mínimo de 10%. Nesse caso, o teor de Na_2O deve ser igual ou inferior ao de K_2O para manter um equilíbrio entre esses elementos alcalinos e não haver excesso de sódio. Outro critério composicional é em relação ao teor de metais pesados e deve-se seguir a Instrução Normativa 27/2006 do MAPA, anexo V, mais restritivo, uma vez que as quantidades de rochas moídas aplicadas ao solo podem ser elevadas. Considera-se que ainda falta normatização para outros elementos traços potencialmente tóxicos, como U, Th, Bi, Sb e Tl, entre outros, e que deverá ser desenvolvido pelo MAPA. Outro critério físico-químico proposto é o pH de abrasão da rocha moída, que deve ser superior a 7. Em relação à composição mineralógica propõe-se que a proporção entre o SiO_2 combinado nos silicatos e o SiO_2 livre, calculada na forma de quartzo, seja superior a 1 e que o teor total de SiO_2 livre seja inferior a 33% do total da rocha. Com relação às classes granulométricas sugere-se: filler; pó, farelado e farelado fino.

1.5.5. A importância dos nutrientes minerais para as plantas

Os benefícios da aplicação de elementos minerais no solo para melhorar a produtividade das culturas são conhecidos há muito tempo. O estudo da nutrição mineral de plantas como um novo campo da ciência foi atribuído ao Francês Jean Baptiste Boussingault (1802-1887) e a Justus Von Liebig (1803-1873) que desenvolveram a “teoria dos fertilizantes minerais”.

As plantas são formadas por elementos químicos que são também obtidos da solução do solo por meio das raízes. Esses nutrientes minerais são utilizados no seu metabolismo, proporcionando o crescimento e conseqüente aumento da produção de matéria orgânica. O suprimento e a absorção de elementos químicos requeridos para o crescimento e o metabolismo podem ser definidos como nutrição. A absorção dos nutrientes da solução do

solo depende das características químicas e físicas existentes, influenciando na disponibilidade dos compostos. O mais importante é o pH, principalmente, na faixa de 5,5 a 6,5.

Segundo Epstein, (1972) os elementos essenciais às plantas superiores são 17, dos quais carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H) representam normalmente mais de 90% da matéria seca. Dentre os elementos benéficos para o desenvolvimento de espécies vegetais estão o Silício (Si), o Sódio (Na) e o Selênio (Se) e outros 14 elementos relacionados na Tabela 2.

Tabela 2: Elementos essenciais às plantas superiores, S: símbolo químico; forma disponível para as plantas; PA: Peso Atômico (modificada, Morenco, R. A. et al. 2009)

Elemento	Símbolo	Forma disponível	PA
Não-minerais:			
Carbono	C	CO₂	12,01
Oxigênio	O	O₂, H₂O	16,00
Hidrogênio	H	H₂O	1,01
Minerais:			
Macro nutrientes:			
Nitrogênio	N	NO₃⁻, NH₄⁺	14,01
Fósforo	P	H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻	30,09
Potássio	K	K⁺	39,10
Cálcio	Ca	Ca²⁺	40,08
Magnésio	Mg	Mg²⁺	24,32
Enxofre	S	SO₄²⁻	32,07
Micronutrientes:			
Ferro	Fe	Fe²⁺, Fe³⁺	55,85
Zinco	Zn	Zn²⁺	65,38
Cobre	Cu	Cu⁺, Cu²⁺	63,54
Manganês	Mn	Mn²⁺	54,94
Boro	B	H₃BO₃	10,82
Cloro	Cl	Cl⁻	35,46
Molibdênio	Mo	MoO₄²⁻	95,95
Níquel	Ni	Ni²⁺	58,71

A essencialidade dos nutrientes está ligada as necessidades básicas do funcionamento da planta (divisão celular, fotossíntese e respiração).

Nitrogênio (N)

O nitrogênio é constituinte dos aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e nucleotídeos dos vegetais. Apresenta-se como elemento mineral mais abundante nas plantas; as proteínas contêm em torno de 16% de N, e é absorvido e metabolizado pelas raízes, podendo ser transportado para a parte aérea através do xilema. A forma como o N é transportado depende da maneira como é absorvido (NO_3^- ou NH_4^+) e do metabolismo das raízes (Morenco et al., 2009). Grande parte do NH_4^+ absorvido é, geralmente, assimilado nas raízes, enquanto o NO_3^- é metabolizado nas raízes ou transportado para a parte aérea como tal (Mengel & Kirkby, 1987). Sua absorção ocorre, principalmente, como nitrato ou amônio, podendo ser absorvido em regiões frias, na forma orgânica (Morenco et al., 2009). A atmosfera contém 78% (v/v) de N_2 não aproveitável para as plantas.

Normalmente, o NO_3^- é a fonte preferencial, mas a dependência da espécie da planta e alguns fatores ambientais devem ser considerados. Dentre estes fatores destacam-se o pH, a temperatura e o teor de carboidratos nas raízes (Morenco, et al., 2009). Com o pH próximo a neutro, o NH_4^+ é o mais absorvido e cai à medida que o pH diminui (Morenco, et al., 2009). Em temperaturas baixas o NH_4^+ é absorvido mais rapidamente (Morenco et al., 2009). Na presença de maior teor de carboidratos sua absorção é favorecida, talvez pelo maior suprimento de carbono e energia para assimilação do NH_3 (Morenco et al., 2009). A uréia pode ser absorvida diretamente pelas raízes e folhas das plantas, mas, geralmente, sua absorção é menor que a do NO_3^- (Marschner, 1985; Mengel & Kirkby, 1987).

A forma como o N é transportado depende da forma absorvida (NO_3^- ou NH_4^+) e do metabolismo das raízes. Boa parte do NH_4^+ absorvido é, preferencialmente, assimilado nas raízes, enquanto o NO_3^- é metabolizado nas raízes ou transportado para a parte aérea como tal (Mengel & Kirkby, 1987).

A redistribuição do nitrogênio nas plantas via floema, dá-se especialmente na forma de aminoácidos (Morenco, et al., 2009). Após a proteólise, os aminoácidos são movimentados das folhas velhas para as novas. O nitrato é praticamente ausente no floema (Mengel & Kirkby, 1987).

Fósforo (P)

O fósforo é o segundo elemento que mais limita o crescimento dos vegetais por estar em baixas concentrações, na maioria dos solos. O (P) constitui entre 0,2 a 0,3 % da biomassa vegetal (Raghothama, 1999; Schachtman et al., 1998). Esse elemento desempenha papel-chave no metabolismo celular e é absorvido e utilizado na forma oxidada, não sendo reduzido na planta, como ocorre com o nitrato ou sulfato. Na célula, o (P) permanece como fosfato inorgânico (P_i) ou é esterificado em compostos carbonados (açúcar fosfato) ou em outros fosfatos importantes no metabolismo energético da célula (ATP, GTP). Quando esterificado no ATP, o (P) atua como a forma universal de troca de energia de todos os organismos vivos, formando parte dos fosfolipídios (constituente essencial das membranas celulares) açúcares fosfatados, nucleotídeos (NAD, ATP, UTP, GTP) coenzimas (CoA, FAD) e ácidos nucleicos (DNA, RNA).

No solo, o fósforo encontra-se nas formas orgânica e inorgânica; na forma orgânica, somente pode ser absorvido pelas plantas, após sua mineralização (Morenco et al., 2009). Na forma inorgânica, encontra-se nas apatitas e nos fosfatos de ferro e de alumínio, sendo todas estas formas insolúveis. As formas solúveis do (P) inorgânico, no solo, são fosfatos de cálcio, potássio e magnésio (Morenco et al., 2009).

Potássio (K)

A maior parte do potássio do solo está retido em minerais primários (feldspatos alcalinos, biotita e muscovita) ou associado aos minerais argilosos secundários, ilitas, vermiculitas, cloritas, (Morenco et al., 2009). A disponibilização de K, no solo, depende da intemperização dos minerais, sendo a taxa de liberação de íons K^+ uma função da estabilidade e composição química do material de origem (Mengel & Kirkby, 1987). O K ocorre em numerosas enzimas do metabolismo vegetal, participando de reações da fotossíntese, respiração, síntese de amidos, proteínas e lignina, como a piruvato cinase, amido sintetase, desidrogenase e aldolases (Suelter, 1970). As ATPases são ativadas pelo Mg^{2+} , e sua atividade é favorecida pelo K^+ , explicando a sua importância para o metabolismo energético das plantas (Morenco et al., 2009).

Cálcio (Ca)

O cálcio é derivado de minerais carbonatados (calcita, dolomita) e seu teor varia principalmente em função do grau de intemperização (Moreno et al., 2009). Os solos ácidos requerem maior aplicação de calcários (CaCO_3) para elevar o seu pH e aumentar a disponibilidade do Ca^{2+} . Parte considerável do cálcio trocável está adsorvida na superfície das micelas das argilas. O cálcio é absorvido como cátion divalente (Ca^{2+}) necessário para a formação da parede celular e a estabilização do plasmalema, que desempenha também um papel de mensageiro secundário na célula vegetal (Moreno et al., 2009). Os solos muito deficientes em Ca comumente apresentam baixo pH e elevada disponibilidade de alguns elementos indesejáveis, como Al e Mn (Moreno et al., 2009). Ao contrário, alta concentração de Ca^{2+} no solo eleva o pH ($\text{pH} \geq 7,5$) podendo induzir a deficiência de Mn, Fe, Zn e Cu, menos disponíveis em pH alcalino (Moreno et al., 2009).

Magnésio (Mg)

O teor de magnésio no solo varia em função do material de origem, tipo de argila e textura do solo e de como ocorre o intemperismo. As rochas basálticas, peridotitas e dolomitas, e as argilas clorita, vermiculita e ilita são ricas em Mg. Em geral, o Mg é absorvido em quantidade menor do que Ca ou K (Moreno et al., 2009).

Aduações intensas de Ca e K podem induzir a deficiência de Mg ou influenciar a competição com outros elementos, como o Mn (Moreno et al., 2009). Numerosas enzimas (fosfatases, ATPases, carboxilases, cinases, enolase e polimerases) requerem ou são estimuladas pela presença de Mg^{2+} (Moreno et al., 2009). A importância do Mg é principalmente definida por seu papel na estrutura da clorofila, como também na ativação da Rubisco e no seu papel tapão (Moreno et al., 2009). O Mg também é necessário nos ribossomos, para a síntese de proteínas, e nos núcleos das células para a síntese de RNA pela RNA polimerase (Moreno et al., 2009). O Mg possui ação relevante na fotossíntese, não apenas pelo desempenho na síntese da clorofila, bem como pelo fato de proporcionar a manutenção do pH ótimo para a enzima (Moreno et al., 2009). Vários processos (síntese de proteínas, ATP) são afetados por deficiência de Mg.

Enxofre (S)

No solo, o enxofre é encontrado na forma de compostos orgânicos e inorgânicos. A principal reserva de S do solo está associada à matéria orgânica (MO) em que se encontra S orgânico (S_{org}) (Moreno et al., 2009). O SO_4^{2-} é normalmente muito solúvel, assim, pode ser lixiviado com facilidade, levando à deficiência de S em solos de regiões úmidas dos trópicos, especialmente, em solos arenosos (Moreno et al., 2009). O S é absorvido pelas raízes na forma oxidada (SO_4^{2-}), mas é utilizado na forma reduzida (SH^- ou S^{2-}) e metabolizado na raiz, podendo também ser absorvido pelas folhas na forma de dióxido de enxofre - SO_2 (Moreno et al., 2009).

Os níveis de dióxido de enxofre na atmosfera aumentam, graças às emissões vulcânicas e à queima de madeira e de combustíveis fósseis. A maior parte do S da planta está nas proteínas, formando parte dos aminoácidos cisteína e metionina (Droux, 2004). As plantas superiores têm um papel essencial na transformação do enxofre inorgânico em orgânico, tornando-o utilizável pelos organismos vivos via cadeia alimentar.

Ferro (Fe)

Os minerais mais importantes para o solo que contêm ferro são a olivina, os piroxênios e a biotita; e os principais óxidos estáveis são a hematita (Fe_2O_3) a ilmenita ($FeTiO_3$) e a magnetita (Fe_3O_4). A utilização do Fe^{3+} para as plantas é mínima pela sua baixa disponibilidade no pH, da maioria dos solos (Moreno et al., 2009). A disponibilidade de Fe inorgânico (Fe_{inorg}) para as raízes dos vegetais está associada à capacidade de as raízes baixarem o pH e reduzirem o Fe^{3+} para Fe^{2+} na rizosfera (Moreno et al., 2009). Nas folhas, cerca de 80% do ferro está nos cloroplastos e plastídios, sendo uma boa parte do Fe foliar armazenado na fitoferrina, uma proteína de reserva, localizada principalmente nos cloroplastos (Marschner, 1995). Uma fração menor do Fe está vinculada às atividades metabólicas (Moreno et al., 2009). Esse elemento é essencial porque forma parte de certas enzimas, como catalase, peroxidase, citocromo oxidase e xantina oxidase (Moreno et al., 2009).

A síntese de cloroplasto, nas células vegetais, é reduzida drasticamente com a deficiência de Fe (Moreno et al., 2009). Esse é parte da leg-hemoglobina, proteína que regula a entrada de O_2 para os bacteróides fixadores de N_2 , e é também necessário à numerosas proteínas que transferem elétrons, como os citocromos e a ferredoxina (F_d) uma proteína Fe-S (Moreno et al., 2009). A F_d , como um complexo redox, é importante em vários processos

essenciais (fotossíntese, redução de nitrito e sulfato, e fixação de N₂) (Morenco et al., 2009). Já os citocromos são fundamentais no transporte de elétrons, tanto na fotossíntese, quanto na respiração (Morenco et al., 2009).

Cloro (Cl)

O cloro no solo deriva principalmente da chuva, de aplicações de fertilizantes, irrigações, ventos marinhos, poeira e poluição do ar, o que torna sua deficiência muito rara. É encontrado na solução do solo como íon Cl⁻, sendo seu movimento determinado pelo fluxo de água (Morenco et al., 2009). O Cl é absorvido pelas plantas como íon cloreto - Cl⁻, forma em que geralmente permanece dentro dela (Morenco et al., 2009).

O cloro juntamente com o potássio tem uma função importante na osmorregulação e na manutenção da pressão de turgor, pois atua como contra-anion do potássio (Mengel; Kirkby, 1987; Marschner, 1995). Ele participa de diversos processos da planta, como extensão celular, pressão radicular e o movimento dos estômatos (White; Broadley, 2001). No citoplasma, o cloro aumenta a atividade de varias enzimas, como ATPases, pirofosfatases e asparagina sintetase, que atua no metabolismo de nitrogênio (Marschner, 1995). O cloro participa na oxidação da molécula de água, no fotossistema II, durante a fotossíntese. Na planta, o cloro está ligado covalentemente a 130 compostos orgânicos, como ácido cloroindol acético (Engvild, 1986). As concentrações consideradas adequadas para o ótimo crescimento da planta podem ser fornecidas pela água da chuva. Algumas espécies de plantas apresentam consumo de luxo para o cloro, com absorção de dez a cem vezes do seu requerimento.

Manganês (Mn)

No solo, o manganês ocorre em várias rochas primárias, principalmente, nas ferromagnesianas, podendo ser liberado como pirolusita (MnO₂) e manganita (MnO(OH)). Em sistemas biológicos, o Mn pode estar em três estados de oxidação (Mn²⁺, Mn³⁺, Mn⁴⁺). No solo, o Mn encontra-se como Mn²⁺ ou na forma de óxidos (MnO₂.nH₂O, Mn₂O₃.NH₂O); também pode ser apresentado na forma quelatada (Mengel & Kirkby, 1987). O Mn participa da fotossíntese (reação de Hill) e da ativação de diferentes sistemas enzimáticos. Poucas enzimas contêm Mn em sua estrutura, mas é cofator de 35 enzimas. Em plantas que fixam N₂ simbioticamente, o excesso de Mn reduz a nodulação e fixação de N₂. Ele interfere na

absorção, no transporte e no uso de vários elementos essenciais, como Ca, Mg, K, P e N (Mukhopadhyay & Sharma, 1991).

Boro (B)

O boro está presente em vários minerais do solo, dos quais o Borax e a turmalina são os mais importantes (Morenco et al., 2009). Segundo Mengel & Kirkby (1987) o boro solúvel consiste de ácido bórico (H_3BO_3) e, diferentemente dos outros elementos, que são absorvidos na forma iônica, é absorvido principalmente na forma molecular, como ácido bórico indissociado (H_3BO_3). Os solos arenosos podem apresentar uma maior deficiência de Boro.

O boro desempenha papel importante no alongamento do tubo polínico (Morenco et al., 2009). Participa da síntese de ácidos nucléicos essenciais na divisão celular, do funcionamento da membrana e em respostas hormonais (Cheng & Rerkasem, 1993; Blevins & Lukaszewski, 1998). A maior parte do boro encontra-se na parede celular, na forma de ésteres, com grupos hidroxilas de carboidratos (ribose, apiose, fucose) e glicoproteínas, interligando os polímeros da parede celular (Morenco et al., 2009).

A deficiência de boro reduz a absorção de K e P, e diminui a atividade da NADH oxidase; reduz o teor de fosfolipídios e galactolipídios, mas aumenta a lixiviação de K, sacarose, aminoácidos e compostos fenólicos; e torna rígida a membrana celular (Morenco et al., 2009). Sua deficiência pode ainda estimular a produção de compostos fenólicos, o que pode prejudicar o funcionamento da membrana (Morenco et al., 2009). O boro está associado à germinação das sementes e crescimento do tubo polínico e, conseqüentemente, da produtividade de grãos (Morenco et al., 2009).

Zinco (Zn)

O teor de zinco varia com o tipo de solo, tendo os derivados de rochas ígneas altos teores desse elemento (Morenco et al., 2009). Ocorre, inicialmente, no solo em minerais ferromagnesianos (augita, hornblenda, biotita) e outros como esfalerita ($ZnFe$) e a zincita (ZnO); interage com a matéria orgânica do solo, formando compostos solúveis e insolúveis secundários (Mengel & Kirkby, 1987). É absorvido como cátion divalente Zn^{2+} , sem alteração do estado de oxidação (Morenco et al., 2009).

O Zn é um dos mais importantes micronutrientes, pois, além da sua essencialidade para plantas, é fundamental na nutrição humana, pertencendo à categoria dos elementos

químicos necessários para o crescimento, desenvolvimento e funcionamento adequado do organismo (Morenco et al., 2009). Segundo a farmacêutica Sheila Ornellas Guimarães (SP) o Zn está envolvido em processos bioquímicos relacionados à imunidade, à formação óssea e à cicatrização. Ele é requerido na ativação de várias enzimas, como desidrogenases, aldoses, enolases, isomerases, peptidases, transfosforilases e RNA e DNA polimerases (Morenco et al., 2009). A deficiência desse micronutriente interfere negativamente no metabolismo de carboidratos e na síntese de proteínas (Morenco et al., 2009).

Cobre (Cu)

O cobre ocorre nos solos em muitos minerais primários e secundários, e em compostos orgânicos. Em solução no solo, o Cu está complexado na forma de compostos orgânicos de baixa massa molecular. As plantas apresentam raramente deficiência desse elemento, pois seu requerimento é baixo, de 6 a 10 mg. kg⁻¹ MS (Mengel & Kirkby, 1987; Lavado et al., 2001). O Cu é absorvido como cátion divalente (Cu²⁺) e como íon de Cu⁺, em solos reduzidos (Morenco et al., 2009). É facilmente reduzido de Cu²⁺ para Cu⁺ (Morenco et al., 2009).

Os problemas com a toxidez de cobre na agricultura derivam do uso excessivo de defensivos (fungicidas cúpricos), das atividades antropogênicas (poluição) e do uso de subprodutos da atividade avícola e Porcina, ricos em cobre (Marschner, 1995).

Um dos efeitos da deficiência de cobre é a lignificação defeituosa da parede celular, causando distorção de folhas novas, entortamento de hastes e galhos, e aumento de susceptibilidade de cereais ao tombamento, principalmente, junto com alta disponibilidade de nitrogênio (Marschner, 1995). Podendo, também, causar inviabilidade de pólen, com conseqüente baixa produtividade de grãos (Morenco et al., 2009).

Molibdênio (Mo)

O molibdênio ocorre no solo como ânion de molibdênio - MoO₄²⁻ (Morenco et al., 2009). Encontra-se adsorvido por sesquióxidos e argilominerais (Morenco et al., 2009). O Mo é absorvido principalmente como molibdato - MoO₄²⁻ (Morenco et al., 2009). O molibdênio é constituinte da enzima redutase do nitrato, enzima que contém Fe e Mo, e que atua na redução de NO₃⁻ para NO₂⁻ (Morenco et al., 2009). Esse elemento possui baixo requerimento pelas plantas e os sintomas de deficiência observados nas plantas são clorose internerval, seguida de necrose marginal e encurvamento das folhas, ocorrendo principalmente, nas mais velhas

(Morenco et al., 2009). Em solos ácidos, a adição de calcário aumenta a sua disponibilização (Morenco et al., 2009).

Níquel (Ni)

Segundo Palácios et al., (1998) & Atta-Aly (1999) o Níquel é absorvido pelas plantas como Ni^{2+} e provavelmente sua absorção compete com a de outros cátions divalentes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , e Fe^{2+}). É componente estrutural da enzima urease, atuando na metabolização de nitrogênio. Marschner (1995) afirma que sua deficiência reduz a atividade da urease, enzima que transforma uréia em amônio e CO_2 ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow 2 \text{NH}_4^+ + \text{CO}_2$).

1.5.6. Uso de corretivos e fertilizantes na agricultura

A utilização dos insumos minerais agrícolas, em busca do aumento da produtividade, adquiriu importância nas atividades ligadas à agropecuária brasileira. O seu uso representa, em média, 50% dos ganhos em produtividade das lavouras. Porém, para que esses ganhos em produtividade sejam atingidos, torna-se necessário um conhecimento cada vez mais abrangente dos fatores que afetam o uso eficiente desses insumos.

Em relação aos condicionadores, fertilizantes e corretivos agrícolas de solos, esses fatores envolvem tanto aspectos relacionados às características do produto, percolação, poder de neutralização dos ácidos, disponibilidade de macro ou micro-elementos químicos quanto àqueles ligados ao sistema solo-planta-atmosfera.

1.5.7. Contaminação de solos com Metais Pesados ou Elementos Potencialmente Tóxicos – (EPT)

Um agravante do uso, no solo, dos insumos minerais como condicionantes, corretivos de acidez e fertilizantes agrícolas condiz com sua carga tóxica ou poluente, que é inerente a todos os materiais utilizados nos solos agrícolas. Esses materiais podem conter elementos químicos tóxicos, dependendo da natureza dos quais se originam, podendo constituir uma ameaça aos ecossistemas.

A presença de metais pesados, definidos como os elementos químicos com densidade maior que 5g. cm^{-3} , em materiais como fertilizantes, condicionantes e corretivos de solo tem sido objeto de várias pesquisas. Isso ocorre devido ao fato destes elementos permanecerem no

solo por um tempo indefinido e, dessa forma, causarem perigo à saúde humana ou animal ao entrarem na cadeia alimentar.

Em geral, os metais pesados encontrados nos insumos minerais agrícolas são: Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Ferro (Fe), Cobalto (Co), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Mercúrio (Hg), Estanho (Sn) e Zinco (Zn). Entre esses, deve-se ressaltar que alguns são essenciais às plantas (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), às bactérias fixadoras de nitrogênio (Co) e aos animais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn).

A alteração do teor natural de metais pesados nos solos pela aplicação de insumos minerais em áreas agrícolas deve ser monitorada e observada após décadas. Entretanto, Tiller (1989) ressalta que é necessário também avaliar o potencial de risco do uso de fertilizantes, além de outras fontes de metais pesados, tais quais pulverizações com agroquímicos com sais de Zn, arsenatos de Cu e Pb, irrigação com água proveniente de rios que recebem grande carga poluidora, uso de lodo de esgoto, uso de composto de lixo urbano e esterco animal.

Um tópico importante, na técnica da rochagem, como fertilizante alternativo para os solos, refere-se às doses elevadas, na ordem de toneladas por hectare, que poderiam aportar contaminantes, mas este é um inconveniente inerente aos cultivos agrícolas, que demandam por insumos minerais, periodicamente.

Essa questão está intimamente ligada à composição do material, sendo, portanto, necessária à utilização de materiais de composição conhecida que se enquadre em uma legislação que contemple os resíduos minerais passíveis de uso agrícola, considerando que a rochagem ainda não foi regulamentada. Em termos comparativos foram listados na, tabela 3, os valores máximos permitidos juntamente com as concentrações dos contaminantes encontrados em condicionadores de solo agrícola regidos pela legislação brasileira (Instrução Normativa N° 27 de 05 DE JULHO DE 2006).

Tabela 3: Limites máximos contaminantes admitidos em condicionadores de solo (Brasil, 2006)

Contaminante	Valor máximo admitido
Arsênio (mg/kg)	20,00
Cádmio (mg/kg)	8,00
Chumbo (mg/kg)	300,00
Cromo (mg/kg)	500,00
Mercúrio (mg/kg)	2,50
Níquel (mg/kg)	175,00
Selênio (mg/kg)	80,00

Amaral et al. (1994), avaliando a liberação de zinco, ferro, manganês e cádmio de quatro corretivos de acidez para a cultura da alface, verificaram que a composição, juntamente com a dose do produto aplicado, influenciou a absorção desses elementos pela alface. Os materiais advindos de processos metalúrgicos (escória de alto forno) usados em comparação ao carbonato de cálcio puro (CaCO₃ P.A), contribuíram para o aumento no teor, na parte aérea da alface, apenas de Fe e Mn, somente quando se aplicou o dobro da dose indicada pela necessidade de calagem. A tabela 4 mostra a concentração dos metais pesados presentes nos materiais que estão em acordo com a Instrução Normativa N° 27 de 05 DE JULHO DE 2006 (Brasil, 2006) comparados ao resíduo mineral proveniente da mineração de esmeraldas.

Tabela 4. Valores médios de alguns calcários e silicatos

Materiais	Mn	Ni	Cd	Pb	Cu	Cr
	µg/g					
Calcário - Unai (MG) ¹	91	16	3,2	23,0	4,8	0,4
Calcário - Arcos (MG) ¹	53	8,0	2,4	27,3	2,6	0,3
Calcário - Italva (RJ) ¹	46	11,5	3,0	26,2	4,3	0,3
Calcário - Poté (MG) ¹	149	19,0	2,6	23,3	11	0,3
Calcário - Coromandel (MG) ¹	188	17,1	3,1	27,9	4,8	0,6
Calcário - Bocaiúva (MG) ¹	201	12,3	3,4	27,2	2,6	0,1
Calcário Formiga (MG) ¹	221	10,7	2,3	25,3	2,5	0,3
Calcário - Dolomítico ²	84,0	-	2,9	39,0	-	-
Termofosfato Yoorin ¹	2220	3300	3,1	65,3	44,1	9,7
Silicatos Ca/Mg (Recmix Agrosilício)	5,0	1	0,05	0,09	0,6	0,5
Escória - (Alto Forno) ²	14054	nd	7,5	252	nd	nd
Resíduo Mineral³	1,20	166,75	nd	5,15	4,40	7,07

1-(Amaral Sobrinho et al., 1992) 2-(Amaral et al., 1994) 3-(Aguiar, A. P. 2013) Nd = não detectado.

1.6. Descrição da área

1.6.1. Mapas usados

Para o acesso, localização geográfica e descrição geológica da área, que gera o material em questão, foi usada a seguinte base cartográfica:

A – Mapa topográfico, escala 1:100.000 da Folha Itabira (SE-23-Z-D-IV), produzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010.

B – Mapa geológico, escala 1:100.000 da Folha Itabira, SE-23-Z-D-IV (Padilha et al. 2000).

1.6.2. Trabalhos anteriores

O Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e a Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais (CODEMIG) possuem armazenados, em seus arquivos, o mapeamento geológico regional do estado de Minas Gerais. A síntese desses trabalhos está detalhada em produções científicas: monografias, dissertações e teses nas principais universidades brasileiras, responsáveis pelas ciências da terra. A região do Quadrilátero Ferrífero, por apresentar elevado potencial metalogenético, há décadas, da suporte geológico aos geocientistas, que já produziram um acervo de informações sobre o subsolo dessa região.

Como revisão bibliográfica geológica da área que gera o material estudado, será enfatizada a geologia da porção nordeste do quadrilátero ferrífero, mais especificadamente da Província Esmeraldífera entre Itabira Nova Era, em Minas Gerais.

Netto et al. (1998) publicaram o cadastramento dos recursos minerais (1:250.000) da Província Pegmatítica Oriental, leste de Minas Gerais, reimpresso em 2000, ano em que Padilha e colaboradores apresentaram as cartas Geológica e Metalogenética/Provisional da Folha Itabira (1:100.000).

Os diversos trabalhos de cunho local podem ser agrupados, segundo seu tema central. Referentes à Petrologia, destacam-se os trabalhos de Chemale Jr. (1987), Marciano et al. (1992), Dussin (1994) e Fernandes et al. (1995a) que tratam da gênese das rochas do tipo Borrachudos e pegmatitos associados; Schorsher (1979) e Guimarães (1992a) dedicaram-se à evolução do embasamento; enquanto Souza (1988 e 1990), Souza et al. (1989), Machado (1994 e 1998), Machado & Schorscher (1997) e Viana (2004) descreveram em detalhe a geologia de importantes jazidas da Província Esmeraldífera.

No contexto da geologia estrutural, os trabalhos de Dussin et al. (1997), a respeito da contextualização tectônica da Suíte Borrachudos, de Matias et al. (1997), referente às estruturas encontradas no Garimpo de Capoeirana e o de Peres et al. (2004), sobre o estilo deformacional da borda leste do Quadrilátero Ferrífero, são os de maior relevância.

Em relação ao acervo geocronológico, destacam-se os trabalhos sobre a evolução geotectônica e a datação de granitos do tipo Borrachudos, de pegmatitos e de xistos com mineralizações de esmeraldas.

As idades dos granitos do tipo Borrachudos, dos pegmatitos e dos xistos mineralizados foram determinadas, respectivamente, por Chemale Jr. et al. (1997) e Fernandes et al. (2000); Bilal et al. (1995) e Preinfalk et al. (2002); e Ribeiro-Althoff et al. (1996 e 1997).

Investigações por métodos indiretos, como sensoriamento remoto e geofísico, permitem a contextualização de estruturas grandes e profundas, e são aplicadas na prospecção e estudo de jazidas. Nesse sentido Fernandez (2004), propôs a seleção de alvos para prospecção de esmeraldas, na Folha Itabira, baseado em dados geofísicos.

2. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA ESMERALDÍFERA ITABIRA-NOVA ERA-MG

2.1. Contexto Geotectônico

A região que produz o resíduo mineral estudado nesse trabalho encontra-se na borda sudeste da porção meridional do Cráton do São Francisco, mostrado na Figura 3, segundo Almeida (1977). Seu posicionamento no limite do Cráton, na região de interação com a faixa móvel, é refletido por uma forte influência da Faixa Araçuaí. Essa faixa delimita o segmento leste do Cráton, segundo um lineamento de direção localmente N-S, materializado por dobramentos e falhamentos com polaridade dirigida para o ante país cratônico.

Conforme pode ser observado na Figura 3, a região em questão está inserida nas adjacências do domínio setentrional NE, do Quadrilátero Ferrífero (Delgado, 2007). Dessa forma, observa-se uma considerável influência das feições estruturais e litológicas, e dos processos geológicos envolvidos na formação desse domínio geotectônico como reflexo da sua parcial presença na área. Entretanto, há também uma significativa influência de eventos geológicos desenvolvidos em outros importantes domínios geotectônicos, como os complexos Guanhães e Mantiqueira, além da Suíte Borrachudo.

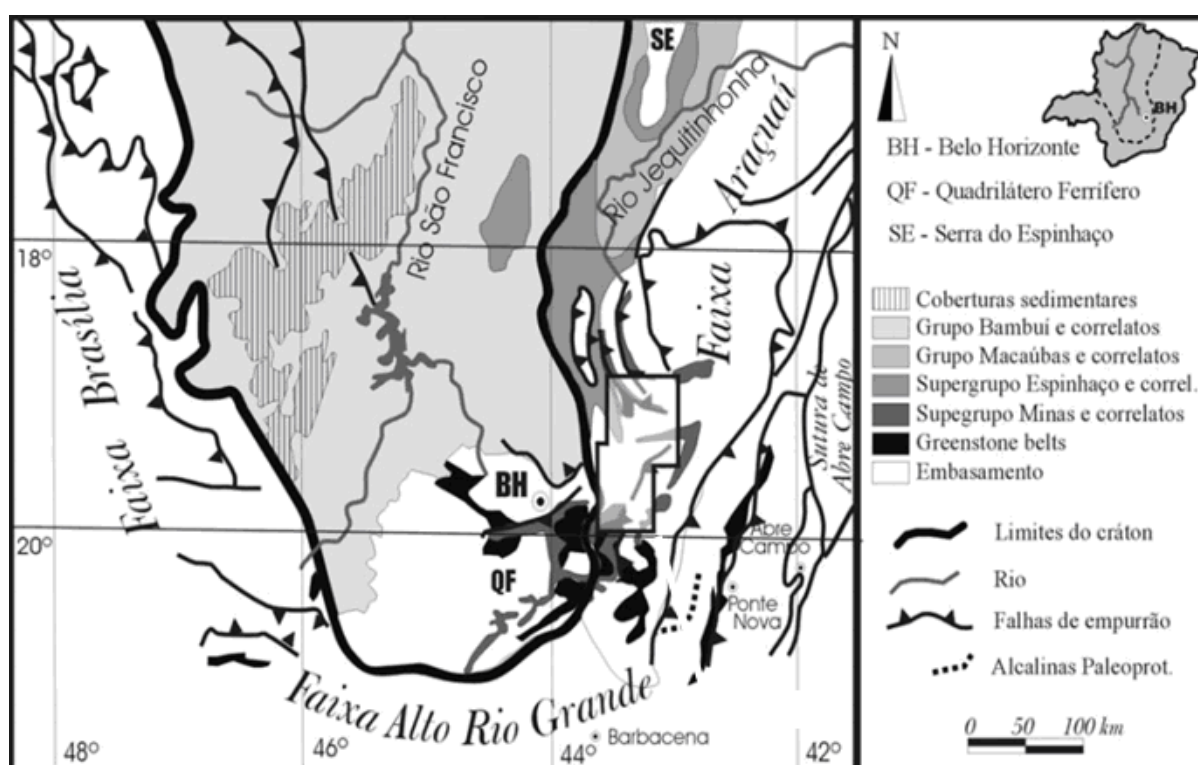


Figura 3: Contexto geotectônico da região de produção do resíduo mineral estudado (Almeida 1977, com modificações de Alkmim et al. 1993 e Dardenne & Schobbenhaus 2001).

O limite da zona de influência das feições estruturais e litológicas dos eventos geotectônicos, típicos de cada um dos domínios citados, apresenta-se como função da sua área de ocorrência (Delgado, 2007). Dessa maneira, os eventos geológicos característicos da região dos complexos Guanhões e Mantiqueira têm maior influência, nos setores central e oriental, respectivamente, ilustrados na figura 4. Os processos geológicos envolvidos na formação da Suíte Borrachudos são mais intensos no setor central (Delgado, 2007).

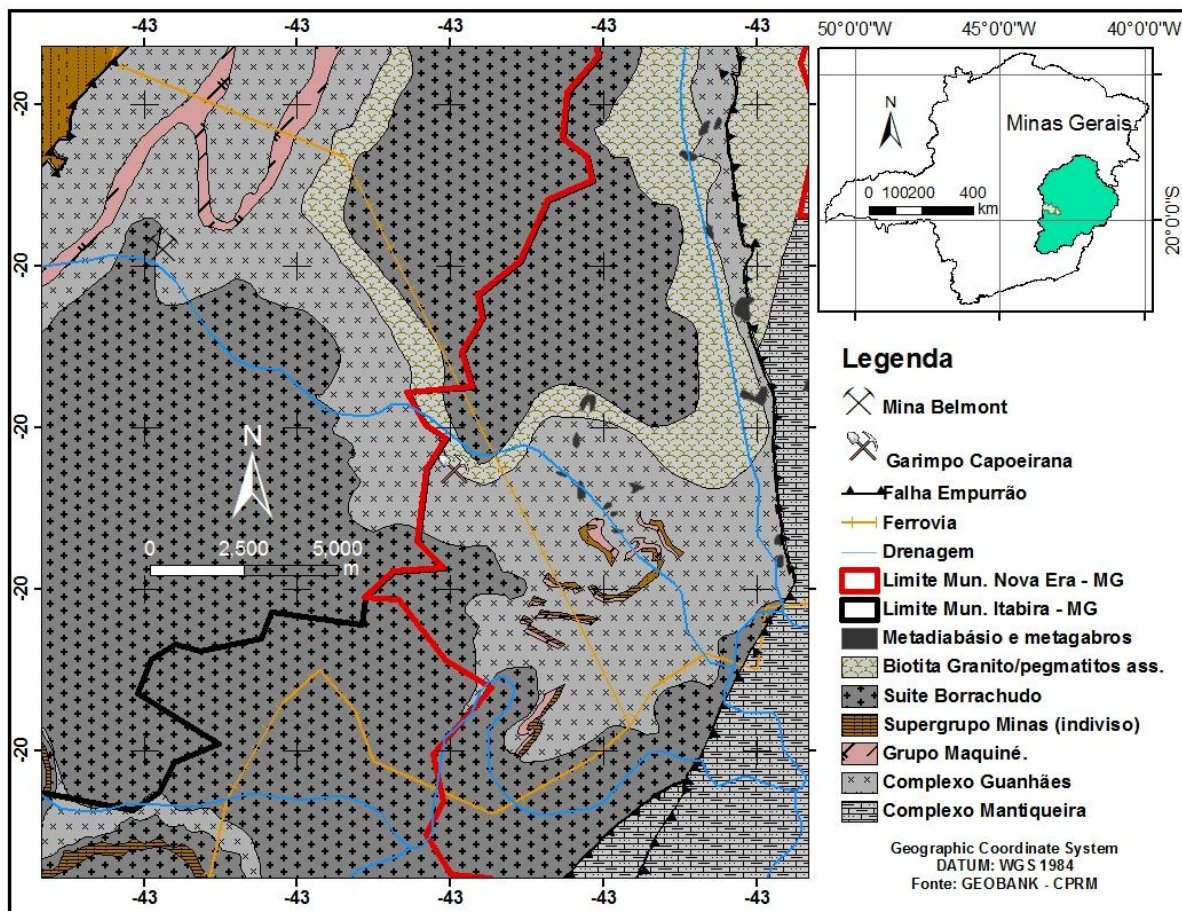


Figura 4: Geologia simplificada da Província Esmeraldífera entre Itabira - Nova Era, com localização da área de produção do material estudado.

2.2. Litoestratigrafia

A caracterização geológica da área que produz o resíduo mineral em estudo segue a sistematização da geologia compilada do mais recente trabalho de mapeamento geológico regional, realizado por Padilha et al. (2000). Enfatizando a região compreendida entre Itabira e Nova Era, são identificados litotipos atribuídos aos Complexos Mantiqueira e Guanhões, ao

Supergrupo Minas, bem como à Suíte Borrachudos (Biotita-granito, Gnaíse-granito, Corpo Bicas), sendo o conjunto localmente atravessado por corpos metabásicos de idade Proterozóica, demonstrados na figura 4.

A Sequência Metavulcanossedimentar descrita por Souza (1990) e Machado (1998) entre outros, encerra-se com um exceção aos granitos do tipo Borrachudos, de todo o conjunto das rochas depositadas e intrudidas no embasamento. Essa corresponde, portanto, à união das demais unidades do Complexo Guanhões às rochas supracrustais e plutônicas arqueanas, do tipo Greenstone do Supergrupo Rio das Velhas e seus correlatos, bem como as seqüências supracrustais de idade paleo- e mesoproterozóica, do tipo Minas e Espinhaço, seus correlatos e às diversas gerações de rochas máficas que cortam todo o pacote.

A distribuição das unidades litológicas locais pode ser descrita pelo predomínio da Suíte Borrachudos, comumente alongada na direção nordeste, envolvida pelo Complexo Guanhões, sugeridos na figura 4. Subordinadamente são notados corpos lenticulares, com orientação nordeste - sudoeste, dos Supergrupo Minas e do Complexo Mantiqueira, que faz contato tectônico de direção ora norte-sul ora nordeste - sudoeste com as rochas do Complexo Guanhões, apresentados na figura 4.

2.2.1. Complexo Mantiqueira

O Complexo Mantiqueira foi definido por Barbosa, em 1954 (in Padilha et al. 2000) como um conjunto de gnaisses encontrados ao sul e a leste da Serra do Espinhaço, e constitui a parte mais antiga do Complexo Regional TTG Arqueano denominada como “constituintes primários” que foram definidos por Souza (1988). De ocorrência restrita ao extremo leste do Campo Pegmatítico Itabira - Ferros, próximo à cidade de Nova Era não representa mais que 5% da área da Província Esmeraldífera de Itabira - Nova Era, observados na figura 4.

Os principais litotipos dessa unidade são gnaisses leucocráticos, de composição granítica a granodiorítica, e mesocráticos, de composição tonalítica, com bandamento bimodal de porte dessimétrico a métrico e foliação milonítica pervasiva (Padilha et al. 2000). Esses, juntamente com os migmatitos e anfibolitos máficos e ultramáficos, são raramente cortados por corpos metamáficos e interpretados como rochas de alto grau, já afirmados por Souza (1988) e Machado (1998). O contato desses gnaisses é tectônico, por zonas de cisalhamento dúctil de baixo ângulo, com as rochas da Suíte Borrachudos e do Complexo Guanhões, destacados figura 4. Machado (1998) os classifica quimicamente como granito e álcali-feldspato granito peraluminoso, enriquecidos em elementos incompatíveis e terras raras leves,

com anomalias negativas de Sr, V, Ni e Cr, e com teores insignificantes de Be. Para Fernandez (2004), a sua assinatura geofísica é dada por teores médios de Th e U em contraposição aos baixos teores de K.

Até o presente momento, não há dados geocronológicos disponíveis para essa unidade, posto que a área em questão é considerada como representante da crosta siálica arqueana, sugerido por (Delgado 2007). Dessa maneira, sua evolução estaria relacionada à sucessão de eventos tectono - metamórficos diversos, responsáveis pelo seu metamorfismo, gnaissificação e migmatização, além de dobramentos e falhamentos generalizados, confirmados por (Delgado 2007).

2.2.2. Complexo Guanhães

Os diversos estudos realizados em rochas dessa seqüência (Souza 1988 e 1990; Schorsher 1991; Machado 1994 e 1998; Iwata 2000; Padilha et al. 2000; Viana 2004, entre outros) permitem, independentemente da sua correlação, dividi-la, com base em seu conteúdo litológico, em três unidades – metaultramáficas, metassedimentar e metamáfica – descritas a seguir, que se intercalam a gnaisses TTG (Tonalito-Trondhjemito-Granodiorito), segundo camadas de porte métrico e que têm em comum um elevado grau de deformação e de alteração intempérica.

A unidade Metaultramáfica tem reduzida expressão areal, porém possui grande importância, por hospedar as mineralizações de esmeraldas, e é composta por xistos de cor negra, esverdeada e dourada, dependendo da predominância de biotita, anfibólio e clorita, respectivamente, bem como porfiroblastos orientados de esmeraldas, além de plagioclásio, quartzo, magnetita, apatita, cromita e talco (Machado 1998).

As rochas da unidade metaultramáfica têm afinidade química com komatiitos basálticos a peridotíticos (Machado & Iwata 1998a, 2000b). Observa-se que os tipos mais metassomatizados (flogopitizados) são sensivelmente mais ricos em álcalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) e em Be que os demais (anfibólio xistos, clorita xistos e cromititos), os quais são mais ricos em MgO (Machado 1998). O comportamento dos elementos menores e traços é semelhante nos anfibólio xistos mais e menos metassomatizados, ambos enriquecidos em elementos incompatíveis, diferindo pela concentração cerca de dez vezes maior de Rb no primeiro tipo e pela anomalia positiva de Ba do último (Machado 1998).

O metamorfismo regional experimentado por essas rochas foi processado nas condições da fácies xisto verde superior a anfibolito médio e teve polaridade voltada para

leste, conforme indicam as paragêneses descritas por Souza (1988). Segundo Viana (2004) as temperaturas variando entre 480-530 °C foram recentemente obtidas por geotermometria de Ti em biotita, da Mina da Piteira, jazida próximo da região estudada. A deformação que acompanha esse metamorfismo, responsável pela impressão de uma xistosidade paralela ao bandamento, com mergulho de médio a baixo ângulo para sudoeste, ocorre associada a uma lineação que cai com baixo ângulo para norte-nordeste e sul-sudeste (Viana 2004).

A unidade metaultramáfica não é mapeável, na escala 1:100.000, pois ocorre apenas como intercalações centimétricas a métricas, nos xistos metapelíticos ricos em muscovita e biotita, afirma Souza (1988). Foi observado por Machado & Iwata (1998a e 2000b) uma concentração preferencial dos tipos ricos em anfibólio, na porção oeste da área, segundo uma linha N-S, que se estende de Nova Era a Hematita.

A unidade Metassedimentar é composta por uma fácies quartzítica e uma oxidada (mapeadas apenas localmente), sendo predominantemente cartografada de forma indiferenciada, o que ocorre em apreciável área do Complexo Guanhões, identificadas na figura 4. Padilha et al. (2000) relatam que essa fácies indiferenciada encerra um conjunto de quartzitos, formações ferríferas, xistos (com variadas proporções de muscovita, biotita e quartzo), metapelitos gnaissificados e suas transições, com metapelitos abundantes. Souza (1988) diferencia três tipos: muscovita-quartzo xisto com biotita; muscovita-biotita-quartzo xisto com granada e estauroлита; e muscovita-biotita-cordierita-plagioclásio-clorita xisto, além dos acessórios cianita, sillimanita, apatita, cummingtonita, óxidos de Fe e Ti e fluorita, sugeridos por Machado (1998). Como foi destacado por Souza (1988), a diversidade mineralógica dos xistos metapelíticos registra bem o metamorfismo regional de fácies xisto verde alto a anfíbolito médio.

A unidade Metamáfica constitui-se de rochas com maior expressão areal, distinguindo-se tipos bandados, derivados de tufos, e tipos homogêneos, derivados de intrusões (Souza 1988). Machado (1998) descreve os metatufos compostos por hornblenda, quartzo e plagioclásio, com granada, epidoto, biotita, titanita, cummingtonita e opacos como acessórios. Dussin (1994) caracteriza os metadiabásios com composição basáltica subalcalina tholeiítica de rift continental e assinatura geoquímica dada pela correlação negativa entre MgO, elementos incompatíveis e óxidos de Si, Ti, Fe, Na e P, em contraste com a correlação positiva entre o CaO e metais de transição, além do enriquecimento em Zr, V e Th e do aumento de Y proporcional ao do FeO, expresso por $FeOT/FeOT+MgO$.

Para Souza (1998), o metamorfismo experimentado pelas rochas metamáficas processou-se na fácies anfíbolito, sugerido pelas paragêneses minerais. A idade tardi-

proterozóica, proposta por Dorr & Barbosa (1963), é confirmada por geocronologia U-Pb em zircão datado de 906 ± 2 Ma, nos trabalhos de Machado et al. (1989). Dussin (1994) infere que a idade de extração T_{DM} crustal dessas rochas é estimada em 1550-1640 Ma.

2.2.3. Supergrupo Minas

Os metassedimentos que materializam o Quadrilátero Ferrífero são individualizados em quatro grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará, de natureza química e terrígena, com maior ou menor contribuição vulcanogênica (Alkmim & Marshak 1998 e Padilha et al. 2000).

Na região de produção do rejeito mineral, as rochas dessa unidade restringem-se aos setores noroeste e centro-sul do mapa, expostos na figura 4. Apesar de estar individualizada, sabe-se que, nas proximidades de Itabira, predominam os litotipos da Formação Cauê e Grupo Itabira, que se constituem essencialmente de formações ferríferas bandadas, por vezes manganésíferas e dolomíticas (Delgado 2007).

2.2.4. Rochas Ígneas

Segundo Dussin & Padilha (1994a) e Padilha et al. (2000b) o arcabouço geológico regional distingue em três tipos de rochas ígneas: granitóides tipo Borrachudos, que ocorrem com dimensões consideráveis e dominam a região entre Itabira - Nova Era, ilustrados figura 4; veios e diques de pegmatitos com origem não muito clara, que podem ou não relacionar-se aos granitos; e corpos máficos diversos.

Suíte Borrachudos

A Suíte Borrachudos, segundo Grossi Sad et al. (1990), encerra vários corpos com afinidade geológica ao Granito Borrachudos, descrito a noroeste de Itabira. A área de ocorrência dessa suíte limita a porção leste da Serra do Espinhaço, estendendo-se por cerca de 200 km, da represa Peti até Sabinópolis, passando por Ferros. Machado (1998), entre outros, dissocia o Granito Borrachudo, considerado por eles arqueano, dos granitos estaterianos dessa suíte. Os litotipos predominantes nessa suíte são leucocráticos e foliados, com granulação variando de fanerítica grossa a afanítica, localmente porfirítica (Dussin 1994). Para Souza (1988), trata-se normalmente de um augen-gnaiss cuja fraca foliação –

homogênea e penetrativa, dada pela orientação de nódulos de biotita – tende a desaparecer da periferia para o centro dos corpos.

Nos trabalhos de Dussin (1994), os diversos corpos plutônicos e vulcânicos da Suíte Borrachudos são mineralogicamente semelhantes entre si e classificados como álcali-feldspato granitos. Machado (1998) descreve os minerais feldspato potássico, quartzo, biotita, plagioclásio e hornblenda formando a mineralogia essencial, enquanto fluorita, epidoto, titanita, apatita, monazita, molibdenita, granada, sulfetos e óxidos de Fe e Ti constituindo os principais acessórios.

Dussin (1994) relata que o feldspato potássico, encontrado tanto na matriz como em fenocristais, apresenta-se de duas maneiras: ortoclásio perfitico a mesoperfitico, de origem primária, e Machado (1998) sugere que o microclina seja produto da recristalização metamórfica.

Pegmatitos

Diversos corpos pegmatíticos, com poucos centímetros a dezenas de metros de espessura, cortam, de forma subconcordante, as rochas da Suíte Borrachudos e dos complexos Mantiqueira e Guanhões (Dorr & Barbosa 1963). De acordo com o seu conteúdo mineral, esses podem ser agrupados em dois conjuntos, um granítico rico em feldspato e mineralizado em berilo, e outro peraluminoso insaturado, com cianita, cordierita e coríndon, que se associa à unidade metassedimentar do Complexo Guanhões, especialmente aos termos mais gnaissificados (Machado 1998).

Os pegmatitos do primeiro conjunto são os mais comuns e foram introduzidos nos tipos mais foliados da Suíte Borrachudos (onde são mais abundantes), nos gnaisses do Complexo Mantiqueira e nas unidades máfica e ultramáfica, do Complexo Guanhões (Souza 1988).

O conteúdo de K, Rb e Cs em álcali-feldspato e muscovita desses pegmatitos mostra sua diferenciação de cerâmico (à muscovita) até portadores de metais raros, especializado em Be, refletindo uma taxa de diferenciação moderada, quando comparada aos demais distritos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira (Morteani et al. 2000). Uma primeira, de idade estimada em 1900 Ma., é responsável pela formação dos veios mineralizados em esmeraldas, deformados no Ciclo Brasileiro, com reequilíbrio do sistema isotópico (Preinfalk et al. 2002).

Essa geração é alternativamente interpretada como contemporânea ao Ciclo Brasileiro, apoiada por datações em monazita e titanita com 520 Ma e 512-450 Ma (Bilal et al. 2000 e Dussin & Uhlein 2003). A segunda geração de pegmatitos, datada de 477 ± 14 Ma, origina veios estéreis indeformados (Preinfalk et al. 2002).

Intrusivas Máficas

Para Dorr & Barbosa (1963) pelo menos duas gerações de rochas máficas podem ser seguramente reconhecidas na região de produção do resíduo em estudo: uma mais antiga, anfíbolitizada, e outra sem indícios de metamorfismo. Boa parte das rochas mais antigas deve relacionar-se à unidade metamáfica do Complexo Guanhães, descrito anteriormente (Delgado 2007).

Dorr & Barbosa (1963) inferem ainda que as rochas máficas mais jovens, que cortam as estruturas brasileiras, distinguem os diques de diabásio e gabro, com bordas de resfriamento. Dussin (1994) caracteriza a textura dessas rochas como inequigranular intergranular, raramente porfirítica e vesicular, compostas por plagioclásio, augita e/ou olivina, além de óxidos de Fe e Ti, apresentando idade fanerozóica do sudeste brasileiro, estimada pelo método K-Ar em rocha total entre 220-170 Ma.

3. PRINCIPAIS LITOLOGIAS DA PROVÍNCIA E PRODUÇÃO ESTIMADA DO RESÍDUO MINERAL

As litologias da Província Esmeraldífera de Itabira – Nova Era podem ser organizadas, principalmente, em cinco grupos: gnaisses, xistos, quartzitos, granitóides e anfibólitos.

3.1. Petrografia

3.1.1. Gnaisses

Os gnaisses têm distribuição reduzida, na região entre Itabira e Nova Era, particularmente abundantes nas proximidades dessa última (Delgado 2007). Na região de Nova Era, os ortognaisses predominam sobre os gnaisses paraderivados, encontrados a sul de Itabira, localmente gerados pelo metamorfismo mais intenso de rochas sedimentares relacionadas ao Complexo Guanhões (Delgado 2007).

3.1.2. Xistos

Os xistos compreendem um importante grupo litológico, uma vez que são os principais portadores dos cristais de esmeraldas. Juntos, os xistos mineralizados e estéreis, agrupados na unidade metavulcano sedimentar do Complexo Guanhões (Gmvs), mostram uma considerável expressão, que podem ser observados na figura 4.

No Garimpo de Capoeirana, observa-se que os xistos mineralizados (flogopita xisto e flogopita-anfibólio xisto esverdeado) constituem uma camada encaixada em gnaisse granatífero (Delgado 2007). Na Mina Belmont, a mineralização de esmeraldas encontra-se hospedada em xistos ultramáficos associados a uma seqüência metapelítica (Machado 1998).

Delgado (2007) reconhece, nessa jazida, rochas claramente paraderivadas, com diversas proporções de quartzo, biotita, cianita e estauroлита, tipos ortoderivados de caráter ultramáfico que portam flogopita e anfibólio, alternando-se como principais minerais, e granada como mineral acessório.

Os xistos orto e paraderivados ocorrem tanto isoladamente como em associação, sendo comum observar-se interdigitações entre esses dois tipos (Delgado 2007).

3.1.3. Quartzitos

Os quartzitos ocorrem intimamente relacionados aos xistos paraderivados, em diversos pontos da área, como na Serra da Pedra Branca e na estrada entre Itabira e Guanhães, podendo ainda ser observada gradação entre quartzo-muscovita xisto e quartzito (Delgado 2007).

As rochas desse grupo possuem mineralogia simples, sendo compostos, além de quartzo, por micas, principalmente muscovita, como também de biotita e mica esverdeada encontradas localmente, magnetita, turmalina e feldspato, que são os acessórios mais comuns (Delgado 2007).

3.1.4. Granitóides

Suítes Borrachudos

Os metagranitos da Suíte Borrachudos são as rochas predominantes dessa região, demonstradas na figura 4, no entanto, reconhecem-se, ainda que em menor proporção, granitóides texturalmente diferentes e pegmatitos, os quais podem ser mapeados de forma indistinta, junto às rochas dessa suíte, normalmente devido a sua pequena expressão areal e semelhança petrográfica (Delgado 2007).

Granitóides diversos

Delgado (2007), afirma que os metagranitóides porfiríticos, de matriz fanerítica fina e foliada, foram observados em amostras desse grupo litológico. Para Delgado (2007), a distinção desses granitóides dos da Suíte Borrachudos pode ser feita por suas características mineralógicas, texturais e químicas.

Pegmatitos

Os pegmatitos dessa província formam veios, diques e bolsões brancos que intrudem indiscriminadamente todas as rochas da região, desde as rochas do embasamento gnáissico até as rochas da seqüência metavulcano sedimentar, do Complexo Guanhães e da Suíte Borrachudos (Delgado 2007) com amostra característica ilustrada na figura 5.

Essas intrusões de pegmatitos têm dimensões que podem variar desde centimétricas a dezenas de metros de espessura e são as rochas responsáveis pela introdução de Be para a geração da esmeralda.



Figura 5: Imagem de uma amostra de rocha do Garimpo Capoeirana - Esmeralda-Mica-Xisto em contato com veio pegmatóide.

3.1.5. Anfibolitos

A forma de ocorrência dos corpos anfibolíticos, que cortam os gnaisses e xistos, sugere origem a partir do metamorfismo de diques máficos. Em menor proporção, encontram-se localmente outros tipos de rochas metaultramáficas, como esteatito, tremolita xisto e serpentinito (Delgado 2007).

3.2. Quantidade estimada do resíduo mineral

As atividades da Mineradora Belmonte e do Garimpo Capoeirana iniciaram-se em 1988, período em que foram descobertas as jazidas. Nos anos seguintes, outras minas e garimpos entraram em atividade, como a Mina Rocha e Piteiras, dentre outras menores que atuam de forma irregular.

No Brasil, como demonstra a figura 6, constata-se que outros estados como Goiás (Santa Terezinha, atual Campos Verdes), Tocantins (Monte Santo) e Bahia (Carnaíba) possuem garimpos em atividade, conseqüentemente, gerando resíduo mineral com potencial agrícola.

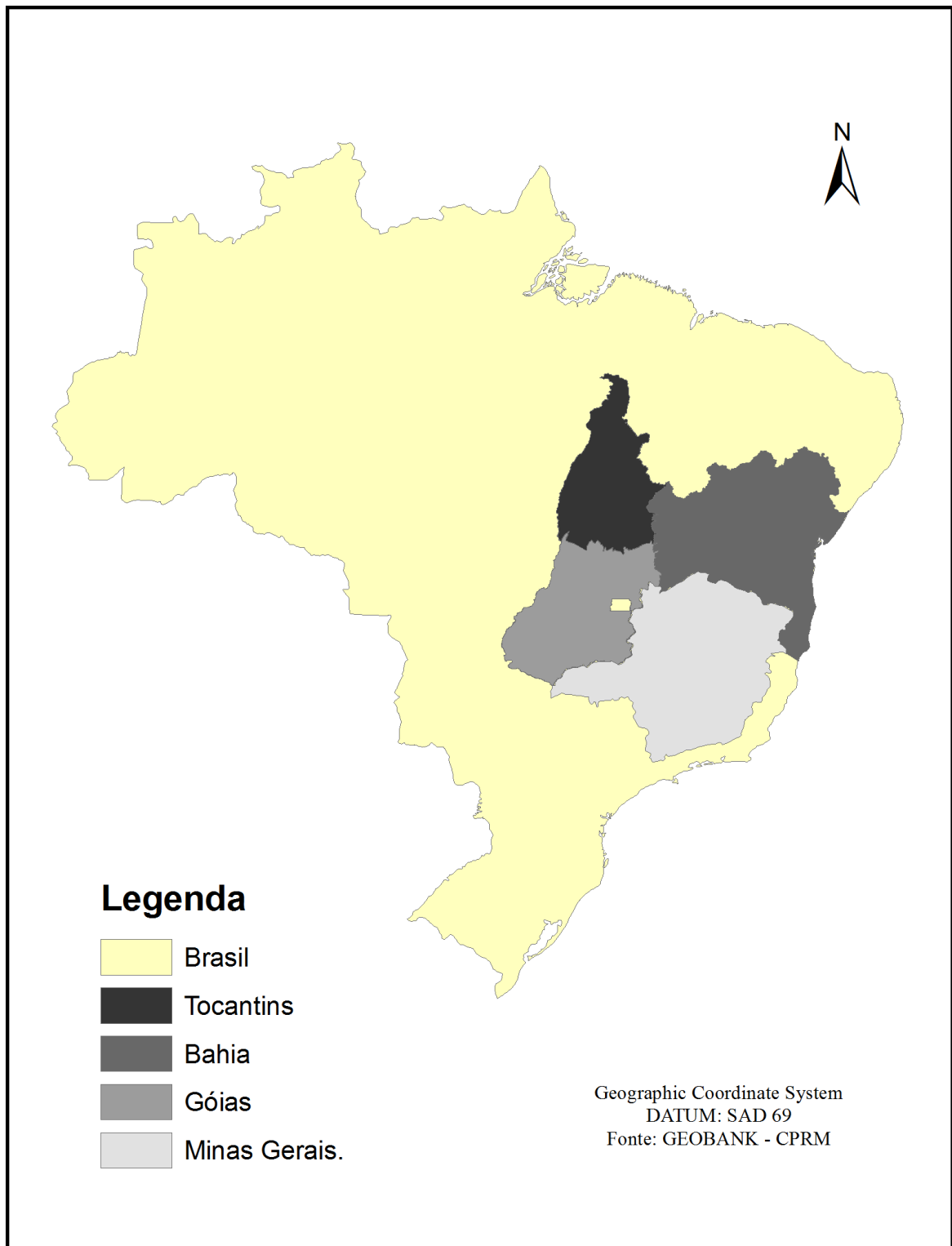


Figura 6: Principais Estados produtores de esmeraldas no Brasil.

Atualmente, são encontrados em aterros da Mineradora Belmont e Garimpo Capoeirana, aproximadamente 400.000 mil toneladas (quatrocentas mil toneladas) de resíduo mineral. A estimativa de produção supera 900.000 toneladas (novecentas mil toneladas) nos próximos 20 anos. Assim, soma-se uma quantidade de 1.300.000 toneladas (um milhão e trezentas mil toneladas) de resíduo mineral, detalhadas na Tabela 5.

A quantidade estimada de resíduo gerada pela prospecção de esmeraldas até 2030, somente da Província Esmeraldífera entre Itabira Nova Era - Minas Gerais justifica a instalação de uma pequena usina de processamento e comercialização desse material. Alguns dados mais precisos quanto à logística, normatização da comercialização dos resíduos e comportamento, em longo prazo, do material no solo serão fundamentais para nortear uma tomada de decisão.

Tabela 5: Produção estimada de esmeraldas e resíduo da província até 2030. (Mineradora Belmont, 2010).

	Em 2010	Até 2030
Resíduo mineral	> 400.000 t	> 1.300.000 t
Esmeraldas	1 t	2 t

4. MATÉRIAS E MÉTODOS

4.1. Amostragem do resíduo mineral

Nesse trabalho de pesquisa foram utilizadas amostras de materiais coletados, de forma aleatória, em 20 (vinte) pontos distintos nas diversas pilhas do resíduo, observados na figura 7, da Mina Belmont - LTDA e Garimpo Capoeirana.

O material é proveniente das mineralizações do minério berilo (variação esmeralda), apresentando-se com xistosidade peculiar ao grau de metamorfismo regional ocorrido naquela província.



Figura 7: Pilha de resíduo mineral.

4.1.1. Preparação e tratamento da amostra.

O rejeito mineral encontra-se em estado sólido, com formas e tamanhos das partículas de rochas irregulares. Na coleta do material objetivou-se formar uma amostra composta e representativa.

O material depois de coletado foi encaminhado ao Núcleo de Geoquímica Ambiental – NGqA, localizado no Centro de Pesquisa Professor Manuel Teixeira da Costa - CPMTC do Instituto de Geociências – IGC, na Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, em recipiente inerte para preparação e execução dos procedimentos físicos, químicos e mineralógicos planejados.

Como a amostragem foi realizada na estação seca do ano, junho de 2010, não houve necessidade de secagem do material para execução dos procedimentos físicos programados.

4.1.1.1. Caracterização Física

O resíduo, em sua forma natural, apresenta granulometria muito grosseira, de forma a não se enquadrar como insumo mineral agrícola para solos pelos parâmetros adotados pela atual legislação brasileira (Brasil, 2007), para corretivos e condicionantes.

Para adequação à legislação em vigor, para corretivos e condicionantes, e realização dos procedimentos analíticos, os fragmentos maiores da amostra de rocha foram “quebrados” com marreta de aço e fracionados granulometricamente em moinho de rochas Modelo MPV – 1, com o objetivo de formar um pó de rocha, como se observa nas figuras 8 a, b.

No procedimento de moer o resíduo, foram pesados 200 gramas, alíquotas da amostra para serem colocados nos espaços vazios entre os anéis/martelos da bandeja do moinho de rochas. Após o preenchimento da bandeja, esta foi fechada, acoplada e travada à plataforma de agitação. O tempo de trituração foi de 2 minutos para cada alíquota e foram preparados 40 Kg (quilogramas) de resíduo mineral para as análises químicas e testes com plantas.

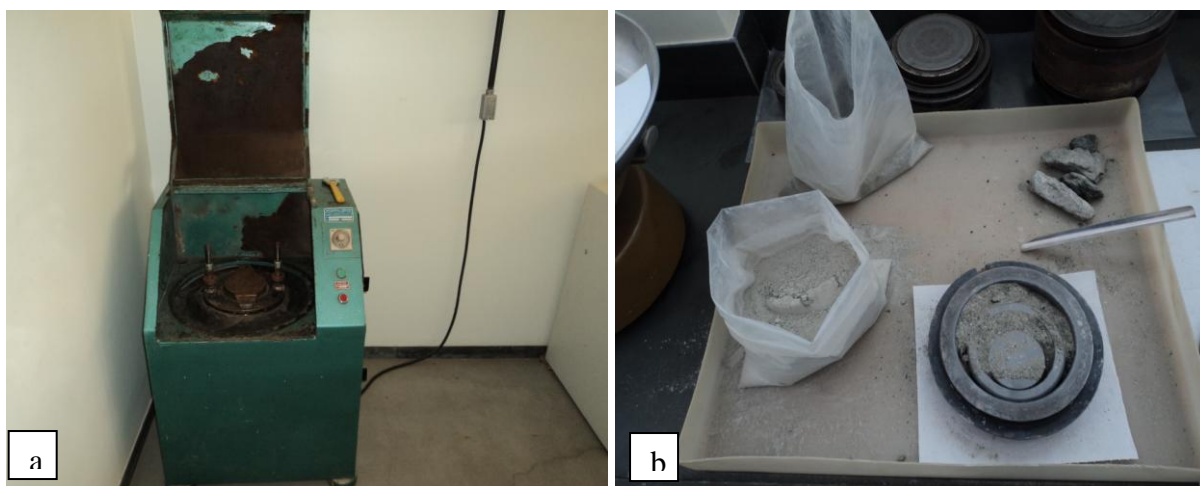


Figura 8 a, b: Moinho de rochas, modelo - MPV – 1.

A determinação granulométrica do resíduo mineral foi feita em triplicata e conforme legislação em vigor para corretivos e condicionantes, a qual determina que uma amostra de 100g do material deve ser agitada por 5 minutos em conjunto de peneiras de abertura ABNT

10, 20 e 50. Na adequação granulométrica do material foi utilizado o aparelho Fritsch Pulverisette type 00.502. As diretrizes da legislação determinam que 70% do material passem pela peneira ABNT 20 e 50 % pela peneira ABNT 50. Os valores das frações granulométricas do resíduo encontram-se organizados na tabela 6.

Tabela 6: Granulometria e reatividade do resíduo, conforme metodologia adotada pela legislação (Brasil, 2007). Determinação realizada com média de três repetições.

Material	ABNT 10	ABNT 20	ABNT 50	FUNDO	RE*
	-----% retido nas peneiras-----				%
Resíduo	3,06	7,68	8,21	81,06	>80

* considerando as taxas de reatividade de partículas adotadas pela legislação.

Os insumos minerais utilizados em solos agrícolas devem possuir uma fração desejável e conhecida para facilitar seu transporte, aplicação, bem como boa reatividade.

Para a realização dos procedimentos químico-analíticos e testes com plantas em casa de vegetação, foram preparadas três sub-amostras do resíduo.

Uma primeira amostra foi separada para caracterização química total, no laboratório AcmeLabs Analytical Laboratories – LTDA. A segunda amostra foi utilizada para determinação química dos Elementos Potencialmente Tóxicos – EPT (Metais Pesados) extraíveis, via lixiviação, do pó de rocha puro e incubado ao solo agrícola, em proporções definidas (5 e 40 toneladas por hectare) e sob condições ambientais controladas no laboratório de Geoquímica Ambiental - NGqA do CPMTc – IGC – UFMG (Temperatura: 23+/-10° C e 75% Umidade Relativa). Uma terceira amostra foi encaminhada à FAAG – Faculdade de Agronomia da Universidade Vale do Rio Doce – Univale, onde se realizaram testes com plantas.

4.1.1.2. Caracterização Química

Os procedimentos analíticos adotados para determinação das características químicas dos insumos minerais agrícolas devem possuir confiabilidade, eficiência e baixo grau de contaminação.

O laboratório externo AcmeLabs, responsável pela caracterização química total do rejeito, utilizou os aparelhos XRF Whole Rock & ICP-MS Trace Elements. Os elementos mais representativos e os seus percentuais relativos apresentados foram analisados e determinados via Fluorescência de Raio X - XRF. Os elementos-traço, por sua vez, foram analisados via ICP-MS, a partir da amostra aberta com HNO₃ e água régia, previamente fundida em LiBO₂.

Uma tabela discriminante dos elementos químicos analisados em cada método, bem como dos seus limites de detecção, encontra-se junto com os respectivos resultados no Anexo1.

4.1.1.3. Mineralogia do resíduo

A mineralogia dos resíduos, utilizados na técnica da rochagem, possui fundamental importância por possibilitar a identificação dos minerais fontes, dos principais elementos químicos demandados pelas plantas.

Com o uso dos aparelhos Microsonda Eletrônica e Microscópio Óptico (MSE, M.O) foram identificados os grupos dos principais minerais presentes no resíduo. Para determinação dos minerais das amostras, utilizaram-se também microscópio eletrônico de varredura (MEV), acoplado ao dispositivo de Espectrometria de Dispersão de Energia (EDS), efetuando estudos por difração de raios X e ICP/Laser ablation.

Os dados obtidos nas amostras analisadas do garimpo de Capoeirana foram correlacionados aos principais resultados químicos do trabalho de Delgado (2007).

4.2. Amostragem do Solo Agrícola

O solo agrícola utilizado nos experimentos foi coletado na depressão do Rio Doce, às margens deste, na Faculdade de Agronomia – FAAG da Universidade Vale do Rio Doce – Univale, em Governador Valadares, localizado nos paralelos 19° 50' 24'' e 18° 50' 40'' Sul e meridianos 41° 54' 19'' e 41° 54' 00'' Oeste.

Amostras do solo foram coletadas em profundidade de 0 - 10 centímetros, do perfil mais fértil de um solo aluvial, de área com pastagem do campo experimental da FAAG, perfazendo-se um volume satisfatório, para os procedimentos analíticos em laboratório e testes com plantas, demonstradas na figura 9.



Figura 9: Amostras do solo.

4.2.1. Preparação e tratamento das amostras

A preparação das amostras de solo para as análises constituiu em secar à sombra com ventilação e padronização das partículas em peneiras com malha de 2,0 mm (ABNT N° 10) com retirada dos excessos de partículas, folhas e raízes. Sub-amostras foram separadas para análises físicas e químicas.

No Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da FAAG – Univale foram realizadas análises para determinação dos atributos químicos e físicos. Os procedimentos analíticos adotados seguiram a metodologia Embrapa (1997 e 1999).

4.2.1.1. Caracterização Física

Para determinação dos parâmetros físicos, analisou-se a textura do solo pela distribuição do percentual das partículas primárias através da análise granulométrica.

Uma sub-amostra de 10 g de solo, após ser desagregada de forma mecânica, foi transferida para garrafa de Stohmann onde se adicionou 50 ml de solução dispersante (Hidróxido de Sódio e Hexametáfosfato de Sódio em 5 litros de água destilada) para realização da agitação e mistura por 5 minutos em agitador rotatório de Wagner, a 30 rpm. Após esse procedimento, a suspensão foi transferida para uma proveta de 500 ml (5 cm de diâmetro) sendo filtrada por peneira de malha de 0,2 mm, para determinação da areia grossa (AG) e em peneira de malha 0,053 mm, para determinação da areia fina. (AF). Em seguida foi completado o volume da proveta com água destilada. As partículas retidas na peneira, depois

de serem lavadas com jato de água, foram secadas em estufa a 105-110° C e pesadas para determinação das areia grossa e fina.

Na determinação das frações argila e silte, utilizou-se o método da pipeta. Depois de completar o volume da proveta com 500 ml de água destilada agitou-se por trinta segundos com um bastão contendo na extremidade inferior um êmbolo de borracha.

Transcorrido o tempo necessário para a sedimentação da argila+silte e argila, foi introduzido uma pipeta de 10 ml a uma profundidade de 10 cm, para amostragem de argila+silte e de 5 cm, para amostragem de argila, com sucção contínua para evitar turbilhamento. As alíquotas foram transferidas para cápsulas de porcelana, previamente taradas, para secagem em estufa a 105-110° C, por oito horas. Para validação do método, o procedimento foi repetido com a prova em branco, contendo solução dispersante e água destilada.

As cápsulas retiradas da estufa foram esfriadas em secador contendo cloreto de cálcio anidro e pesadas rapidamente em balança de precisão, para obter os valores das argilas + dispersantes (A + D) e da Argila + Silte + Dispersante (A + S +D) e realização dos cálculos para determinação dos percentuais das frações granulométricas.

As características físicas do solo aluvial nas condições iniciais, antes da incubação determinadas pelo método Embrapa, (1997) encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Percentual das frações granulométricas (Embrapa, 1997). Laboratório FAAG/Univale – 2011.

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
63	11	14	12

4.2.1.2. Caracterização Química

Para determinação dos parâmetros químicos foram caracterizadas as seguintes variáveis: pH em água, fósforo solúvel (P), potássio (K^{+1}) – Extrator Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H_2SO_4 0,025N), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}) – Extrator KCl 1mol L^{-1} , Acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC total (T), CTC efetiva (t), saturação por bases (V) e saturação de alumínio (m), de acordo com o método Embrapa, (1999).

Tabela 8: Característica química do Solo Agrícola. Laboratório FAAG/Univale – 2011

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	S	T	t	V	m
	(mg. dm ⁻³)		(cmolc. dm ⁻³)				(cmolc. dm ⁻³)			(%)	
6,20	13,90	143,65	1,50	0,60	0,30	4,50	2,47	6,97	2,77	35,44	10,83

Níveis utilizados pelos laboratórios:

Cálcio trocável	Baixo (0 – 1,5)	Médio (1,6 - 4,0)	Alto (>4,0)
Magnésio trocável	Baixo (0 – 0,5)	Médio (0,6 - 1,0)	Alto (>1,0)
Alumínio trocável	Baixo (0 – 0,3)	Médio (0,4 - 1,0)	Alto (>1,0)
Acidez potencial	Baixo (0 – 2,5)	Médio (2,6 - 5,0)	Alto (>5,0)
Potássio disponível	Baixo (0 – 45)	Médio (46 - 80)	Alto (>80)
pH em água	Acidez elevada <5,0	Acidez média 5,0 – 5,9	Acidez fraca 6,0 – 6,9

Os resultados obtidos em análise química para o solo selecionado evidenciam sua boa fertilidade natural, tendo em vista que o planejamento dos ensaios com plantas ocorreu somente com a adição do resíduo mineral pesquisado, água e uma fonte de nitrogênio (N).

A ausência dos fertilizantes convencionais fósforo e Potássio, visa confirmar a fonte (material da pesquisa) e sua quantidade disponibilizada-ionizada para a solução do solo.

4.3. Incubação do resíduo ao Solo

As amostras de solo depois de caracterizados, física e quimicamente, foram organizadas para serem misturados com o resíduo moído nas proporções (0, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 2000 mg. kg⁻¹) correspondendo a (0, 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 40) toneladas por hectare, respectivamente. Para determinação da quantidade de material a ser adicionada ao solo, foram usados 100g de solo que para permitir maior uniformidade na amostragem foi quantificado por meio de pesagem da massa do solo levando em consideração a densidade de 1,0 g. cm⁻³.

Promoveu-se a homogeneização dos materiais com as diferentes doses do resíduo mineral, com agitação circular, ascendentes e descendentes em potes cilíndricos, sendo posteriormente transferidos para copos plásticos de 10 cm de altura com capacidade de 200 ml, como demonstrado na figura 10.



Figura 10: Ensaio de incubação.

Depois de misturados e preparados os 100 gramas de cada amostra, estas foram colocadas em copos plásticos e molhadas com água destilada até atingir 65% da capacidade de campo, o que correspondeu a $0,34 \text{ g. g}^{-1}$ de umidade de solo seco.

A umidade foi controlada com água destilada a cada dois dias, deixando as amostras em sala de incubação com monitoramento do ambiente por 60 dias e temperatura variando entre $28 \pm 5^\circ\text{C}$. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada dose do resíduo, mais o testemunho, totalizando 36 parcelas.

Os copos com o solo incubado foram cobertos com manta plástica transparente para redução da evapotranspiração do substrato e as manutenções no teor de umidade para favorecimento de possíveis reações químicas. O uso da manta plástica possibilita que a luminosidade alcance o sistema, com maior transferência de energia aos reagentes.

Após o período de 60 dias, as amostras de solo incubado, foram coletadas e colocadas para secar a sombra (TFSA), visando à preparação para as análises químicas de rotina, segundo o método Embrapa (1999).

4.4. Ensaio de lixiviação

Complementarmente, foram realizadas análises geoquímicas, no laboratório do NGqA/CPMTC – IGC, da solução lixiviada sob condições controladas dos sistemas resíduo, solo e do solo incubado com o resíduo nas doses pré determinadas. As doses do material incubado ao solo corresponderam à utilização de 99,75: 0,25 P/P, (99,75 g de solo: 0,25g de resíduo); 98,00: 2,00 P/P, (98,00g de solo; 2,0 g de resíduo), correspondendo à utilização de 5

e 40 toneladas por hectare do material pesquisado, respectivamente, considerando o solo com densidade aparente de $1,00 \text{ g/cm}^3$. Depois de misturados os 100 gramas de cada amostra, estas foram acondicionadas separadamente em recipientes plásticos para serem realizados os procedimentos de lixiviação, demonstrados na Figura 11 a, usando fluido com $\text{pH} = 5,6$ e temperatura variando de 28° a 33° C por 72 horas.

O aparelho lixiviômetro foi construído em suporte metálico com recipientes de garrafas pet, filtros de fibra de celulose $0,45 \mu\text{m}$ e balde de polietileno. O fluido do sistema era mantido em fluxo constante por bomba submersa SB 1000C. O excedente do fluido injetado no recipiente que continha os sólidos analisados do sistema, que eram drenados por um conduto que retornava para um reservatório principal (balde de polietileno) com manutenção do fluxo. O valor da fração dos elementos ionizáveis foi determinada pelo aparelho ICP – OES (Espectrometria de Emissão Ótica). As lixiviações objetivaram analisar os elementos químicos ionizáveis do resíduo em solução no solo.

As soluções lixiviadas, com as respectivas alíquotas para análise foram coletadas em períodos pré-determinados de 3, 24, 48 e 72 horas, demonstradas na figura 11b. Ao término de cada período coletava-se com pipeta 5 ml da solução, que era transferida para balões volumétricos de 50 ml. Nos balões adicionava-se água deionizada formando um volume final de 50 ml para realização das determinações químicas via aparelho ICP-OES e os cálculos necessários.

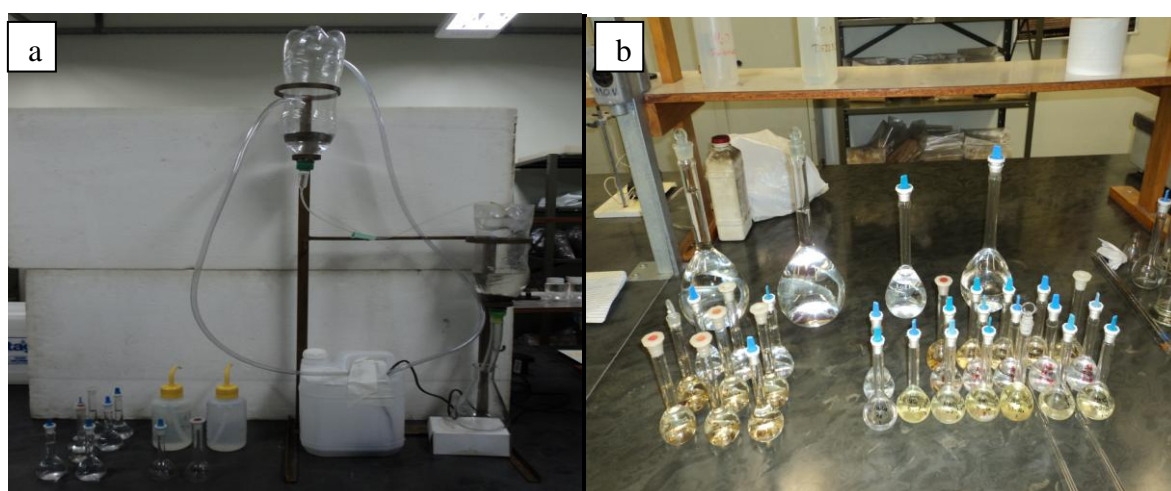


Figura 11 (a, b): a. Aparelho lixiviômetro e **b.** Amostras da solução lixiviada para análise química.

4.5. Experimento em Casa de Vegetação

4.5.1. Cultura utilizada

A cultura selecionada para testes com plantas foi o milho (*Zea mays L.*), cultivar Híbrido Duplo BR - 206. A escolha do milho ocorreu por sua importância como cereal usado na alimentação de animais e na indústria de alta tecnologia, apresentando-se como planta de desenvolvimento fisiológico intenso com bons índices de extração dos nutrientes minerais do solo, sendo uma cultura de ciclo anual.

O uso do milho em grão como alimentação animal, representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa.

Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão, a alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões de baixa renda. Em algumas situações, o milho apresenta-se como alimento diário e fonte de energia para muitas pessoas que vivem no semi-árido.

Dados médios de experimentos conduzidos por Coelho et al. (dados não publicados) com doses moderadas a altas de fertilizantes, dão uma ideia da extração de nutrientes pelo milho, cultivado para produção de grãos e silagem. Foi observado que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio crescem linearmente com o aumento na produção, e que a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e potássio, seguindo-se do cálcio, magnésio e fósforo.

A raiz do milho é do tipo fasciculado, podendo chegar aos 40 cm de profundidade, alcançando 50 cm ao redor da planta. As quantidades de nutrientes que são extraídos pela cultura dependem da produtividade, da variedade, das condições de clima, fertilidade do solo, adubação e tratamentos culturais.

Com relação aos micronutrientes, as quantidades requeridas pelas plantas de milho são muito pequenas. Por exemplo, para uma produção de 9 toneladas de grãos por hectare, são extraídos: 2.100 g de ferro, 340 g de manganês, 110 g de cobre, 400 g de zinco, 170 g de boro e 9 g de molibdênio (Embrapa, 2006). Entretanto, a deficiência de um deles pode ter tanto efeito na desorganização de processos metabólicos quanto à deficiência de um macro nutriente.

4.5.2. Condições de cultivo

O milho foi cultivado por um período de 120 dias, em casa de vegetação. Os tratamentos corresponderam a diferentes distribuições do resíduo no solo, mais o testemunho. Para o desenvolvimento das plantas foi utilizado como insumo mineral adicional ao solo somente o resíduo mineral, água e uma fonte de nitrogênio (N) uréia agrícola. A determinação de uso específico desses insumos visou possibilitar a observação do potencial de disponibilização de nutrientes minerais do material pesquisado ao substrato com consequentemente absorção e desenvolvimento pelas plantas.

Os materiais (solo + resíduo mineral + água + uréia) foram acondicionados em vaso plástico com capacidade para armazenar 60 dm^3 de solo. Na camada superficial do solo (20 centímetros de profundidade) foram distribuídos e misturados nas proporções 0, 150, 300, 600 e 1200 g.vaso^{-1} correspondendo à utilização de 0, 5, 10, 20, 40 ton. ha^{-1} , respectivamente, estando o resíduo na forma de pó de rocha. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco repetições para cada dose do material, totalizando 25 parcelas.

Depois de misturados e preparados os vasos foram organizados na bancada em casa de vegetação. Foram plantadas quatro sementes de milho por vaso a dois centímetros de profundidade, com espaçamento entre sementes de 20 cm, tomando como referência um plantio com espaçamento de 80 cm entre linhas, 12.500 metros lineares e 62.500 sementes em um hectare (10 mil metros quadrados). Após 15 dias do plantio foi realizado o desbaste, com manutenção de duas plantas de milho, com bom vigor vegetativo por vaso, observados na figura 12.

Os vasos foram irrigados a cada dois dias buscando-se manter o solo com 80% da capacidade de campo e condições para um bom desenvolvimento fisiológico das plantas, demonstradas na figura 13.

Foi aplicado 10g de uréia agrícola por vaso em cobertura durante o desenvolvimento da cultura, correspondendo à utilização de 160 kg. ha^{-1} de Nitrogênio por hectare, segundo recomendações químicas para a cultura do milho extraídas de Embrapa, (1999).

Após o término do ciclo da cultura foram coletados os solos para análises e caracterizações químicas, e as plantas de milho para a determinação dos parâmetros fenológicos. As folhas senescentes foram acondicionadas aos recipientes com as folhas não senescentes para compor os pesos da matéria seca da parte aérea (MSPA).



Figuras 12: Plantas de milho Híbrido Duplo BR 206.

Para execução dos procedimentos analíticos e determinação dos parâmetros fenológicos das plantas de milho, coletaram-se as partes vegetativas (raiz, caule, folha, espiga) separadamente. As partes das plantas foram cortadas e organizadas em blocos, para realização das pesagens com e sem umidade. As raízes foram lavadas cuidadosamente, com água corrente, para retirada do solo. A secagem das partes vegetativas e reprodutiva foi realizada em estufa com temperatura de 75° C por 72 horas. Após esses procedimentos, foram realizados os cálculos para determinação da matéria seca. Para determinação dos valores dos parâmetros fonológicos, utilizou-se a média ponderada dos valores correspondentes das cinco repetições dos blocos organizados.



Figuras 13: Desenvolvimento das plantas de milho Híbrido Duplo BR 206

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

5.1. Característica química do resíduo

Os atributos químicos do material estudado, analisado via XRF Whole Rock & ICP – MS Trace Elements, podem ser observados na tabela 9.

Tabela 9: Característica química do resíduo (Acme Analytical Laboratories LTDA (ACME).

Elemento	Unidade	Concentração	
Al₂O₃	%	9,27	
CaO		4,37	
Cr₂O₃		0,29	
Fe₂O₃		9,79	
K₂O		3,14	
LOI		2,53	
MgO		19,17	
MnO		0,16	
Na₂O		0,80	
P₂O₅		0,02	
SiO₂		50,25	
Pb		mg. kg ⁻¹	5,15
Cd			<0,10
Cu	4,40		
Ni	166,75		
Ti	5,05		
Zn	107,00		

Os silicatos, principais minerais que compõem as escórias de siderurgias (alto forno) utilizados como corretivo de acidez de solo, apresentam teores médios dos CaO e MgO de 33,4 e 7,5 % e máximos e mínimos de 56,4 - 25, 7; 13,2 – 0,7, respectivamente, considerando diferentes escórias de siderúrgicas do Brasil em caracterização feita por diversos autores (Velo et al., 1992; Amaral et al., 1994; Prado & Fernandes, 2000; Pereira et al., 2003; Prado et al., 2003; Prado et al., 2004).

Já os calcários, são formados pelas rochas carbonáticas (dolomita), principais insumos utilizados como corretivos de acidez dos solos agrícolas. Os teores médios dos compostos CaO e MgO, dos calcários dolomíticos, são de 45,01% e 18,15% respectivamente.

Os calcários e os subprodutos de alto forno, que são utilizados como corretivo acidez dos solos no Brasil, apresentam teores médios de óxido de cálcio (CaO) e magnésio (MgO), maiores que os apresentados pelo minerais presentes no material estudado.

O teor desses elementos no material estudado ($\text{CaO} = 4,37\%$ e $\text{MgO} = 19,17\%$), aliado à lenta liberação dos componentes básicos (OH^-), indicam que este não pode ser classificado como produto corretivo de acidez de solo, de acordo com os valores mínimos especificados pela legislação brasileira para corretivos, segundo Brasil (2006), mas sim como condicionante de solo agrícola, uma vez que sua composição química, observados na tabela 9, pode oferecer, a médio/longo prazo, nutrientes minerais para os solos cultivados.

De acordo com Osterroht (2003), trabalhos realizados com rochas (Rochagem), como fontes de nutrientes, podem apresentar resultados poucos consistentes, sobretudo, quando os estudos são conduzidos em vasos, solo estéril ou com baixa atividade biológica, com pequenas quantidades de substrato ou realizados por um curto período, em condições de clima temperado. Por outro lado, bons resultados ocorrem, se as condições são contrárias, ou seja, clima tropical, experimentos de longa duração, solos com alta atividade biológica e material finamente moído.

Os maiores valores analíticos observados foram para os óxidos K_2O , MgO , CaO e SiO_2 . Quanto aos teores de micronutrientes (Fe, Zn, Mn e Cu), o material apresentou teores significativos, com destaque para o ferro e o zinco, demonstrados na tabela 9.

Sua aplicação como condicionador de solo pode aportar níveis significativos desses elementos para as plantas, considerando sua aplicação na ordem de toneladas por hectare.

Segundo Brasil (2006), os limites máximos admitidos de chumbo (Pb) e cádmio (Cd), principais contaminantes dos insumos minerais, adotados pela legislação vigente para corretivos e condicionantes, são de 1000 mg. kg^{-1} (ppm) para Pb e de 20 mg. kg^{-1} (ppm) para Cd, estando os valores detectados pelo material do presente estudo abaixo desses limites, detalhados na tabela 9, o que possibilita o enquadramento desse material como insumo mineral com pequeno potencial de contaminação dos solos.

5.2. Composição mineralógica do resíduo

Nas amostras analisadas predominam minerais de rochas metaultramáficas com metassomatismos mineralizados em esmeraldas. Os minerais de maior interesse agrícola encontrados no resíduo pertencem ao grupo dos Filossilicatos (Biotita-flogopita-muscovita-clorita xisto) e Inossilicatos (Anfibólitos e Piroxênios), ilustrados na figura 14 por fotomicrografia em luz polarizada realizada em Microscópio Óptico.

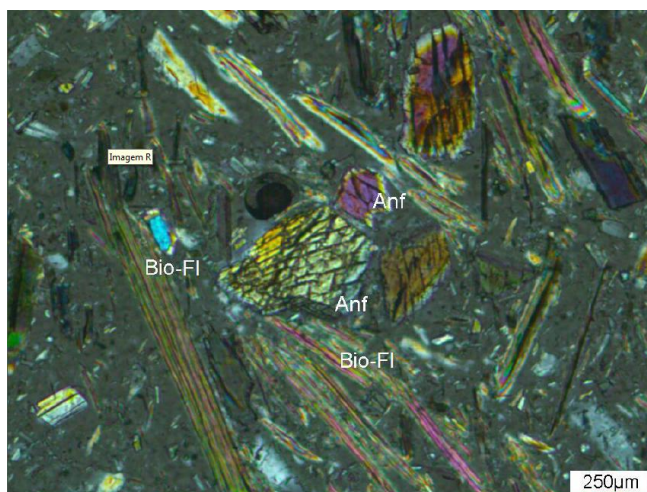


Figura 14: Fotomicrografia em Microscopia Ótica, analisada do pó de rocha da biotita-flogopita e anfibólio.

Representações em menor proporção podem ser observadas em informações extraídas e correlacionadas ao trabalho de Delgado, (2007) como os minerais: granada, ilmenitas, plagioclásios, cianita e clorita.

O estudo da química e determinação mineral baseou-se na análise de pontos distribuídos entre as bordas dos cristais observados, passando pelo centro. Todos os campos analisados foram caracterizados por meio de imagens, a fim de se obterem informações precisas sobre a localização dos pontos analisados, ilustrados nas figuras 18 a, b.

Normalmente, as micas (biotita-flogopita, muscovita) são mais estáveis que os demais minerais silicatados, fontes de nutrientes existentes nos solos, tais como, feldspato, anfibólio, piroxênio e olivinas (Goldich, 1938). As micas são as maiores fontes de potássio, magnésio e ferro em ambientes tropicais, e desempenham importante papel na fertilidade e gênese dos solos.

A estrutura química básica da biotita, um dos minerais de interesse geoquímico agrícola, por apresentar expressiva concentração de K, Mg, e Fe, pode ser organizada pela seguinte fórmula química: $K_2(Mg, Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+}, Al, Ti)_{0-2}Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}(OH, F)_4$, com composição 10,86 % K_2O , 23,24 % MgO , 11,76 % Al_2O_3 , 8,29 % FeO e estrutura organizada, como explicitada na figura 15.

Os minerais com hábitos micáceos, as biotitas, são minerais em camadas/folhas, negativamente carregadas, do tipo 2:1, sendo compostas por folhas octaédricas entre duas folhas tetraédricas (Figura 15).

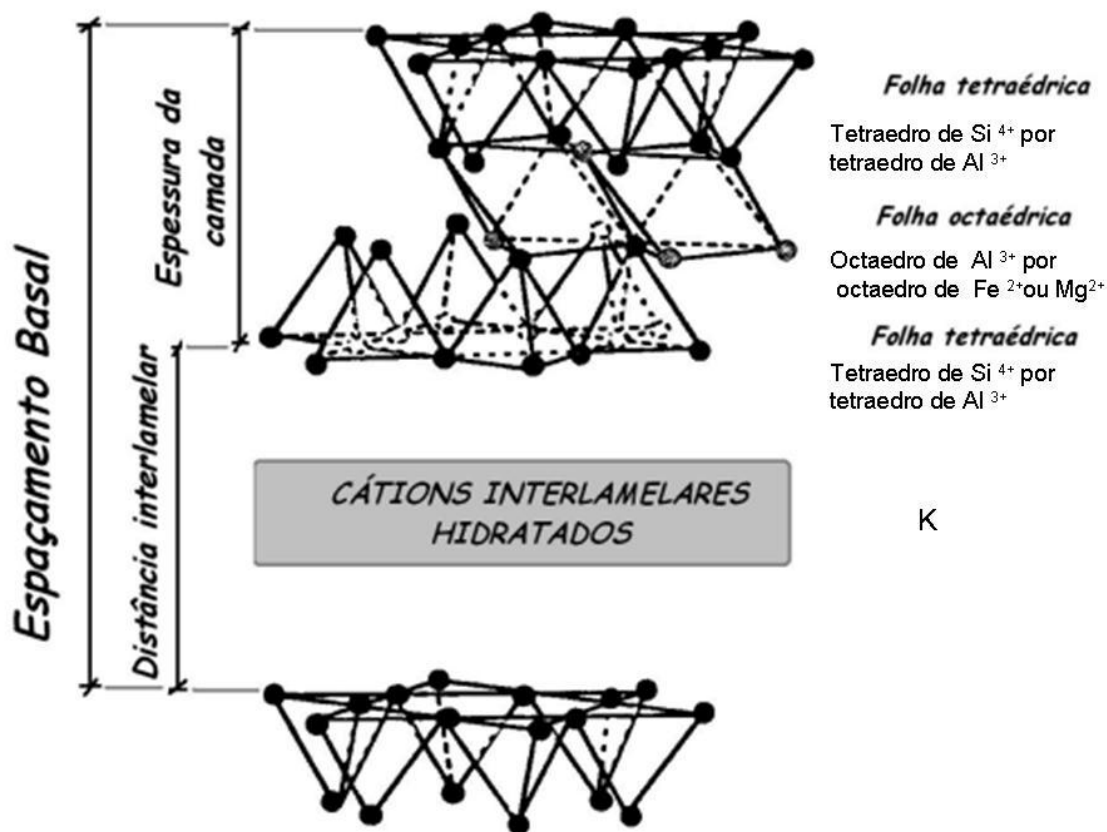


Figura 15: Unidade estrutural básica das micas (Silva, 2009).

Segundo Melo, et al., (2009), o intemperismo da mica com conseqüente liberação do K (Biotita e Muscovita) é proveniente de dois processos:

- i) transformação de micas com K, entre camadas para minerais 2:1 expansivos, pela redução da carga negativa e pela troca de K por cátions hidratados;
- ii) dissolução das micas, seguida pela recombinação dos produtos do intemperismo.

Nesse último processo, com a quebra da estrutura das micas trioctaedrais, íons Mg e Fe também são liberados para a solução do solo.

A importância relativa desses processos depende da estabilidade das micas e da natureza do ambiente no solo. O intemperismo em camadas, ilustrado na figura 16 a, é mais comum em partículas menores de mica, enquanto o intemperismo de borda ocorre em partículas maiores, demonstrado na figura 16 b. A transformação da mica para minerais 2:1 secundários, com a liberação de K estrutural, deve-se ao intemperismo, com redução do tamanho da partícula.

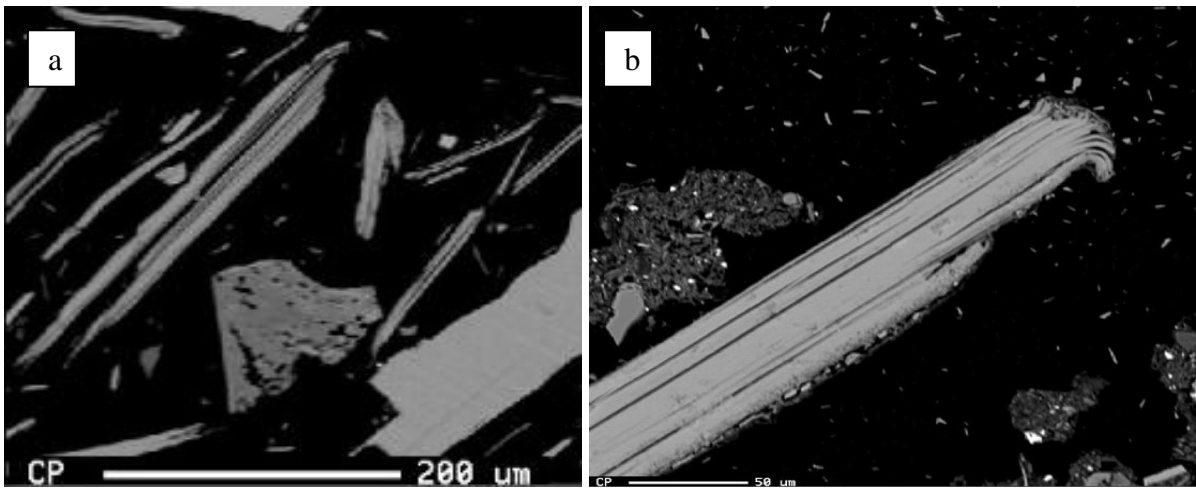


Figura 16: minerais intemperizados. **a.** Em camadas **b.** Em borda, minerais no solo por 12 meses (Microsonda - JEOL-Modelo JXA - 8900RL WD\ED COMBINED MICROANALYZER).

Os Inossilicatos formam outro grupo importante de minerais, que ocorre em diversos tipos de rochas, principalmente, nas metamórficas de temperatura média a alta, sendo que alguns tipos aparecem em condições de temperaturas baixas, em rochas de natureza básica e/ou cálcio-silicática. Destacam-se, no material em estudo, os anfibólios - cadeia simples e piroxênios – cadeia dupla, estruturalmente ilustrada nas figuras 17 a - b.

Em relação aos minerais da classe Inossilicatos, as micas apresentam estruturas mais complexas, e o intemperismo desses minerais mostra-se dependente de suas composições químicas e a natureza das ligações dos elementos.

Nos anfibólios, a fórmula química geral pode ser organizada por $XYSi_8O_{22}(OH)_2$. Os cátions X, são em geral, grandes, por exemplo, Ca e Na e os cátions Y são pequenos, como Mg, Fe, Al, Mn, Li ou Ti. Sugere-se que ainda na posição X, nos anfibólios, há possibilidade de ser encontrado o K, enquanto a substituição parcial do OH pelo F e O é comum.

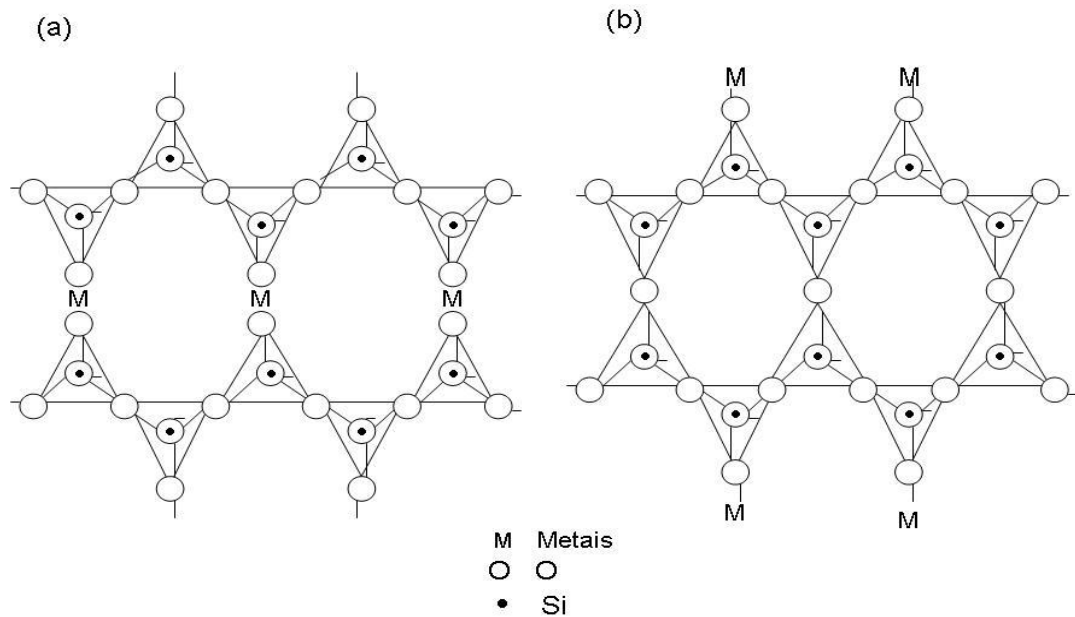


Figura 17 (a, b): Unidade estrutura básica dos Inossilicatos (a – Anfibólios, b – Piroxênios).

Os resultados das análises químicas referentes aos pontos analisados de um dos minerais mais comuns do resíduo, observados na figura 18 a, b, encontram-se sumarizados no Anexo 2. Nota-se que o teor médio de K_2O , nos cristais analisados, apresenta-se na faixa de 8,5%, que corresponde a 3,2% de K, na amostra do resíduo. Entretanto, não se pode afirmar que esse é o teor de potássio disponível no solo, pois essa disponibilidade depende da capacidade de troca iônica e condições químicas para a sua disponibilização na solução do solo.

A presença do magnésio na amostra, com cerca de 21,0% de MgO , é mais expressiva, sendo um macronutriente secundário. Todavia, deve-se ter atenção aos teores de Al_2O_3 , pois o alumínio em excesso é tóxico e pode interferir na disponibilidade de outros nutrientes presentes na amostra.

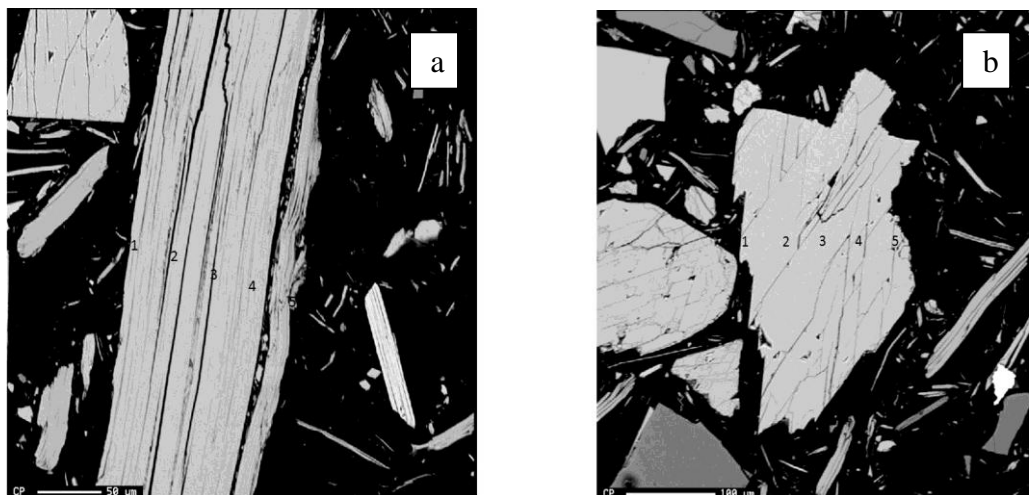


Figura 18 (a, b): Localização dos pontos analisados por MSE (números) em **a:** mica-biotita-flogopita, **b:** anfibólio da amostra do resíduo (Microsonda - JEOL-Modelo JXA – 8900RL WD\ED COMBINED MICROANALYZER).

5.3. Efeito das doses de aplicação, nos atributos químicos do solo incubado.

Na tabela 10, encontram-se os valores referentes às doses de cada tratamento, com o aporte da média aritmética dos valores analisados, para o período de incubação.

Tabela 10: Característica química do solo agrícola incubado por 60 dias com diferentes doses de resíduo mineral.

	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	S	T	t	V	m
		(mg. dm ⁻³)		(cmolc. dm ⁻³)				(cmolc. dm ⁻³)		(%)		
0t/ha	5,50	4,35	108,40	1,10	0,25	0,55	2,60	1,63	4,23	2,18	38,50	25,14
1t/ha	5,50	4,28	119,70	1,03	0,58	0,50	2,68	1,91	4,58	2,41	41,48	20,89
2t/ha	5,30	3,88	109,73	1,10	0,43	0,45	2,90	1,81	4,71	2,26	38,34	20,07
4t/ha	5,30	4,45	142,64	0,90	0,68	0,53	2,68	1,94	4,62	2,47	42,42	21,12
8t/ha	5,30	4,35	98,75	1,25	0,33	1,00	2,42	2,48	3,88	2,28	41,27	19,77
12t/ha	5,40	4,58	109,39	1,35	0,33	0,53	3,20	1,96	5,16	2,48	38,48	21,17
16t/ha	5,20	4,50	99,41	0,83	1,48	0,53	2,45	2,56	5,01	3,08	51,06	17,06
20t/ha	5,20	4,83	269,66	0,95	1,28	0,58	2,53	2,92	5,44	3,49	53,48	16,54
40t/ha	5,40	4,38	206,81	1,00	1,30	0,40	2,68	2,83	5,51	3,23	51,50	9,94

pH em água, fósforo solúvel (P), potássio (K⁺) – Extrator Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025N), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), alumínio (Al³⁺) – Extrator KCl 1mol L⁻¹, Acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC total (T), CTC efetiva (t), saturação por bases (V) e saturação de alumínio (m).

5.3.1. Efeito no pH em água

Na tabela 10, encontram-se os valores referentes às doses aplicadas do resíduo mineral no solo, com as suas respectivas indicações do potencial de hidrogênio - pH em água. O material não proporcionou alteração no sentido de neutralizar o H⁺ formado no solo, pela adição dos insumos de plantio – água + resíduo + solo, nas doses testadas, como se observa tabela 10. Ao contrário do esperado, houve uma ligeira diminuição no pH do solo, indicação de aumento da acidez.

Sugere-se para esses resultados uma acidez provocada pela adição de água, HA <-----> H⁺ (cátion) + A⁻ (ânion), com formação de possíveis ácidos orgânicos.

A não interferência nesse parâmetro químico, no sistema água + resíduo + solo, pode ser explicada pela ausência de componentes básicos para gerar OH⁻ e promover a neutralização.

5.3.2. Efeito no teor de potássio – (K)

O nível crítico teórico desse elemento, no solo, para o bom desenvolvimento das plantas, está em torno de 80 mg. dm^{-3} . Os teores baixos de potássio são encontrados em muitos solos, onde a cultura é explorada comercialmente. Entre os macronutrientes, é um dos elementos extraídos em altas quantidades, e que limita a produção de grãos no cultivo do milho.

Na figura 19, a linha de tendência, em função das doses do resíduo aplicadas ao solo, mostra alterações nos teores do nutriente mineral potássio, em relação ao tratamento testemunho, com valores atingindo níveis superiores a 250 mg. dm^{-3} na dose, próximo a 20 ton. ha^{-1} . A partir desse ponto, pode ser observado uma redução no teor do K^+ , até atingir valores próximo a 200 mg. dm^{-3} , na dose aplicada de 40 ton. ha^{-1} do resíduo.

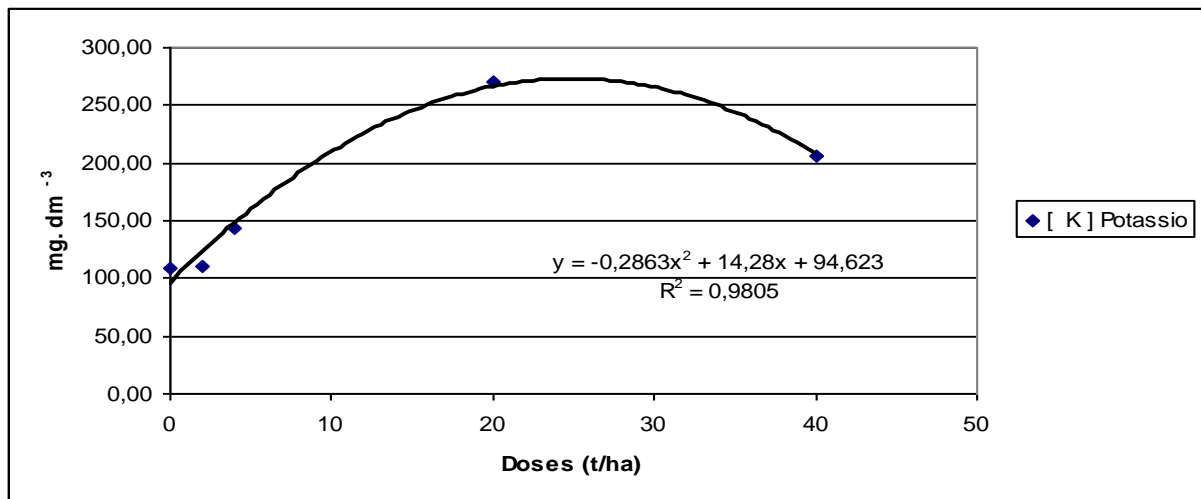


Figura 19: Teor de potássio acumulado no solo incubado (60 dias) com diferentes proporções de resíduo mineral.

A disponibilidade do potássio no solo aumentou, em função da aplicação do pó de rocha, até a dose de 20 ton. ha^{-1} , observada quando analisado pelo método Embrapa, (1999), que usa como extrator químico Mehlich 1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$). A partir desse ponto, ocorreu uma queda na sua disponibilidade no solo, provavelmente, pela associação com ânions existentes no mineral que foram disponibilizados e se associaram ao potássio, formando compostos de menor solubilidade.

O mecanismo de liberação do K, das micas, por dissolução do mineral, é mais complexo do que a simples transformação de mica em minerais expandidos e envolve muitos passos distintos. Vários fatores podem influenciar o processo de dissolução das micas (biotita-

flogopita). Em trabalhos de diversos autores sobre a dissolução das micas é sugerido a formação dos seguintes minerais: hidrobiotita (Acker; Bricker, 1992; Velbel, 1985; Farmer & Wilson, 1970;), caulinita (Malmstrom & Banwart, 1997) e vermiculita (Barshad, 1948; Basset, 1960; Coleman ET AL., 1963; Aitken, 1965; Banfileld & Eggleton, 1988) com consequente disponibilização dos íons K^+ , Mg^{2+} e Fe^{2+} . Para determinação desses minerais formados os autores usaram condições controladas em laboratórios, tendo em vista a complexidade dos ambientes naturais.

Em estudos realizados por Newman & Brown (1966) foram observados mudanças químicas durante as alterações das micas dioctaédricas (muacovita) e trioctaédricas (biotita e flogopita) em temperatura de 40° C, usando como extrator do potássio tetrafenilboro de sódio. Nesse experimento foi observado que a alteração da mica é iniciada pela extração do potássio da camada em troca com os cátions da solução, acompanhada pela oxidação de Fe^{2+} para Fe^{3+} , perda dos cátions octaédricos divalentes, principalmente, o Mg^{2+} perda de OH^- (ou absorção de H^+) e decréscimo da carga negativa da rede. Esses autores constataram que na série biotita-flogopita, o principal constituinte da mica que determina a liberação de potássio é sua quantidade de flúor. Os trabalhos de Martins, et al. (2004) mostram que as micas liberam o potássio de forma mais rápida em soluções ácidas.

5.3.3. Efeito no teor de cálcio – Ca^{2+} e magnésio – Mg^{2+}

O magnésio (Mg) é o oitavo elemento em abundância na crosta terrestre, sendo cerca de 2,5% dela e seu conteúdo nos solos varia de 0,1%, em solos de textura grossa, arenosos, em regiões úmidas; até 4% em solos de textura fina, em regiões áridas ou semiáridas, formados a partir de rochas com alto teor de Mg.

O magnésio do solo origina-se da decomposição de rochas contendo minerais primários, como dolomita e silicatos com Mg ou ainda em minerais de argilas secundárias.

Com a decomposição das rochas primárias e liberação do Mg para a fração trocável do solo, o elemento pode ser lixiviado em regime de intensa pluviosidade, ser absorvido por organismos que não a planta-alvo, adsorvido por partículas minerais ou precipitar como um mineral secundário. Nas regiões agrícolas tropicais, com regimes pluviométricos chegando aos 1500 mm anuais, são necessárias intensas reposições desses elementos no solo.

Para os teores de magnésio - Mg^{2+} analisados no solo incubado do experimento, os níveis alterados variaram, significativamente, com valores de 0,30 $cmol. dm^{-3}$ no solo testemunho, até valores acima de 1,5 $cmol. dm^{-3}$ para a dose do resíduo próximo a 20 $ton.ha^{-1}$,

acréscimo de aproximadamente 400% em relação ao valor inicial no solo, demonstrados na figura 20.

Nas doses mais elevadas observa-se uma pequena queda na concentração do magnésio até aproximadamente $1,3 \text{ cmol. dm}^{-3}$ para a maior dose testada, que foi de 40 ton. ha^{-1} .

O valor correspondente ao acréscimo do Magnésio no solo em maiores proporções pode ser confirmado pela caracterização química do resíduo mineral para esse elemento, que foi de 19,17% (tabela 9), além da sua boa mobilidade em solos tropicais.

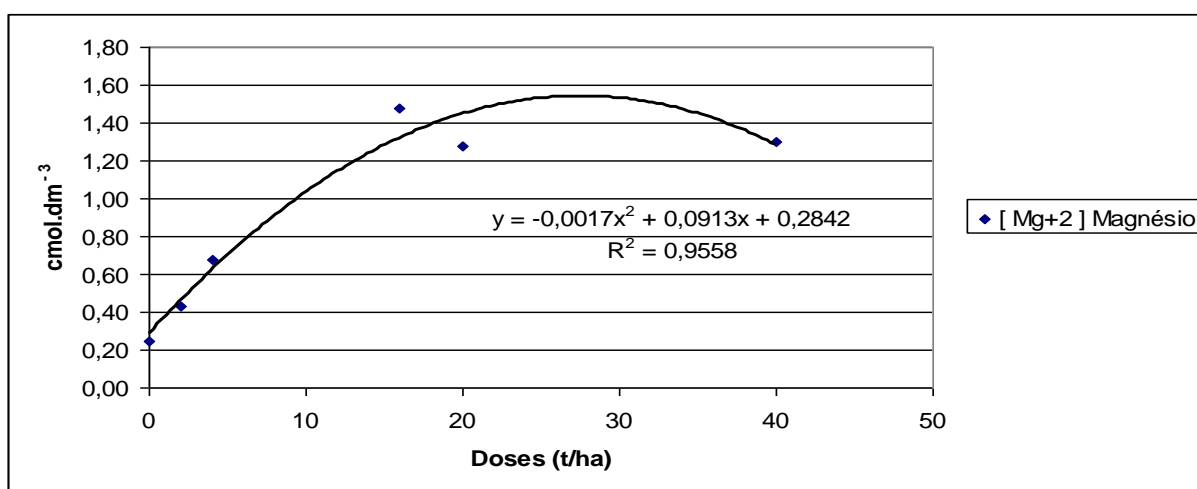


Figura 20: Teor de magnésio acumulado no solo incubado (60 dias) com diferentes proporções de resíduo mineral.

O cálcio é o quinto elemento mais abundante da terra, correspondendo a cerca de 3,5% da massa da crosta terrestre. A remoção pelas culturas e a lixiviação de Ca geram a acidificação do solo, e a deficiência desse elemento geralmente é encontrada em solos ácidos, com níveis menores que 5 mg. L^{-1} de Ca. Assim, é necessário o seu suprimento contínuo.

O efeito no solo para o elemento cálcio, analisado pelo método (Embrapa, 1999), que usa o extrator $\text{KCl } 1 \text{ mol. L}^{-1}$, após uso do resíduo mineral, não se mostrou significativo, a curva que mostra o comportamento do íon cálcio referente às doses do resíduo podem ser observados na tabela 21.

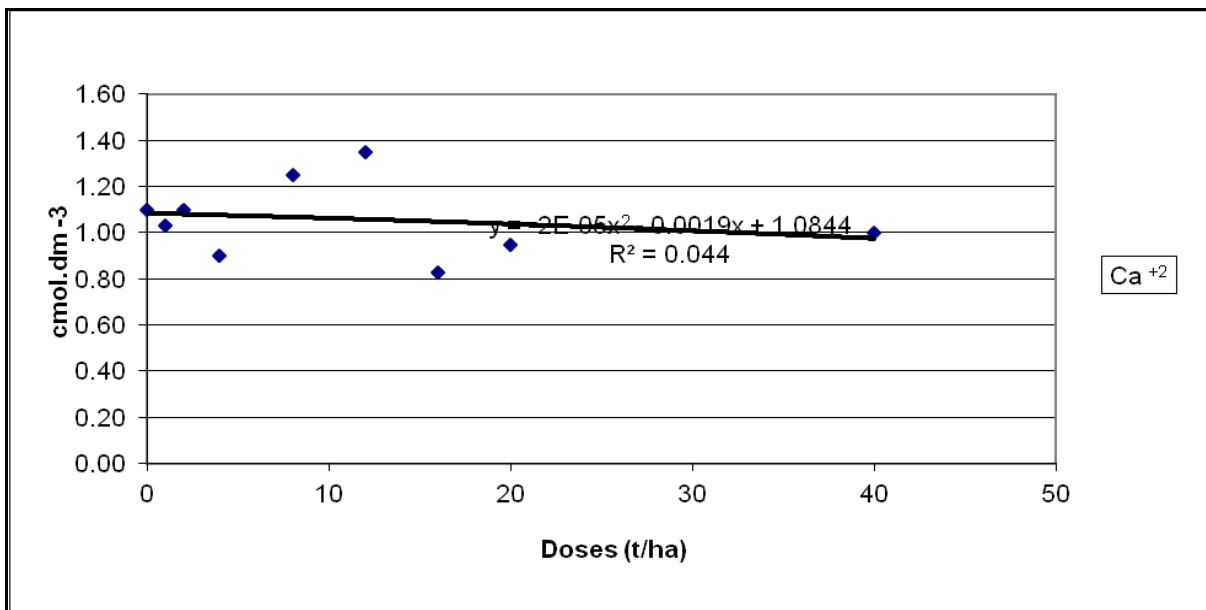


Figura 21: Teor de cálcio acumulado no solo incubado (60 dias) com diferentes proporções de resíduo mineral.

Um dos minerais do grupo dos Inossilicatos que apresenta cálcio do resíduo são os anfibólios, e sua caracterização química está detalhada no anexo 2. O teor total desse elemento no resíduo (4,37%) sugere um baixo aporte de cálcio à solução do solo, uma vez que sua estabilidade em relação aos minerais do grupo dos Filossilicatos é menor. Pode-se inferir que alterações significativas desse elemento no solo não foram observadas, devido à sua baixa concentração no material pesquisado, observado na tabela 9.

Houve, em contrapartida, um decréscimo em relação ao cálcio detectado no solo inicial, vide tabela 8 e 10, sugerindo reações químicas com retenção desse elemento em possíveis compostos formados.

5.3.4. Efeito no grau de saturação por bases – (%V)

Segundo Lopes et al. (2004), o percentual da saturação por bases reflete quantos por cento dos pontos de troca de cátions potencial do complexo coloidal do solo estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas passíveis de troca a pH 7,0 estão ocupados por Ca, Mg, K e, às vezes, Na, em comparação com aqueles ocupados por H e Al.

Esse é um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis, que possuem saturação por bases acima de 50% ($V\% > 50$) de solos com menor fertilidade, que apresentam saturação por bases menor que 50% ($V\% < 50$).

Com as doses crescentes do resíduo aplicadas ao solo, na forma de pó de rocha, foram observados incrementos na saturação por bases até a dose máxima de 40 ton. ha⁻¹. Houve um elevação na saturação por bases com acréscimos variando entre 7 e 34% para as doses mínima -1ton. ha⁻¹ e máxima 40ton. ha⁻¹, que podem se observadas na Figura 22.

A rede cristalina dos minerais do resíduo apresentam elementos químicos, como magnésio e potássio que, a médio/longo prazo pode ionizar-se na solução do solo (Mg²⁺, K⁺), tornando-se nutrientes minerais benéficos às plantas cultivadas.

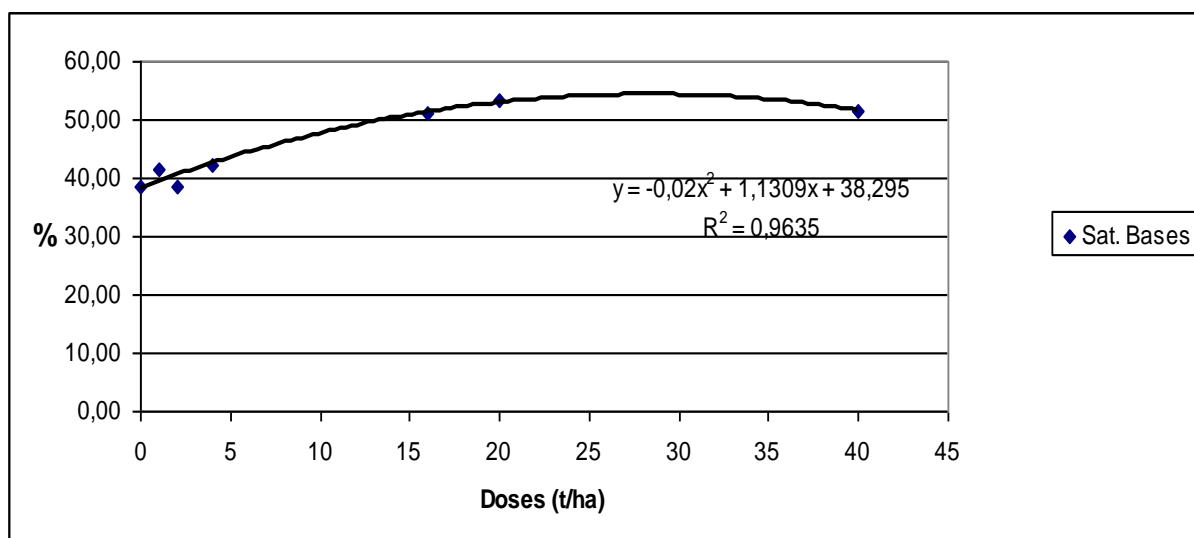


Figura 22: Saturação por bases (V).

5.3.5. Efeito na saturação de alumínio (m)

Segundo estudos realizados por Lopes et al. (2004), o percentual da saturação de alumínio expressa a fração ou quantos por cento da CTC efetiva estão ocupados pela acidez trocável ou Al trocável, refletindo o percentual de cargas negativas do solo, próximo ao pH natural, que está ocupada por Al trocável. Essa é outra forma de expressar a toxidez de alumínio. Em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al trocável em valor absoluto e menores os teores de Ca, Mg e K, configurando-se em uma menor soma de bases e maior percentagem de saturação por alumínio.

O efeito detrimental de altos teores de Al trocável e/ou da alta percentagem de saturação por alumínio, no desenvolvimento e produção de culturas sensíveis a este problema, é fato amplamente comprovado pela pesquisa.

Em relação à saturação de alumínio, demonstrado na figura 23, a aplicação do resíduo mineral promoveu uma redução significativa, com uma diminuição do percentual da ordem de 60%, quando comparada ao solo testemunho, para o tratamento de maior dose aplicada (40ton. ha⁻¹).

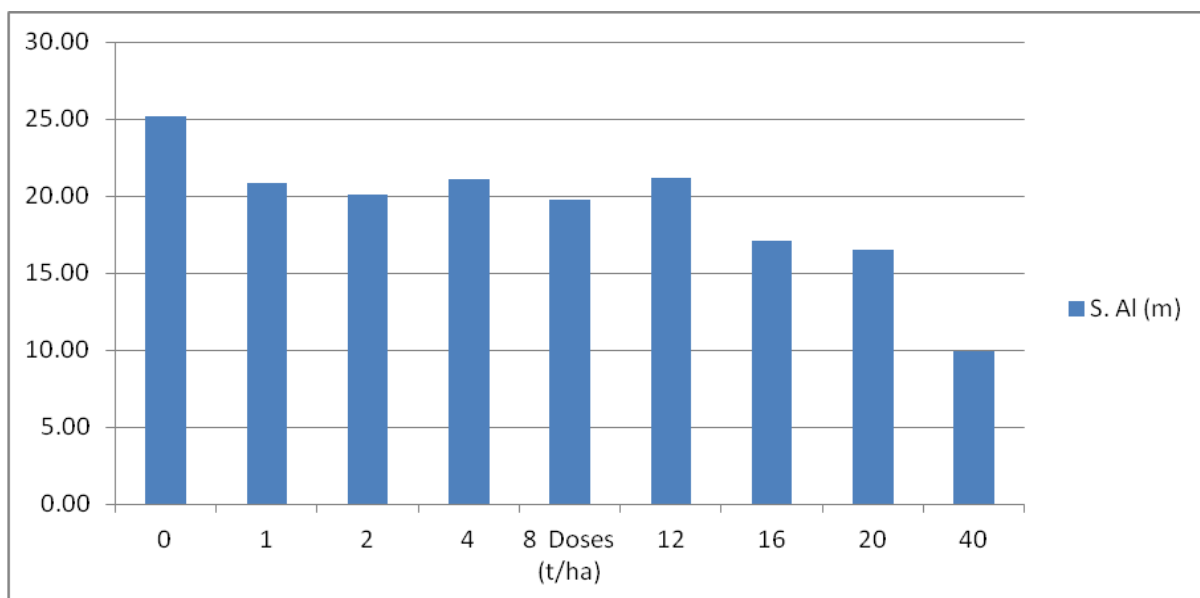


Figura 23: Nível da saturação de alumínio (m).

Sugere-se que esses valores foram obtidos, principalmente, por dois fatores: a redução do teor de alumínio - Al⁺³ trocável do solo, demonstrado na tabela 10 e o aumento da saturação por bases, sobretudo, magnésio e potássio.

5.4. Avaliação da solução lixiviada

A solução lixiviada apresentou, como principais nutrientes minerais ionizáveis, os elementos cálcio e magnésio, após as 72 horas de ensaio. Possivelmente o elemento potássio ionizou-se, uma vez que a análise química de rotina (Embrapa, 1999), que usa como extrator Mehlich 1 (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025N), detectou teores desse nutriente.

Contudo, sua determinação não foi realizada, devido à existência de problemas técnicos no equipamento específico para análise desse elemento. Os teores de magnésio e cálcio lixiviados do sistema (solo + resíduo + água) podem ser observados na figura 24.

Os teores lixiviados para o elemento Ca demonstraram uma expressiva superioridade em relação ao Mg. O cálcio apresentou para a maior dose aplicada ao solo um teor de 7,56 mg. kg⁻¹, com acréscimos no solo da ordem de 24%.

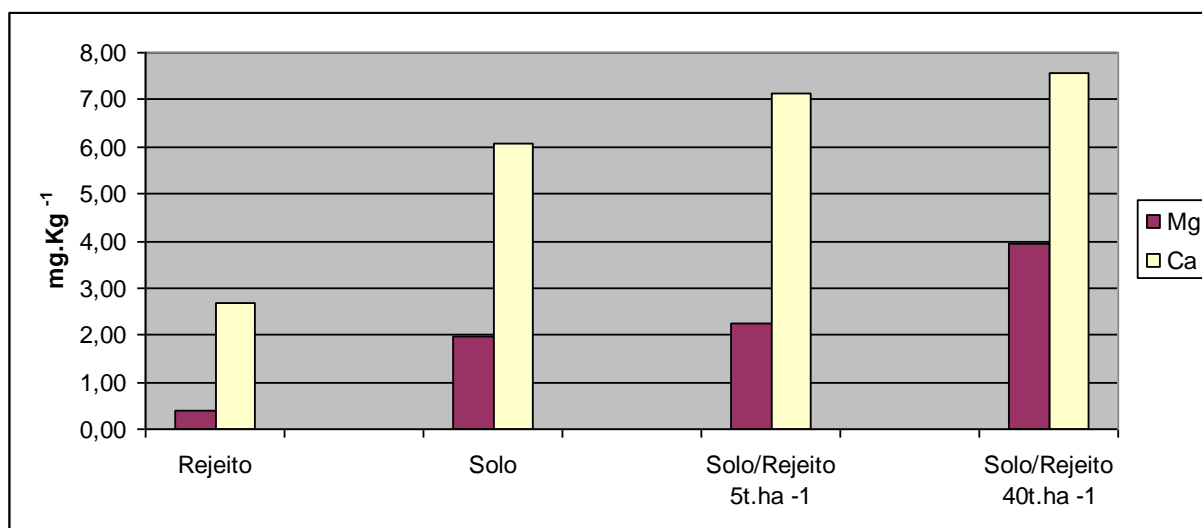


Figura 24: Teor de Mg²⁺ e Ca²⁺ lixiviado.

O resíduo mineral possui micronutrientes, em menor proporção, mas que podem ser disponibilizados para a solução do solo por intervenções biológicas e ação intempérica, aumentando seu efeito residual na disponibilização dos elementos ionizáveis.

5.5. Efeito das diferentes doses de resíduo mineral nos parâmetros fenológicos

Os parâmetros fenológicos matéria seca parte aérea - MSPA, matéria seca peso espiga - MSPE e matéria seca peso grãos - MSPG podem ser correlacionados pelos acréscimos demonstrados para as doses de 5 e 10 toneladas por hectare, observados na tabela 11. Todos demonstraram aumentos significativos para essas doses, com acréscimos variando de 18 a 42%, na produção de MSPA e 41 e 68 % para a MSPE e MSPG, respectivamente, em relação ao tratamento testemunho.

Na produção de matéria seca da espiga – MSPE, as doses de maior resposta ao uso do resíduo mineral foram as de 10 e 40 toneladas por hectare, mas esses valores não foram correspondentes quanto ao desenvolvimento dos grãos, que apresentaram maior produção de matéria seca da produção de grãos – MSPG, nas doses menores, 5 e 10 toneladas por hectare.

Tabela 11: Parâmetros fenológicos do milho Híbrido duplo BR 206, avaliados aos 120 dias após o plantio, em função das diferentes doses de resíduo.

	0 ton. ha⁻¹	5 ton. ha⁻¹	10ton. ha⁻¹	20 ton. ha⁻¹	40ton. ha⁻¹
MSPA	362	428	514	369	448
MSRA	91	76	76	85	110
RA:PA	0,25	0,18	0,15	0,23	0,25
MSPE	85	120	223	85	156
MSPG	47	79	65	47	20

MSPA = Matéria seca parte aérea g/vaso, **MSRA** = Matéria Seca Sistema Radicular g/vaso
RA: PA = Razão Massa da raiz/ Massa da parte aérea, **MAPE** = Matéria seca peso espiga g/vaso, **MSPG** = Matéria seca peso grãos g/vaso.

As parcelas do experimento receberam adubação nitrogenada na mesma quantidade, de acordo com as recomendações para aplicação de fertilizantes descritas em Embrapa, (1999). Todos os tratamentos apresentaram bom vigor vegetativo, mas ficou evidenciado pelos valores de (MSPA) e pela imagem da figura 13 que as doses crescentes do resíduo mineral proporcionaram maior produção de folhas.

A maior dose utilizada no experimento com plantas (40ton. ha⁻¹) proporcionou aumento significativo de MSPA E MSRA, mas essa tendência não foi observada para a produção de MSPE e MSPG.

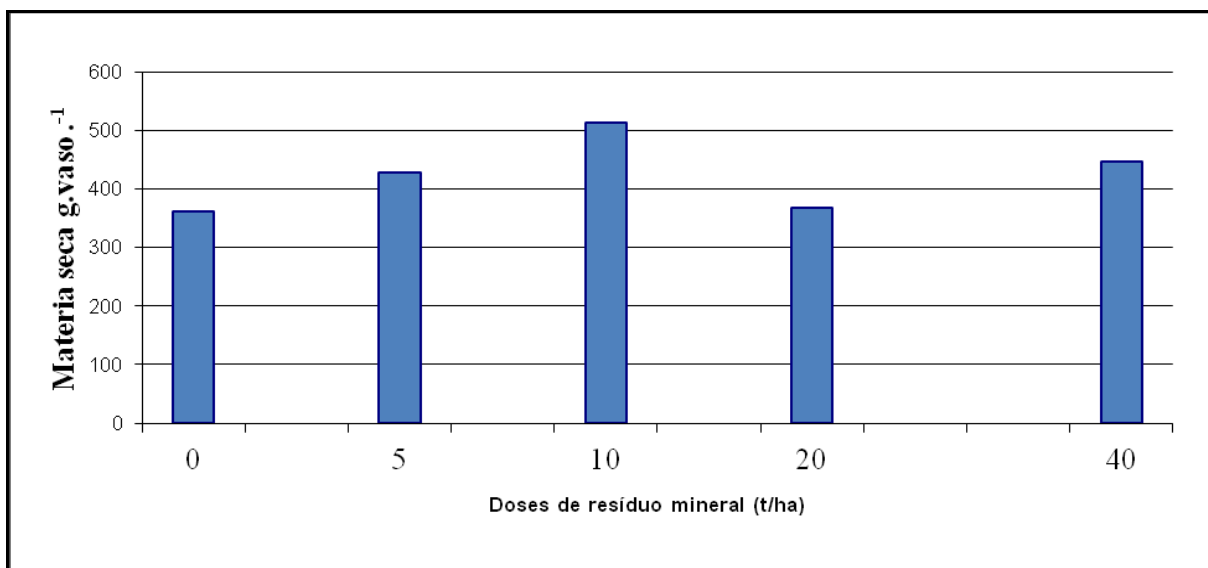


Figura 25: Produção de materia seca parte aérea (MSPA).

Em relação à testemunha, sem uso do pó de rocha, o incremento no valor, em relação à produção de MSPA foi de aproximadamente 152 gramas. vaso⁻¹, ou 42% para a dose de maior eficiência agroquímica.

A partir da aplicação de 20 ton. ha⁻¹ de pó de rocha, ocorreu uma queda na produção da biomassa pelas plantas, indicando provavelmente, a presença elevada de algum componente deletério ou potencialmente tóxico, como o Níquel, presente no resíduo na concentração de 166,75 mg. kg⁻¹, valor próximo do limite máximo permitido para corretivos e condicionantes, que é de 175 mg. kg⁻¹.

Os pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa e de Universidades brasileiras têm observado efeitos baixos a moderados, no desenvolvimento de plantas cultivadas, em solos fertilizados com pó de rochas (biotita xisto, brecha alcalina e ultramáfica) aplicados de forma direta no solo. Porém, Filho et al. (2006) observaram aumento na produção de matéria seca do arroz, após uso de rochas silicáticas potássica. No entanto, em trabalhos realizados por Resende et al. (2005), os valores referentes ao incremento de matéria seca podem ser mascarados em um primeiro cultivo, devido à reserva original de nutrientes dos solos cultivados.



Figura 26: Desenvolvimento milho híbrido duplo BR 206.

Outro fator de grande importância, que se sugere como forma de intervir na disponibilidade dos nutrientes minerais para o solo, foi o desenvolvimento da própria planta, através do processo de absorção e associação com exsudatos liberados pelas raízes. Assim, verifica-se que esse material apresenta características químicas favoráveis ao solo, proporcionando desenvolvimento das plantas de milho até determinada dose.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse trabalho permitem concluir que houve um aumento dos elementos magnésio e potássio na química dos solos agrícolas, com elevação da saturação por bases (V%) e redução do percentual da saturação de alumínio (m).

Nos experimentos com plantas, o resíduo proporcionou melhor produção de matéria seca da parte aérea – MSPA e matéria seca do peso das espigas – MSPE nas doses de 5 e 10 toneladas por hectare. Na produção de MSPA houve acréscimo variando de 18 a 42%. Para a produção de MSPE e MSPG os percentuais observados variarão de 41 a 68%, respectivamente.

O uso do resíduo mineral depositado nos aterros da Mineradora Belmont e garimpo Capoeirana, contendo Biotita-Flogopita-Anfibólio-quartzo-xisto, na forma de pó de rocha, usado diretamente nos solos pode supri-los de minerais que disponibilizam nutrientes necessários aos cultivos agrícolas.

As características químicas do resíduo, aliadas ao seu baixo aporte de Elementos Potencialmente Tóxicos – EPT motivam estudos para monitorar o intemperismo dos minerais presentes nesses materiais em solos por períodos sucessivos de plantio.

A utilização dos resíduos minerais como insumo agrícola, minimiza os problemas ambientais inerentes à mineração da Província Esmeraldífera de Itabira Nova Era - MG, reduzindo o assoreamento dos rios e córregos que fazem drenagem das áreas próximas aos depósitos de resíduo, amenizando a poluição visual e propõe uma alternativa sustentável para esse passivo ambiental.

Novos estudos deverão ser realizados, visando se obter resultados referentes à viabilidade econômica de sua utilização como insumo mineral agrícola alternativo.

7. TRABALHOS FUTUROS

Como os Pós de Rocha ainda não possuem normatização de uso, as perspectivas futuras envolvem gerar mais informações que contribuam cientificamente para sua regulamentação, produzindo informações sobre o comportamento desses materiais no solo relacionados ao uso dos fertilizantes N – P – K convencionais.

As políticas públicas e os incentivos governamentais dirigidos ao setor agrícola têm amenizado as dificuldades, no que se refere à garantia de acesso e abastecimento aos fertilizantes solúveis, já que, segundo dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, mas possui uma produção pouco significativa.

Como o acesso aos fertilizantes solúveis é limitado, devido ao seu elevado custo, em meio aos agricultores familiares, considerando que os preços continuam em ascensão, uma possível solução para esse problema deverá ser o uso de fontes alternativas, capazes de suprir os baixos índices da fertilidade dos solos tropicais, altamente intemperizados.

Assim, a fim de se somarem esforços para solucionar esse problema, pretende-se continuar produzindo informações que contribuam para a sustentabilidade do setor agrícola brasileiro.

Contudo, torna-se importante prosseguir com os testes, principalmente a campo em anos sucessivos, para que seja melhor caracterizada a disponibilidade dos nutrientes minerais contidos nos resíduos no ambiente complexo do solo, por um período maior, bem como investigar a possibilidade de misturas de resíduos gerados por outras jazidas com diferente características geoquímicas, sugerindo produtos mais completos e com garantias químicas satisfatórias aos cultivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – ABNT. Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro. ABNT, 1987. (NBR 10.004).
- Acker, J. G.; Bricker, O. P. The influence of pH on biotite dissolution and alteration kinetics at low temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Oxford, v. 56, n. 8, 3073-3092, 1992.
- Acre, 2004. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. Inventário de resíduos sólidos Industriais do Estado do Acre. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. Rio Branco, 23p.
- Aitken, W. W. S. Na occurrence of phlogopite and its transformation to vermiculite by weathering. *Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society*, London, V. 35, n. 269, p. 151-164, 1965.
- Almeida, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. 7: 349-364.
- Alkmim, F.F.; Brito Neves, B.B.; Alves, J.A.C. 1993. Arcabouço Tectônico do Cráton do São Francisco – Uma Revisão. In: SBG, Simpósio do Cráton do São Francisco, 2, Salvador, Anais, 39-42.
- Alkmim, F.F. & Marshak, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brasil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90: 29-58.
- Amaral A. S.; Defelipo, B. V.; Costa, L. M. da.; Fontes, M. P. F. 1994. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos de acidez e absorção por alfaca em dois solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília-DF, v. 29, n. 9, p. 1351-1358.

- Amaral Sobrinho, N.M.B.; Costa, L.M.; Oliveira, C. & Velloso, A. C. X. 1992. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16:271-276.
- Atta-Aly, M.A. 1999. Effect of nickel addition on the yield and quality of parsley leaves. *Scientia Horticulturae*, v. 82, p. 9-24.
- Banfield, J. F.; Eggleton, R. A. Transmission eletrctron microscope study of biotite weathering. *Clays and Clays Minerals*, Boulder, v. 36, n. 1, p. 47-60, 1988.
- Barshad, I. Vermiculite and its relation to biotite as revealed by base exchange reactions, x-ray analyses, differential thermal curves, and water content. *American Mineralogist*, Washington, DC, v. 33, p. 655-678, 1948.
- Basset, W. A. Role of hydroxyl orientation in mica alterations. *Geological Society of America Bulletin*, New York, v. 71, p. 449-456, 1960.
- Belmont, mineradora LTDA. 2010. Base de dados. Disponível em:
http://www.infomine.com/index/companies/BELMONT_MINERACAO_LTDA.html
Acessado em 17 maio 2011.
- Bilal, E.; Marciano, V.R.P.R.O; Fuzikawa, K.; Correia-Neves, J.M.; Giret, A. 1995. Datação de monazitas do Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira, MG. In: SBG/Núcleo MG, Simp. Geol. Minas Gerais, 8, Diamantina, Boletim, 13: 46-47.
- Blevins, D. G.; Lukaszewski, K. M. 1998. Boron in plant structure and function. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 49, p. 481-500.
- Brasil. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. *Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências*, BRASÍLIA, DF, 16 DEZ. 1980.

- Brasil. decreto nº 4954, 14 de janeiro de 2004. 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. Brasília, DF, 14 JAN. 2004.
- Brasil, 2006. Ministério da Agricultura - Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006. Normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura.
- Brasil, 2006. Instrução Normativa SDA Nº 27, 05 De Junho DE 2006. Publicada no D.O.U do dia 09/06/2006, Nº 110, seção 1, páginas 15 e 16.
- Brasil, 2007. Ministério da Agricultura - Instrução Normativa Nº 28, DE 27 DE JULHO DE 2007. Métodos físico-químicos e físicos oficiais de fertilizantes minerais, orgânicos e organo-minerais e corretivos.
- CETEM, 2009. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. Seminário agrominerais alternativos modo de compatibilidade. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. 39p.
- Coleman, N. T.; Leroux, F. H.; Cady, J. G. Biotite-hydrobiotite-vermiculite ins soils. Nature, London, v. 198, p. 409-410, 1963.
- COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL (CPDS) AGENDA 21, 1992. Conferência Eco-92 ou Rio-92, Rio de Janeiro, Brasil.
- Chemale Jr., F. 1987. Gênese das Rochas Graníticas do tipo Borrachudos. In: SBGg, Cong. Bras. Geol., 1, Porto Alegre, 1987. Anais, 1: 171-186.
- Chemale Jr., F.; Quade, H., Van Schmus, W.R. 1997. Petrography, Geochemistry and Geochronology of the Borrachudo and Santa Bárbara Metagranites, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Zbl. Geol. Palaönt. Teil I. 3-6: 739-750.

- Cheng, C.; Rerkasem, B. 1993. Effects of boron on pollen viability in wheat. *Plant soil*, v. 155/156, p. 313-315.
- CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Banco de dados. Disponível em: <http://www.geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acesso em 10 setembro 2012.
- Dardene, M.A. & Schobbenhaus, C. 2001. *Metalogênese do Brasil*. Ed. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 392 p.
- Delgado, C. E. R. 2007. *Geologia e Petrogênese na Região da Província Esmeraldífera de Itabira, MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. 149p.
- Dorr, J.V.N. & Barbosa, A.L.M. 1963. *Geology and Ore Deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil*. U. S. Geological Survey, Washington, 110 p. (Professional Paper 341-C).
- Dussin, T.M. 1994. *The Borrachudos Suite, Mesoproterozoic A-Type granitic magmatism in the Southeastern São Francisco Craton (SE Brazil)*. In: DUSSIN, T.M. 1994. *Associations Volcano-Plutoniques de l’Espinhaço Meridional (SE-Brésil)*. Orleans, 23-52 (Doctoral Thesis) – Université d’Orleans.
- Dussin, T.M.; Dussin, I.A.; Noce, C.M.; Rossi, P.; Charvet, J. 1997. *Tectonic Setting and Origin of the Mesoproterozoic Borrachudos Granites (MG, Brazil)*. In: SBG, *South-American Symp. On Isotope Geology, Campos do Jordão, Extended Abstracts*, 104-106.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 2006. *Nutrição e adubação do milho*. Circular técnica N° 78. Sete Lagoas - Minas Gerais - Brasil.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 1997. *Serviço nacional de pesquisa e levantamento de solos. Manual de métodos de análise solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 212p.

- Englvild, K. C. 1986. Chlorine-containing natural compounds in higher plants. *Phytochemistry*, v.25, p. 781-791.
- Farmer, V. C.; Wilson, M. J. Experimental conversion of biotite to hydrobiotite. *Nature*, London, v. 226, p. 841-842, 1970.
- Fernandes, M.L.S.; Pedrosa Soares, A.C.; Noce, C.M.; Widemann, C.; Correia Neves, J.M. 2000. U-Pb Geochronology of the Borrachudos Suíte: Evidence of Brasiliano Tectonism Recorded by Late Paleoproterozoic Anorogenic Granites (Araçuaí Belt, Minas Gerais, Brazil). 31 Int. Cong., Rio de Janeiro. CD-ROM 2000.
- Fernandez, J. A. N. 2004. Integração de Dados Geológicos e Geofísicos para a Seleção de Alvos para Prospecção de Esmeralda na Folha Itabira, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, UFOP, Ouro Preto, 200 p.
- Figueiredo, M. G.; Santos, M. S.; Ferrari, L. R. 2000. Estação de tratamentos de efluentes das indústrias têxteis: otimização através da implantação de medidas de prevenção à poluição. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais 27p, Porto Alegre.
- Filho, M. P. B.; Fageria, N. K.; Santos, D. F.; Couto P. A.; 2006. Aplicação de rocha silicática como fonte alternativa de potássio para a cultura do arroz de terras altas. *Espaço & Geografia*, Brasília, Vol.9, N° 1, 63:84.
- Geominas, 1996. Informações e dados geográficos: Banco de dados. Disponível em: <<http://www.geominas.mg.gov.br>>. Acessado em 8 maio 2011.
- Goldich, S. S. 1938. A study in rock weathering. *J.Geol.*, 46:17-48.
- Grossi-Sad, J.H.; Chiod Filho, C.; Santos, J.F.; Magalhães, J.M.M.; CARELOS, P.M. 1990. Duas Suítes Graníticas do Bordo Sudeste do Cráton Sanfranciscano em Minas Gerais: Petroquímica e Potencial Metalogenético. In: Cong. Bras. Geol., 36, Natal, 1990, Anais... Natal, SBG. 4: 175-186. Guimarães, M.L.V. 1992. Petrogênese das Rochas Precambrianas da Região de Itabira-Morro do Pilar, Borda SE da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, IG-USP, São Paulo, 138 p.

- Iwata, S.A. 2000. Aspectos Genéticos e Características Mineralógicas do Crisoberilo das Lavras de Esmeraldas de Ferros e Hematita – MG. Tese de Doutorado, IG-USP, São Paulo, 131 p.
- Kierczak J., Neel C., Aleksander-Kwaterczak U., Helios-Rybica E., Bril H. Puziewicz J. 2008. Solid speciation and mobility of potentially toxic elements from natural and contaminated soils: A combined approach. *Chemosphere*. ELSEVIER, 777: 776 – 784.
- Lavado, R. S.; Porcelli, C. A.; Alvarez, R. 2001. Nutrient and heavy metal concentration and distribution in corn, soybean and wheat as affected by different tillage systems in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*, v. 62 55-60.
- Leonardos, O. H.; Fyfe, W.S.; Kromberg, B.I. 1976. Rochagem: método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. In: 29º Congresso Brasileiro de Geologia, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 137-145.
- Lopes, A. S; Guilherme, L.R.G. 2004. Uso Eficiente de Fertilizantes e Corretivos Agrícolas: aspectos agrônômicos - Boletim técnico N 4. ANDA, Associação Nacional para difusão de adubos, São Paulo – SP. 70p.
- Matias, P.H.; Dussin, T.M.N.; Dussin, I.A.N.; Brunetto, W. 1997. Caracterização Estrutural Preliminar da Região de Capoeirana, Nova Era – MG. In: Simp. Geol. Minas Gerais, 9, BH (MG). Anais ... BH, SBG. Bol. 14, p. 68-69.
- Machado, G. A. A. 1994. Geologia da região e aspectos genéticos das jazidas de esmeraldas de Capoeirana e Belmont, Nova Era - Itabira, Minas Gerais. 1994. Dissertação de Mestrado em Geociências (mineralogia e Petrologia) - Universidade de São Paulo, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
- Machado, G.A.A. & Schorscher, H.D. 1997. Geologia da Região e Aspectos Genéticos das Jazidas de Esmeralda de Capoeirana e Belmont, MG. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 9, Ouro Preto, 1997. Anais. SBG, Núcleo Minas Gerais. (14): 47-49.

- Machado, G.A.A.; Schorscher, H.D.; Silva, A.M.L. 1998. Termogravimetria (TG) e Análise Térmica Diferencial (DTA) em Esmeraldas das Jazidas de Capoeirana e Belmont (MG). Revista da Associação Brasileira de Química.
- Malmstrom, M.; Banwart, S. Biotite dissolution at 25° C: The pH dependence rate and stoichiometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Oxford, v. 61, p. 2779-2799, 1997.
- Marciano, V.R.P.R.; Correa-Neves, J.M.; Svisero, D.P. 1992. Pegmatitos do Bordo do Cráton Sanfranciscano em Minas Gerais. Localização, características morfo-estruturais e mineralogia. *Rev. Esc. Minas. Ouro Preto*, 45(1/2): 199-200.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London, New York: Academic Press. 889 p.
- Martins, J. C. Martins, E. S. Reatto, A. Revisão de Intemperismo das micas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. (Documentos/Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111;n. 123), 2004. 48p.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 1987. Principles of plant nutrition. Worblaufen-Bern: International Potash Institute. 687p.
- Moreno, R. A. Nei, F. L. Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3. Ed., atual. Ampl. – Viçosa, MG, Ed. UFV, 2009. 486p.
- Morteani, G.; Preinfalk, C.; Horn, A.H. 2000. Classification and mineralization potential of the Pegmatites of the Eastern Brazilian Pegmatite Province. *Mineralium Deposita*. 35: 638-655.
- Mukhopadhyay, M. J.; Sharma, 1991. A. Manganese in cell metabolism of higher plants. *The botanical Review*, v.57, p.117-149.

- Naumoff, A. F.; Peres, C. S. 2000. Reciclagem de matéria orgânica. In: D ALMEIDA, M. L. O; VILHENA, A. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE.
- Netto, C.; Araújo, M.C.; Pinto, C.P.; Drumond, J.B.V. 1998. Projeto Leste: Cadastramento de recursos minerais da Província Pegmatítica Oriental. Pegmatitos – Vol. I. Belo Horizonte: SME/COMIG/MMECPRM.
- Newman, A. C. D.; Brown, G. Chemical changes during the alteration of micas. *Clay Minerals*, London, v. 6, p. 297-309, 1966.
- Osterroht, M. 2003. Rochagem: Pra quê? In: Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas. *Revista Agroecologia Hoje*, ano IV, n. 20, ago/set.
- Padilha, A. V.; Vieira, V.S.; Bruno, E. M. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil; Carta Geológica, Carta Metalogenética/Previsional - Escala 1:100.000 (Folha SE.23-Z-D-IV Itabira) Estado de Minas Gerais. Brasília, DNPM/CPRM. Mapa e texto explicativo.
- Palácios, G.; Gómez, I., Carbonell-Barrachina, A.; Pedreno, J. N.; Mataix, J. 1998. Effect of nikel concentration on tomato plant nutrition and dry mater yield. *Journal of Plant Nutrition*, v. 21, p. 2179-2191.
- Pereira, H. S.; Korndorfer, G. H.; Moura, W. F.; Corrêa, G. F. 2003. Extratores de silício disponível em escórias e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:265-274.
- Peres, G. G.; Alkmim, F. F.; Jordt-Evangelista, H. 2004. The Southern Araçuaí Belt and the Dom Silvério Group: Geologic Architecture and Tectonic Significance. (Part A). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(4): 771-790.
- Prado, R. M. & Fernandes, F. M. 2000. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. *Scientia Agrícola*, Piracicaba-SP, v.57, n. 4, p. 739-744, out./dez.

- Prado R. M.; Fernandes, F. M. & Natale, W. 2003. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 287-296.
- Prado R. M.; Natale, W.; Fernandes, F. M.; Corrêa, M. C. M. 2004. Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:197-205.
- Preinfalk, C.; Kostitsyn, Y.; Morteani, G. 2002. The pegmatites of the Nova Era-Itabira-Ferros pegmatite district and the emerald mineralisation of Capoeirana and Belmont (Minas Gerais, Brazil): geochemistry and Rb-Sr dating. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 867-887.
- Raghothama, H. G. 1999. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology*, v.50, p. 665-693.
- Resende, A. V.; Machado, C. T. T.; Martins, E. S.; Sobrinho, D. A. S.; Nascimento, M. T.; Faleiro, A. S. G.; Linhares, N. W.; Souza, A. L. & Corazza, E. J. 2005. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I Respostas da soja e do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2005, Recife. Anais... Recife: UFRPE/SBCS, (CD-ROM).
- Rebertus, R. A.; Weed, S. B. & Buol, S. W. Transformations of biotite to kaolinite during saprolite-soil weathering. *Soil Sci Soc. Am J.*, 50:810-819, 1986.
- Resende A. V., Machado C. T. T., Martins E. S., Nascimento M. T., Sena M. C., Silva L. C. R., Linhares N. W. 2006. Rochas moídas como fonte de potássio para o milho em solo de cerrado. *Planaltina – DF. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento/Embrapa cerrados*, 20p.
- Ribeiro-Althoff A.M.; Cheilitz, A.; Giuliani, G.; Férand, G.; Zimmermann, J.L; Barbosa C.G.; Robert, P. 1996. Datações K-Ar e $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ de Mineralização de Esmeralda do Brasil. In: Congresso Brasileiro Geologia, 39. Salvador, 1996. Anais... Salvador, SBG. V.7, p. 324-328.

- Ribeiro-Althoff A.M.; Cheilitz, A.; Giuliani, G.; Férand, G.; Barbosa, C.G.; Camacho, G.; Zimmermann, J.L. 1997. 40 Ar/39Ar and K-Ar Geochronological Evidence for Two Periods (~2 Ga and 650 to 500 Ma) of Emerald Formation in Brazil. *International Geology Review*. 39: 924-937.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Álvares, V. H. 1999. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais, Viçosa, MG. 359p.
- Schachtman, D. P.; Reid, R.J.; Ayling, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, v.116, p.447-453.
- Schorscher, H.D. 1979. Evolução Geotectônica e Petrogenética do Embasamento Arqueano do Quadrilátero Ferrífero. *Academia Brasileira de Ciências*, 51(4): 767-768.
- Schorscher, H.D. 1991. Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional. In: CONG. BRAS. GEOQ., 3, São Paulo, 1991. Guia de Excursão. São Paulo, SBGq/Sociedade de Geologia de Portugal/IGC-USP, p. 37-87.
- Silva, A. A. S. 2009. Caracterização de Flogopitito da Bahia para Uso Como Fertilizante Alternativo de Potássio. 97p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Química Inorgânica, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).
- Souza, J. L. 1988. Mineralogia e Geologia da Esmeralda da Jazida de Itabira - Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, IG-USP, São Paulo, 192 p.
- Souza, J.L. 1990. Mineralogia e Geologia da Esmeralda da Jazida de Itabira, MG. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*. 43(2): 31-40.
- Souza, D.M.G., Miranda, L.N. e Oliveira, S.A. 2007. Acidez do solo e a sua correção. In: *Fertilidade do Solo*, Novais, R.S. et al (Eds), 1ª edição, Viçosa, Minas Gerais, p.205-274.

- Suelter, C. H. 1970. Enzymes activated by monovalent cations. *Science*, v. 168, p. 789-795.
- Tiller, K.G. 1989. Heavy metals in soils and their environmental significance. In: *Advances in Soil Science*. New York: Springer-Verlag. v.9, p.113-114.
- Theodoro, S. C. H.; Leonardos, O. H.; Dubois, A. M. 2002. Rochagem e Compostagem: uma maneira ambientalmente correta de recuperar e fertilizar áreas degradadas. In: THEODORO, S. M. C. H. (org.). *Conflitos e Uso Sustentável dos Recursos Naturais*. 1. Ed. Rio de Janeiro.
- USEPA. **Method 3051 A**. Base de dados. 1998b. Disponível em:
<http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf> . Acesso em: 10 setembro 2011.
- Velbel, M. A. Geochemical mass balances and weathering rates in forested watersheds of southern Blue Ridge. *American Journal of Science*, New Haven, v. 285, n. 10, p. 904-930, 1985.
- Veloso, C. A. C.; Borges, A. L.; Muniz, A. S.; Veigas, I. A. de J. M. 1992. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba - SP, 49(1):123-128.
- Viana, D.J. 2004. *Geologia e Petrogênese da Jazida de Esmeralda de Piteiras, MG*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, UFOP, Ouro Preto, 220 p.
- White, P. J.; Broadley, M. R. 2001. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany*, v.88, p. 967-988.

Anexos:

Anexo 1

AcmeLabs Analytical Laboratories - LTDA

Elemento	Al₂O₃	CaO	Cr₂O₃	Fe₂O₃	K₂O	MgO	MnO	Na₂O	P₂O₅	SiO₂	SUM	TiO₂	TOT/C	TOT/S
Unidade	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
LD	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	0,01	0,02	0,02
Concentração	9,27	4,37	0,30	9,79	3,14	19,15	0,16	0,80	0,02	50,25	99,67	0,26	0,13	<0,02
Elemento	Ba	Ce	Co	Cs	Dy	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd
Unidade	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
LD	1,00	0,10	0,20	0,10	0,05	0,02	0,50	0,05	0,10	0,02	0,10	0,01	0,10	0,30
Concentração	87,50	6,55	78,55	46,70	2,25	0,28	14,65	1,29	0,55	0,56	3,15	0,36	8,25	3,50
Elemento	Pr	Sm	Ba	Sr	Ta	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	Ag
Unidade	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	PPM
LD=Limite de Detecção	0,02	0,05	0,07	0,50	0,10	0,20	0,01	0,10	8,00	0,50	0,10	0,05	0,10	0,10
Concentração	0,84	1,10	87,6	3,45	0,85	0,90	0,31	0,60	127,00	104,30	16,35	<0,10	<0,50	<0,50
Elemento	As	Bi	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Se	Tl	Zn			
Unidade	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			
LD	0,50	0,10	0,10	0,10	0,01	0,10	0,10	0,10	0,50	0,10	1,00			
Concentração	<0,50	<0,10	<0,10	4,40	<0,01	166,75	5,20	<0,10	<0,5	5,10	107,00			

LD= Limite de Detecção

Anexo 2

a. Mica

Nº	Na2O	Cr2O3	K2O	MgO	FeO	CaO	Al2O3	TiO2	SiO2	MnO	Total
1	0,46	0,27	8,53	21,23	8,82	0,03	14,30	0,19	43,07	0,10	96,99
2	0,49	0,19	8,73	21,27	9,23	0,03	14,25	0,19	42,72	0,06	97,14
3	0,43	0,14	8,03	19,70	8,65	1,00	13,24	0,17	40,18	0,05	90,57
4	0,45	0,18	8,82	21,21	8,89	0,02	14,20	0,13	42,81	0,01	96,70
5	0,46	0,13	8,21	21,43	8,98	0,03	14,25	0,16	42,34	0,06	96,05

b. Anfibólio

Nº	Na2O	Cr2O3	K2O	MgO	FeO	CaO	Al2O3	TiO2	SiO2	MnO	Total
1	1,31	0,43	0,38	16,71	9,44	11,96	7,81	0,18	50,29	0,26	98,76
2	1,32	0,33	0,29	16,81	9,24	11,95	7,40	0,14	50,78	0,20	98,46
3	1,25	0,36	0,32	16,67	9,24	11,82	7,03	0,13	48,39	0,25	95,44
4	1,27	0,41	0,27	17,23	9,37	12,06	6,85	0,13	51,30	0,32	99,21
5	1,21	0,22	0,30	16,96	9,11	11,83	6,74	0,14	51,41	0,28	98,20

Anexo 3

Laboratório NGqA – IGC UFMG, (2011)

Amostra	Mg	Al	Ca	Cr	Fe	Co	Cu	Cd	Ti	Mn	Ni	Zn	Ba	Pb
	mg/L													
LD	0,0018	0,0518	0,0095	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
Branco pH 5,6	0,0712	0,0518	1,6860	0,0055	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0946	0,0070	0,0043
Diluição x 10														
R 3H	15,7780	0,0518	89,640	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
R 24H	0,5508	0,0518	39,840	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
R 48H	0,2348	0,0518	0,0095	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
R 72H	0,2038	0,0518	0,0095	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 3H	29,478	0,0518	81,2400	0,0070	0,0600	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0043
S2 24H	148,388	0,0518	465,1400	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0043
S2 48H	10,448	0,0518	32,8600	0,0070	0,7700	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0043
S2 72H	10,438	0,0518	32,890	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0043
S2 R 0,25 3H 5t/ha	101,588	0,0518	310,440	0,0070	0,1400	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 R 0,25 24H 5t/ha	13,138	34,230	21,170	0,0070	24,710	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 R 0,25 48H 5t/ha	0,5618	41,970	0,0095	0,0070	29,210	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 R 0,25 72H 5t/ha	0,8668	0,0518	53,040	0,0070	0,2370	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 R2 3H 40t/ha	65,488	44,040	146,840	0,0070	26,680	0,0051	0,0024	0,0026	0,0590	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 R2 24H 40t/ha	17,508	48,360	0,4020	0,0070	31,560	0,0051	0,0024	0,0026	0,0520	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 R2 48H 40t/ha	0,4458	0,0518	0,0095	0,0070	0,0033	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373
S2 R2 72H 40t/ha	0,4778	0,9500	0,0095	0,0070	0,6870	0,0051	0,0024	0,0026	0,0038	0,0086	0,0271	0,0037	0,1209	0,0373

Anexo 4

Laboratório FAAG – Univale, (2011).

60 dias	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	S	CTC a pH 7 T	CTC efetiva t	Sat. Bases (V)	Sat. Al (m)
Incubado		mg.dm ⁻³		Cmolc.dm ⁻³						%		
INICIAL	6,20	13,9	143,65	1,5	0,6	0,3	4,5	2,47	6,97	2,77	35,44	10,83
0ton	5,45	4,35	108,40	1,10	0,25	0,55	2,60	1,63	4,23	2,18	38,50	25,14
1ton	5,48	4,28	119,70	1,03	0,58	0,50	2,68	1,91	4,58	2,41	41,48	20,89
2ton	5,28	3,88	109,73	1,10	0,43	0,45	2,90	1,81	4,71	2,26	38,34	20,07
4ton	5,33	4,45	142,64	0,90	0,68	0,53	2,68	1,94	4,62	2,47	42,12	21,12
8ton	5,33	4,35	98,75	1,25	0,33	1,00	2,42	2,48	3,88	12,14	41,27	19,77
12ton	5,35	4,58	109,39	1,35	0,33	0,53	3,20	1,96	5,16	2,48	38,48	21,17
16ton	5,15	4,50	99,41	0,83	1,48	0,53	2,45	2,56	5,01	3,08	51,06	17,06
20ton	5,20	4,83	269,66	0,95	1,28	0,58	2,53	2,92	5,44	3,49	53,48	16,54
40ton	5,35	5,38	206,81	1,00	1,3	0,40	2,68	2,83	5,51	3,23	51,50	9,94

Níveis utilizados pelo laboratório:

Cálcio trocável	Baixo (0 – 1,5)	Médio (1,6 - 4,0)	Alto (>4,0)
Magnésio trocável	Baixo (0 – 0,5)	Médio (0,6 - 1,0)	Alto (>1,0)
Alumínio trocável	Baixo (0 – 0,3)	Médio (0,4 - 1,0)	Alto (>1,0)
Acidez potencial	Baixo (0 – 2,5)	Médio (2,6 - 5,0)	Alto (>5,0)
Potássio disponível	Baixo (0 – 45)	Médio (46 - 80)	Alto (>80)
pH em água	Acidez elevada <5,0	Acidez média 5,0 – 5,9	Acidez fraca 6,0 – 6,9