CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ
ENGENHARIA DE MINAS

MILENA TEIXEIRA RIBEIRO

CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DO PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS

ARAXÁ-MG
2022

MILENA TEIXEIRA RIBEIRO

CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DO PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Leandro Henrique Santos

Coorientador: Prof. Diogo Aristóteles Rodrigues Gonçalves

ARAXÁ-MG

2022

MILENA TEIXEIRA RIBEIRO

CARACTERIZAÇÃO E APROVEITAMENTO DO PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Data de Defesa: Araxá, 14 de julho de 2022.

Presidente e Orientador: Leandro Henrique Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Coorientador: Diogo Aristóteles Rodrigues Gonçalves
Centro Universitário do Planalto de Araxá - Uniaraxá

Membro Titular: Alexander Martin Silveira Gimenez
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

Membro Titular: Fábio de São José
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

DEDICATÓRIA

DEDICO ESSE TRABALHO

Ao Fábio da Roza Almeida que foi responsável pelo tema, sempre esteve presente e disposto a me ajudar quando necessário. Amo você.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas bênçãos em minha vida, por me proteger e me guiar durante todos esses anos.

Em seguida, agradeço à minha família: Marina, Caio, Luana, Kauã, Léo, Jean e minha madrinha Renata, sem vocês seria impossível chegar até aqui, pois vibraram com cada conquista e sempre estiveram em oração.

Aos meus amigos de turma e especialmente: Amanda, Bárbara, Daiane, Guilherme, Hênila, Larissa e Naim, vocês são extremamente importantes, pois sempre me apoiaram, dedicaram seu tempo para me ajudar com os estudos e nunca me deixaram desistir.

Em especial, meus agradecimentos ao Fábio da Roza, que foi o responsável pelo tema desse trabalho de conclusão de curso. Você sempre esteve presente me incentivando na faculdade, me ajudando a crescer e sou muito grata por tudo.

Aos professores por todos os conhecimentos e conselhos durante esses anos.

À Mineradora Santa Helena, por disponibilizar as amostras de pó de rocha utilizadas neste trabalho.

À família Roza por todo incentivo e por sempre estarem torcendo pelo meu sucesso. Vocês são muito especiais para mim.

Ao meu orientador Leandro Henrique e meu coorientador Diogo Aristóteles por toda ajuda e apoio durante esse tempo. Obrigada por estarem sempre disponíveis e dispostos a me ajudar da melhor forma possível.

E por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram diretamente e indiretamente pra esse momento chegar!

“Não to mandei eu? Sê forte e corajoso; não temas, nem te espantes, porque o Senhor, teu Deus, é contigo por onde quer que andares.”

JOSUÉ 1:9

RESUMO

Atualmente, com a exaustão dos recursos não-renováveis, as pessoas estão cada vez mais preocupadas com a proteção ambiental e desenvolvimento sustentável. Portanto, atenção especial tem sido dada à destinação dos resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais e urbanas. Isso decorre do fato de que o aproveitamento dos rejeitos, através de estudos capazes de detectar suas potencialidades e viabilizar sua seleção preliminar, é encarado hoje como atividade complementar, que pode contribuir para diversificação dos produtos, diminuição dos custos finais, além de resultar em matérias-primas alternativas para uma série de setores industriais. O pó de rocha é o principal resíduo das operações de britagem e corte de rochas na indústria mineral voltada para agregados de construção civil. Nesse sentido, faz-se necessário uma busca por alternativas viáveis para seu aproveitamento. Uma das alternativas para a aplicação do pó de rocha é a remineralização do solo. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de alimentos, seguindo em expansão e gerando desafios para o suprimento de fertilizantes para atender a demanda necessária em complexos agrícolas por parte da indústria nacional desse insumo. Tal cenário proporciona alta dependência internacional. Diante da situação apresentada, a utilização de pó de rocha em sistemas de produção agrícola constitui-se numa alternativa altamente interessante do ponto de vista econômico e ambiental. O presente trabalho é voltado fundamentalmente para o estudo da avaliação química-ambiental de resíduo sólido de pó de rocha granítica proveniente da Mineradora Santa Helena Mineração (Ibiá/MG) como remineralizador de solo. O desenvolvimento do trabalho foi estruturado em etapas, onde a primeira consistiu na preparação do pó de rocha em duas granulometrias (grossa e fina) e sua caracterização física, química e mineralógica. Já na segunda etapa, foi realizado o plantio de alface em 44 vasos e foi aplicado o pó de rocha em condições granulométricas e dosagens distintas (4 níveis). Para avaliar o desempenho do pó de rocha na presença de matéria orgânica, foi realizado o plantio de 4 vasos com 400g de pó de rocha e húmus e 4 vasos somente com húmus. Como referência, foi realizado o ensaio sem a utilização do pó de rocha. Os resultados demonstraram a eficiência do pó de rocha granítico como remineralizador de solo. A melhor condição para o desenvolvimento das alfaces foi com pó de rocha fino sendo potencializado com a combinação de húmus.

Palavras-chave: Rochagem. Rejeito. Pó de rocha. Remineralizador.

ABSTRACT

Currently, with the depletion of non-renewable resources, people are increasingly concerned about environmental protection and sustainable development. Therefore, special attention has been given to the disposal of solid waste generated by industrial and urban activities. This stems from the fact that the use of tailings, through studies capable of detecting their potential and making their preliminary selection feasible, is seen today as a complementary activity, which can contribute to the diversification of products, reduction of final costs, in addition to resulting in materials alternative raw materials for a number of industrial sectors. Rock dust is the main residue from rock crushing and cutting operations in the mineral industry focused on civil construction aggregates. In this sense, it is necessary to search for viable alternatives for its use. One of the alternatives for the application of rock dust is the remineralization of the soil. Brazil is the fourth largest food producer in the world, continuing to expand and creating challenges for the supply of fertilizers to meet the necessary demand in agricultural complexes by the national industry of this input. Such a scenario provides high international dependence. Given the situation presented, the use of rock dust in agricultural production systems constitutes a highly interesting alternative from an economic and environmental point of view. The present work is fundamentally focused on the study of the chemical-environmental evaluation of solid residue of granitic rock dust from mining company Santa Helena Mineração (Ibiá/MG) as a soil remineralizer. The development of the work was structured in stages, where the first consisted of preparing the rock powder in two granulometries (coarse and fine) and its physical, chemical and mineralogical characterization. In the second stage, lettuce was planted in 44 pots and the rock powder was applied in different granulometric conditions and dosages (4 levels). To evaluate the performance of rock dust in the presence of organic matter, 4 pots with 400g of rock dust and humus and 4 pots with only humus were planted. As a reference, the test was performed without the use of rock dust. The results demonstrated the efficiency of granitic rock dust as a soil remineralizer. The best condition for the development of lettuces was with fine rock dust being enhanced with the combination of humus.

Keywords: Rocking. Reject. Rock dust. Remineralizer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Segmentação do Consumo de Brita no Brasil. 17
Figura 2 - Fluxograma Processo Produtivo da Mineradora Santa Helena. 18
Figura 3 - Secagem do Pó de Rocha. 24
Figura 4 – Homogeneização realizada em a) Pilha Cônica e b) Pilha Alongada. 25
Figura 5 - Processo de Peneiramento do Pó de Rocha. 25
Figura 6 - Peneiras Utilizadas no Peneiramento do Pó de Rocha. 26
Figura 7 - Preparação do Solo. 27
Figura 8 - Etapas do Plantio das Mudas de Alface. 30
Figura 9 - Máquina de Fusão Elétrica *e1 - Nieka™*. 31
Figura 10 - *ARL™ PERFORM'X - Thermo Scientific™*. 32
Figura 11 – Difratograma Obtido pela Análise do DRX. Fonte: Próprio Autor. 33
Figura 12 - Crescimento de Broto nas Mudas de Alfaces. 36
Figura 13 - Comparando a matriz com a muda que contém Húmus + Pó de Rocha Fino. 37
Figura 14 - Comparando a matriz com a muda que contém 800 g de Pó de Rocha Fino. 37
Figura 15 - Comparando a matriz com a muda que contém 800 g de Pó de Rocha Grosso. ... 38
Figura 16 - Comparando a matriz com a muda que contém 400 g de Pó de Rocha Fino. 38
Figura 17 - Comparando a matriz com a muda que contém 400 g de Pó de Rocha Grosso. ... 39
Figura 18 - Comparando a matriz com a muda que contém 200 g de Pó de Rocha Fino. 39
Figura 19 - Comparando a matriz com a muda que contém 200 g de Pó de Rocha Grosso. ... 40
Figura 20 - Comparando a matriz com a muda que contém 100 g de Pó de Rocha Fino. 40
Figura 21 - Comparando a matriz com a muda que contém 100 g de Pó de Rocha Grosso. ... 41
Figura 22 - Comparando a matriz com a muda que contém só Húmus. 41
Figura 23 - Comparativo mudas adubadas com 100 g de pó de rocha de granulometria fina (direita) com as mudas adubadas com 100 g de pó de rocha de granulometria grossa (esquerda). 42
Figura 24 - Comparativo entre broto do vaso que contém somente Húmus (A) e Húmus + Pó de Rocha (B). 43
Figura 25 - Comparativo do desenvolvimento da matriz com a muda adubada com Pó de Rocha + Húmus. 44
Figura 26 - Comparativo do desenvolvimento da matriz com a muda adubada com Pó de Rocha 800g. 44

Figura 27 - Folhas contaminadas pelo vírus. 45
Figura 28 - Aplicação do Repelente Natural. 46
Figura 29 - Alfaces mortas. 46
Figura 30 - Alfaces adubadas com Pó de Rocha +Húmus. 47

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Classificação das britas de acordo com a granulometria. 16
Tabela 2 - Nutrientes Minerais Divididos em 3 Grupos. 20
Tabela 3 - Sequência de Peneiras Utilizadas no Peneiramento do Pó de Rocha. 26
Tabela 4 - Faixa Granulométrica do Pó de Rocha. 27
Tabela 5 - Parâmetros Definidos para o Plantio. 28
Tabela 6 - Programação da Máquina de Fusão para o Preparo das Pastilhas Fundidas das Amostras de Pó de Rocha. 31
Tabela 7 - Resultados Semiquantitativos de Fluorescência de Raios-X. 35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
Al_2O_3	Óxido de Alumínio;
ANM	Agência Nacional de Mineração;
CaO	Óxido de Cálcio;
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral;
DRX	Difração de Raios X;
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral;
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
Fe	Ferro;
g	Grama;
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração;
kg	Quilograma;
K_2O	Óxido de Potássio;
LTM	Laboratório de Tratamento de Minérios;
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
MgO	Óxido de Magnésio;
Mn	Manganês;
Na_2O	Óxido de Sódio;
SiO_2	Dióxido de Silício.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14
2. REFERENCIAL TEÓRICO 15
2.1 Rochagem 15
2.2 Produção de Brita 15
2.3 Rejeito da Britagem 18
2.4 Rocha Granito 19
2.5 Solos e Seus Nutrientes 19
2.6 Potássio K 20
2.7 Análise Química e Mineralógica 21
2.8 Alface 22
3. METODOLOGIA 24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
4.1 Análise Mineralógica do Pó de Rocha 33
4.2 Análise Química do Pó de Rocha 34
4.3 Desenvolvimento do Alface 36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

1. INTRODUÇÃO

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Mineração, o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, mas participa com apenas 2% da produção mundial, configurando-se, portanto, como um grande importador de insumos agrícolas (IBRAM, 2018). O relatório da Associação Nacional para Difusão de Adubos aponta que o Brasil se encontra na quarta posição em relação ao consumo de Nitrogênio (N), na terceira para Fósforo (P) e na segunda para Potássio (K) (ANDA, 2018). Em 2021, segundo a GLOBALFERT (provedora de informações estratégicas no mercado de fertilizantes), o Brasil importou cerca de 39,2 milhões de toneladas de fertilizantes.

A partir desses dados, pode-se constatar que o Brasil depende fortemente da importação de fertilizantes. Sendo assim, há uma grande necessidade de fontes alternativas para suprir as demandas pelos micro e macronutrientes. Nos últimos anos alguns estudos, têm mostrado que o uso de pó de rocha complementa a fertilidade do solo.

A Rochagem é a denominação dada à tecnologia que parte do pressuposto que determinados tipos de rochas podem fornecer nutrientes aos solos, que serão utilizadas pelas plantas. O acréscimo de rochas moídas aos solos viabiliza uma remineralização por meio da adição de uma vasta quantidade de substâncias proveniente dos minerais, que foram perdidos pelos solos ao longo dos processos intempéricos ou antrópicos (THEODORO; LEONARDOS, 2002).

As partículas finas de rocha (também denominadas pó de rocha) são os principais resíduos do processo de britagem e corte de rochas na exploração mineral em pedreiras. Portanto, não possuem destino definido e permanecem estocadas nas pedreiras formando enormes pilhas, causando impactos ambientais.

Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a aplicação do resíduo sólido de pó de rocha granítica proveniente da Mineradora Santa Helena (Ibiá/MG) como remineralizador de solo.

Os objetivos específicos consistiram em caracterizar física, química e mineralogicamente o pó de rocha e avaliar o desenvolvimento vegetal do alface, em função da aplicação do pó de rocha como remineralizador para diferentes dosagens e granulometrias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão abordados tópicos importantes para o presente trabalho, com vista no conhecimento dos assuntos relevantes para o desenvolvimento do mesmo. Dentre estes, rochagem, produção de brita, potássio, rocha granito e análise mineralógica.

2.1 Rochagem

Na década de 1950, os pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko foram os primeiros a divulgarem a tecnologia da rochagem no Brasil, em Minas Gerais. Posteriormente, o professor e pesquisador Othon Henry Leonardos deu continuidade às pesquisas e, atualmente é considerado um grande percursor da rochagem no Brasil sendo referência para diversos trabalhos ligados a esse tema (MARTINAZZO *et al*., 2017).

Segundo Leonardos *et al.* (1976), a rochagem parte do princípio de diversificação de fontes de nutrientes, criando novas opções de suprimento, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo. A técnica pode ser considerada como um tipo de remineralização, onde o pó de rocha é utilizado para rejuvenescer solos pobres ou lixiviados, fundamentando-se, basicamente, na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade sustentável.

De modo geral, as rochas utilizadas devem ser fontes naturais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de uma série de micronutrientes indispensáveis à nutrição vegetal. Além disso, e mais importante, o uso de pós de rochas (ou farinhas de rocha) facilita o equilíbrio entre os diferentes elementos que compõem os agroecossistemas. Portanto, além de produtividades compatíveis, a técnica da Rochagem prevê uma mudança na forma de produzir alimentos. Por fim, esta tecnologia tem a pretensão de aliar os dois setores que, tradicionalmente, não possuem interação e que são considerados dois grandes vilões ambientais: mineração e agricultura. O problema de um (excesso de rejeitos) pode-se transformar em solução para o outro (fertilizantes/insumos) (THEODORO *et al*., 2006).

2.2 Produção de Brita

A brita é matéria-prima essencial para a indústria da construção civil. Sua principal aplicação se dá na produção de concreto para obras diversas, sub-base para obras de pavimentação, produção de asfalto, confecção de artefatos de concreto, barragens, enrocamentos, obras de contenção, dentre outras utilizações (SILVA, 2005).

Diversas rochas podem ser utilizadas na extração de brita, tais como: granito, gnaisse, basalto, calcário e dolomita. Existem diferentes tipos de brita, com ampla variedade de aplicações industriais e construtivas. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os diversos tipos de brita são classificados de acordo com a sua granulometria. Assim, são reconhecidas as especificações de britas 0, 1, 2, 3, 4, 5 e o pó de brita. Cada um desses tipos tem uma função específica na construção civil, seja para fabricação de concreto, pavimentação, construção de edificações ou de grandes obras, como ferrovias, túneis e barragens. A Tabela 1 representa a granulometria das britas e seus respectivos nomes.

Tabela 1 - Classificação das britas de acordo com a granulometria.

NOME	GRANULOMETRIA
Brita 0	4,8 mm a 9,5 mm
Brita 1	9,5 mm e 19 mm
Brita 2	19 mm e 25 mm
Brita 3	25 mm a 50 mm
Brita 4	50 mm e 76 mm
Brita 5	76 mm e 100 mm
Pó de brita	< 4,8 mm

Fonte: ABNT, 2010.

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), atual Agência Nacional de Mineração (ANM) o consumo de brita no Brasil no ano de 2010, apresentava a seguinte distribuição (Figura 1): Concreto, asfalto, pré-fabricados, revenda e varejo, entre outros.

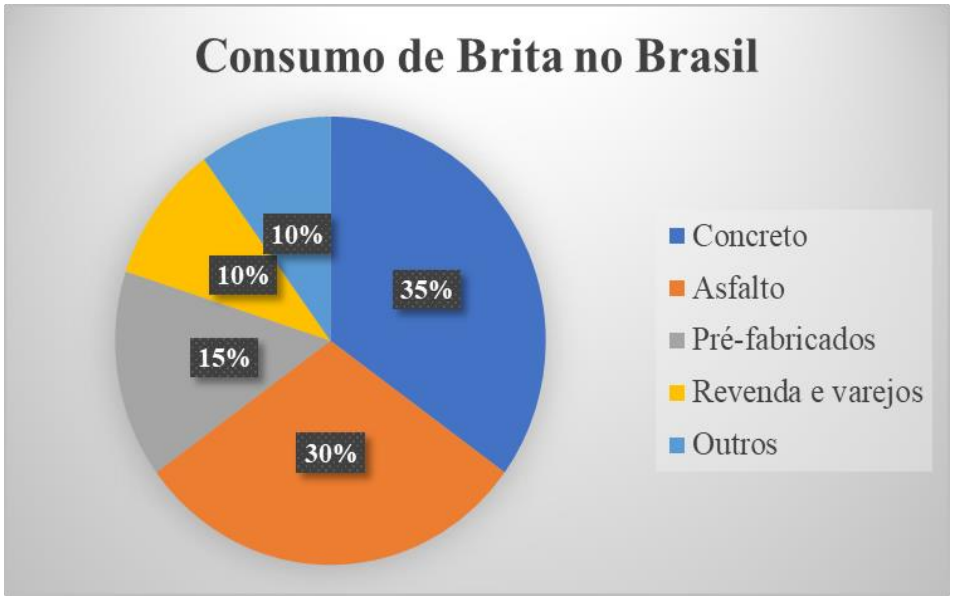

Figura 1 - Segmentação do Consumo de Brita no Brasil.

Fonte: DNPM Adaptado (2010).

No Brasil, a lavra de brita é desenvolvida a céu aberto, em encosta ou cava, com emprego de explosivos, por questões econômicas e devido à geologia favorável. O beneficiamento é feito através de cominuição da rocha desmontada na etapa de lavra, com a utilização de britadores de mandíbulas e giratórios, além de separação granulométrica via peneiramento, de acordo com as especificações normativas.

De forma generalizada, a operação de um empreendimento de pedreira segue o sequenciamento composto (Figura 2) pelas operações de: decapeamento, perfuração de rocha, carregamento dos furos com explosivos, desmonte de rocha, carregamento e transporte do material desmontado até o pré-silo do britador primário, etapa de britagem, estocagem do bem mineral, comercialização do bem mineral, carregamento e transporte externo (SILVA, 2005).

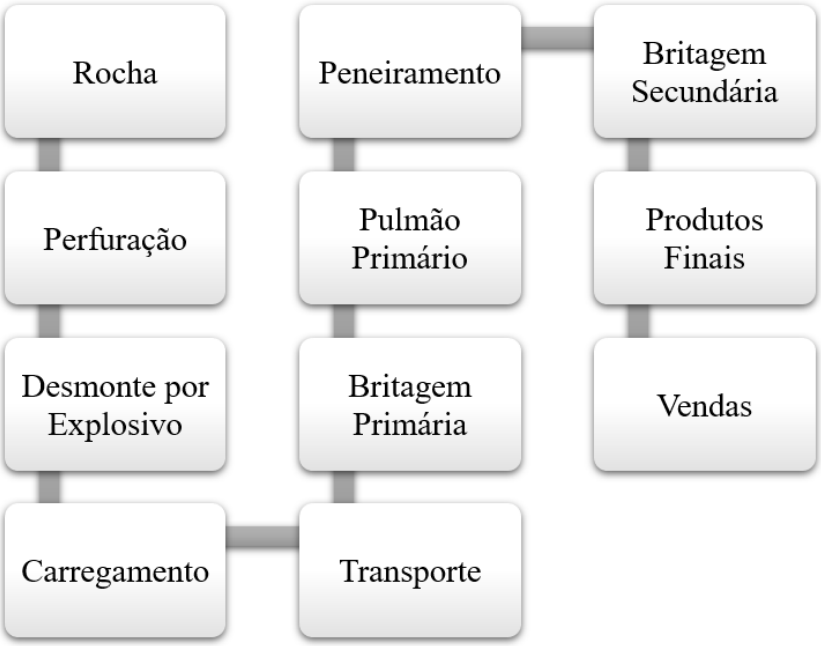

Figura 2 - Fluxograma Processo Produtivo da Mineradora Santa Helena.

Fonte: Shmineração Adaptado (2022).

2.3 Rejeito da Britagem

O pó de brita pode ser definido como produto do processo de beneficiamento dos agregados naturais de britagem, sendo obtido através da fragmentação de fragmentos de rochas maiores por equipamentos mecânicos (LODI, 2006). Esse material apresenta baixo custo por ser considerado um subproduto da mineração com poucas aplicações.

Uma alternativa na área da construção civil para redução dos impactos ambientais seria a utilização do pó de brita como agregado miúdo, minimizando o descarte desse material, que ocuparia espaço nas pedreiras, sem uma finalidade propriamente dita. Um fator muito importante na construção civil é a qualidade dos agregados, graúdos e miúdos. São inúmeros os casos de colapsos estruturais onde a falha ocorreu na escolha desses agregados. Nesse aspecto, o pó de brita se torna uma boa alternativa devido à uniformidade das suas propriedades (MENOSSI, 2004). Outra alternativa para a utilização do pó de brita é a técnica rochagem, uma vez que além de diminuir a dependência do mercado internacional de fertilizantes.

Apesar do crescimento da utilização do pó de rocha na agricultura, a sua eficiência como fonte de nutrientes ainda é muito discutida, devido sua baixa dissolubilidade e pela necessidade de adição de grandes quantidades para se alcançar resultados satisfatórios (BOLLAND e BAKER, 2000). O processo de dissolução, necessário para a

biodisponibilização dos nutrientes às plantas, ocorre de maneira lenta, sendo influenciado por fatores como granulometria, atividades dos microrganismos presentes no solo e pH, principalmente.

2.4 Rocha Granito

O granito é uma rocha ígnea plutônica, a qual é constituída essencialmente por quartzo e feldspato, podendo ainda haver micas e anfibólio. Dentre estes minerais, o feldspato é aquele que apresenta maior quantidade de K em sua estrutura cristalina (PIZA, 2010).

Os granitos são as rochas mais abundantes da crosta terrestre. Sua ampla variação ocorre em função de uma diversidade de fontes de composições de rochas, assim como dos processos petrogenéticos (CHAPPELL AND WHITE, 1974 ,2001; FROST *et al*., 2001; GOODGE & VERVOORT, 2006; BONIN, 2007; FROST & FROST 2011).

O granito pode ser utilizado como rocha ornamental e na construção civil. Segundo Taguchi *et al.* (2012) o Brasil é um dos principais produtores de granito e está entre os maiores exportadores do mundo como rocha ornamental. Cada estado brasileiro possui extração da rocha e dependendo do local, o granito varia de tonalidade.

2.5 Solos e Seus Nutrientes

Segundo a NBR 6502 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, o solo é definido como material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica (ABNT, 1995).

A fertilidade é vital para a produtividade, mas um solo fértil não é necessariamente um solo produtivo. Fatores como problema de drenagem, presença de insetos, períodos de seca, dentre outros fatores podem limitar a produção, mesmo quando a fertilidade é adequada (LOPES, 1998).

Alguns fatores controlam o crescimento das plantas, tais como ar, calor, luz, nutrientes e água. Cerca de 16 elementos químicos são essenciais para o crescimento das plantas. Esse grupo é dividido em dois, sendo os nutrientes não-minerais e os nutrientes minerais.

Os nutrientes não-minerais são o carbono (C), o hidrogênio (H) e o oxigênio (O). Estes nutrientes são encontrados na atmosfera e na água e participam da fotossíntese. Os nutrientes minerais são fornecidos pelo solo e são divididos em três grupos (Tabela 2).

Tabela 2 - Nutrientes Minerais Divididos em 3 Grupos.

Macronutrientes Primários	Macronutrientes Secundários	Micronutrientes
Nitrogênio (N)	Cálcio (Ca)	Boro (B)
Fósforo (P)	Magnésio (Mg)	Cloro (Cl)
Potássio (K)	Enxofre (S)	Cobre (Cu)
		Ferro (Fe)
		Manganês (Mn)
		Molibdênio (Mo)
		Zinco (Zn)

Fonte: LOPES, 1998.

Os nutrientes primários geralmente tornam-se deficientes no solo antes dos demais, devido à alta demanda destes pela planta, durante seu desenvolvimento. Os nutrientes secundários e os micronutrientes são geralmente menos deficientes e usados em quantidades menores. Mas eles são tão importantes quanto os nutrientes primários para uma adequada fertilidade do solo (LOPES, 1998).

2.6 Potássio K

O símbolo K do elemento químico potássio provém da palavra latina *kallium*, sendo seu número atômico 19. Corresponde a um metal alcalino, mole, esbranquiçado de brilho metálico prateado. Esse metal é um dos mais reativos e eletropositivos e o segundo mais leve, depois do lítio (Li).

O potássio é um elemento essencial aos processos metabólicos nas plantas, pois exerce fundamental papel na fotossíntese, pois regula a entrada de dióxido de carbono (através da abertura e fechamento dos estômatos) e atua na ativação de sistemas enzimáticos (ANDRADE *et al*., 2000).

O potássio é um dos macronutrientes mais utilizados pela planta, atrás apenas do nitrogênio (KINPARA, 2003). Em geral, os solos brasileiros apresentam carência desse nutriente. Isso se deve a questões relativas à rocha de origem dos solos, além de a forma solúvel, removida pelas culturas, e lixiviável no perfil do solo (COLA; SIMÃO, 2012).

A distribuição de nutrientes no solo é influenciada por diversos fatores, entre os quais destacam-se o preparo do solo e o modo de aplicação de fertilizantes. A umidade do solo é outro fator a ser considerado na avaliação do suprimento de nutrientes às raízes,

especialmente naqueles em que este processo ocorre predominantemente por difusão, como é o caso do potássio (BARBER, 1995).

No solo, o K é encontrado como componente estrutural de minerais, como biotitas e outras micas, feldspatos entre outros, que se encontram aprisionados temporariamente entre camadas de argila, como K-trocável retido eletrostaticamente pelos coloides do solo carregados negativamente e, em uma pequena quantidade, como K-solúvel na solução do solo (RAIJ, 1990).

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo, com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa de absorção superior ao de nitrogênio e fósforo, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de "arranque" para o desenvolvimento vegetal (COELHO; FRANÇA, 1995).

2.7 Análise Química e Mineralógica

A análise por fluorescência de raios X permite a identificação da composição e concentração de elementos presentes em uma amostra.

É um método qualitativo e quantitativo e se baseia na medição das intensidades (números de raios X detectados por unidade de tempo) dos raios X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas (MELO JÚNIOR, 2007).

A fluorescência de Raios-X é uma técnica versátil na determinação de elementos maiores e menores com baixa detecção (partes por milhão) (NIEWINSKI, 2017).

A análise química do pó de rocha é de suma importância uma vez que é necessário conhecer os teores dos elementos presentes na amostra para verificar se o material se encontra dentro das especificações e garantias mínimas impostos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para ser classificado como material comerciável.

A caracterização mineralógica de um minério define quais são os minerais presentes na amostra. Além disso, ela quantifica a distribuição dos elementos úteis entre os minerais de minério e estuda as texturas da rocha, definindo o tamanho de partícula necessário para liberação do(s) minera(is) de interesse dos minerais de ganga (CETEM, 2004).

A difração de raios X (DRX) trata-se de uma ferramenta utilizada para identificação de minerais. Esse método promove a interação de ondas na frequência de raios X (no geral entre 0,70 e 2,30 Å) com os planos de repetição sistemática do retículo cristalino e como resultado obtém-se o difratograma (PORPHÍRIO *et al*., 2010).

2.8 Alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa pertencente à família Asteraceae cuja provável origem ocorreu na região do mediterrâneo e foi introduzida no Brasil pelos portugueses. A alface é delicada e sensível às condições climáticas como temperatura e luminosidade. É uma hortaliça cujas folhas estão presas a um pequeno caule e podem ocorrer variações de tonalidade de verde até o roxo (EMBRAPA, 2014).

Segundo Lopes *et al*. (2010), foram relatadas mais de 75 doenças da alface no mundo. As doenças são causadas por micro-organismos parasitas (fitopatógenos) tais como bactérias, fungos, nematoides e vírus. Além das doenças transmissíveis, a alface pode apresentar distúrbios fisiológicos, ou doenças não transmissíveis, geralmente associados a clima adverso, nutrição da planta, défice hídrico e fitotoxicidade por agroquímicos.

A cultura do alface apresenta grande importância econômica. Encontra-se em segundo lugar de produção entre as hortaliças folhosas e o estado de São Paulo é o principal produtor (DINIZ; GUIMARÃES e LUZ, 2006).

Além de apresentar propriedades tranquilizantes, a alface é considerada uma boa fonte de vitaminas e sais minerais, tais como vitamina A, B1, B2, vitaminas C, cálcio e ferro (FERNANDES *et al*, 2002).

O pó de rocha pode ser adicionado ao substrato para a produção de mudas de hortaliças, como a alface. Em um trabalho desenvolvido por Lajús *et al*. (2021) foi avaliado os aspectos qualitativos e quantitativos de variedades de alface em função de concentrações de pó de rocha basáltica. Para a implantação do experimento da cultura da alface, relacionado com as concentrações de pó de rocha, a área foi delineada em DBC (Delineamento de Blocos ao acaso) em esquema de PSD (Parcelas Subdivididas) (3 x 5), com quatro repetições, totalizando 60 parcelas, sendo que na PP (Parcela Principal) foram alocadas as mudas das três variedades de alface: alface crespa (A1), alface américa (A2), alface lisa (A3) e na SB (Subparcelas) as concentrações de pó de rocha: T1 – substrato incorporado com adubo orgânico; T2 – substrato incorporado com adubo orgânico + 500g de pó; T3 – substrato incorporado com adubo orgânico + 1000 g de pó; T4 – substrato incorporado com adubo

orgânico + 1500 g de pó; T5 – substrato incorporado com adubo orgânico + 2000 g de pó. Foram avaliados aspectos qualitativos (Leitura SPAD e comprimento da maior raiz) e aspectos quantitativos (produção de massa verde). Os autores relataram que nas condições em que a pesquisa foi conduzida, foi possível concluir que a concentração de 500g de pó de rocha em cultivo orgânico é recomendada para as variedades de alface Crespa, Americana e Lisa.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos experimentais executados desde a preparação do pó de rocha fornecido pela Mineradora Santa Helena Mineração – Ibiá/MG até o plantio das mudas de alface. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) e na Horta do CEFET-Araxá.

3.1 Preparação da Amostra

Após encaminhado para o LTM, o material foi levado para a estufa a uma temperatura de 100ºC durante 24 horas, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Secagem do Pó de Rocha.

Fonte: Próprio Autor (2021).

Posteriormente, o material foi homogeneizado pelo método de pilha cônica a fim de tornar a amostra mais representativa e evitar erros de segregação. Para o processo, utilizou-se uma lona e uma enxada. Em seguida, foi realizada a homogeneização em pilha alongada. A Figura 4 representa essa etapa.

Figura 4 – Homogeneização realizada em a) Pilha Cônica e b) Pilha Alongada.

Fonte: Próprio Autor (2021).

Para preparar as duas granulometrias (grossa e fina), foi realizado o peneiramento da amostra utilizando um agitador vibratório de peneiras (Figura 5).

Figura 5 - Processo de Peneiramento do Pó de Rocha.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Para evitar sobrecarga das peneiras, foram escolhidas 5 peneiras (Figura 6) para realizar o peneiramento do pó de rocha.

Figura 6 - Peneiras Utilizadas no Peneiramento do Pó de Rocha.

Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 3 mostra o tamanho das aberturas das cinco peneiras utilizadas no processo de peneiramento do material.

Tabela 3 - Sequência de Peneiras Utilizadas no Peneiramento do Pó de Rocha.

Peneiras	Abertura em mm
Peneira 1	1,18 mm
Peneira 2	0,59 mm
Peneira 3	0,297 mm
Peneira 4	0,149 mm
Peneira 5	0,105 mm

Fonte: Próprio Autor (2022).

Após o peneiramento do pó de rocha, foram definidas as faixas granulométricas (Tabela 4) que seriam utilizadas no trabalho sendo, portanto, armazenado o material que não se adequava.

Tabela 4 - Faixa Granulométrica do Pó de Rocha.

Granulometria do Pó de Rocha	Faixa Granulométrica
Grosso	- 0,590 + 0,106 mm
Fino	- 0,106 mm

Fonte: Próprio Autor (2022).

3.2 Preparação do Solo

O solo vermelho (de barranco – pobre em nutrientes) foi coletado em um terreno próximo ao Uniaraxá e em seguida peneirado em uma peneira de 4# (40 cm x 40cm) a fim de tornar o material livre de torrões e rochas, conforme mostrado na Figura 07.

Figura 7 - Preparação do Solo.

Fonte: Próprio Autor (2022).

3.3 Plantio da Alface

Após todas as etapas de preparação do solo e do pó de rocha, foram realizados os plantios das mudas de alfaces em 4 repetições para todos os parâmetros definidos (Tabela 5). Ao todo, foram plantadas 44 mudas de alfaces. Em relação à umidade do solo, os vasos eram regados todos os dias no período da tarde. Algumas vezes, por ter chovido, não foi necessário molhar as alfaces. O acompanhamento do desempenho do pó de rocha foi realizado de forma visual e sistemática.

Tabela 5 - Parâmetros Definidos para o Plantio.

´Parâmetros Definidos para a Plantação das Mudas de Alface							
Testemunha	**Pó de Rocha**					**Pó de Rocha + Húmus**	**Húmus**
4 vasos	**Granulometria do Pó de Rocha**	**Dosagens do Pó de Rocha (4 vasos de cada)**				4 vasos com 400g de Pó de Rocha Fino e 1kg de Húmus.	4 vasos com 1kg de Húmus.
	Grosso	100g	200g	400g	800g		
	Fino	100g	200g	400g	800g		

Fonte: Próprio Autor (2022).

No dia 14/05/2022 foi realizado o plantio das mudas de alfaces na Horta do CEFET-Araxá. A Figura 8 mostra como foi executado esse processo.

a
b
c
d
e
f
g
h

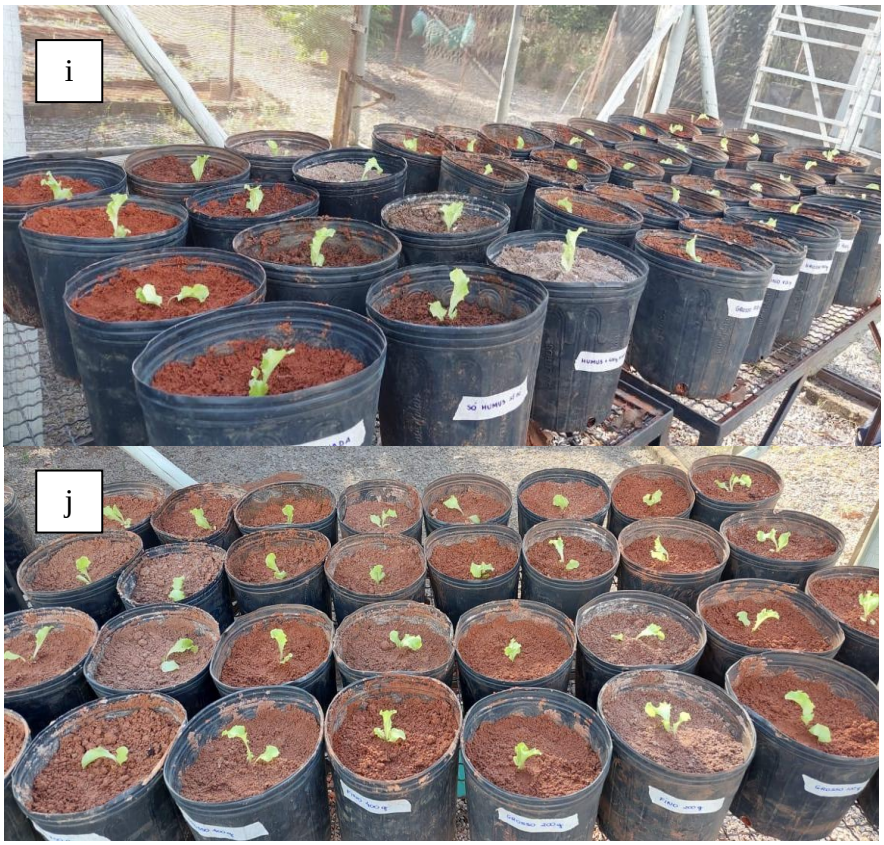

Figura 8 - Etapas do Plantio das Mudas de Alface.

Fonte: Próprio Autor (2022).

3.4 Análise Química e Mineralógica do Pó de Rocha

Para a realização das análises químicas as amostras foram fundidas na máquina de fusão elétrica C1 - Nieka™ (Figura 9). As programações utilizadas para o preparo das amostras estão descritas na Tabela 6. A proporção amostra fundente utilizada foi 1:11, sendo o fundente da Oregon™, composto por 66,17% de tetraborato de lítio, 33,33% de metaborato de lítio e 0,5% de brometo de lítio. Para a determinação do PPC as amostras foram aquecidas em uma mufla a 1000°C por 1h.

Tabela 6 - Programação da Máquina de Fusão para o Preparo das Pastilhas Fundidas das Amostras de Pó de Rocha.

	Passo									
	0	**1**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Tempo (min)	00:15	03:10	03:00	03:25	02:30	00:25	00:45	01:00	01:00	02:00
Temperatura (°C)	700	750	1200	1250	1250	1100	0	0	0	0
Agitação (%)	0	0	30	70	80:70	0	0	0	0	0
Resfriamento (%)	0	0	0	0		0		50	100	70

Fonte: Próprio Autor (2022).

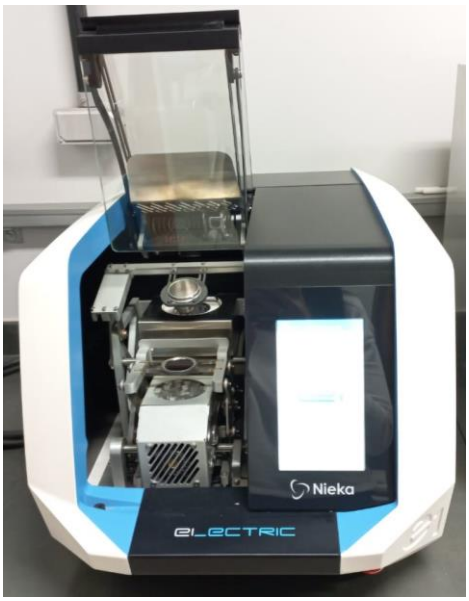

Figura 9 - Máquina de Fusão Elétrica *e1* - *Nieka*™.

Fonte: Próprio Autor (2022).

As amostras foram analisadas em um espectrômetro de fluorescência de raios-X com dispersão por comprimento de onda (WDFRX) ARL™ PERFORM'X - Thermo Scientific™ modelo GEN-X 4200W, com tubo de ródio (5GNf Rh 50u) e manipulador X-Y automático, Figura 10. O processamento dos dados foi realizado usando os softwares OXSAS e UniQuant.

Figura 10 - *ARL™ PERFORM'X - Thermo Scientific™*.

Fonte: Próprio Autor (2022).

A caracterização mineralógica das amostras minerais foi realizada por difração de raios X em pó (DRX) em um difratômetro PW1710 (Philips-PANalytical, UK) equipado com um cristal monocromador de grafite e fonte de raios X de cobre ($\lambda\kappa\alpha$ = 1,54Å). As análises foram realizadas a 50kV e 35mA, 2θ variando entre 3° e 90°, com passo de 0,06° (2θ) e 3s como tempo de varredura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Mineralógica do Pó de Rocha

O difratograma obtido nas análise do DRX segue apresentada na Figura 11. A interpretação foi realizada utilizando os padrões do ICDD (International Diffraction Data Center) do banco de dados PDF-2 publicado em 2010 para comparar os picos. Os picos característicos dos minerais predominantes na composição da amostra estão destacados no difratograma.

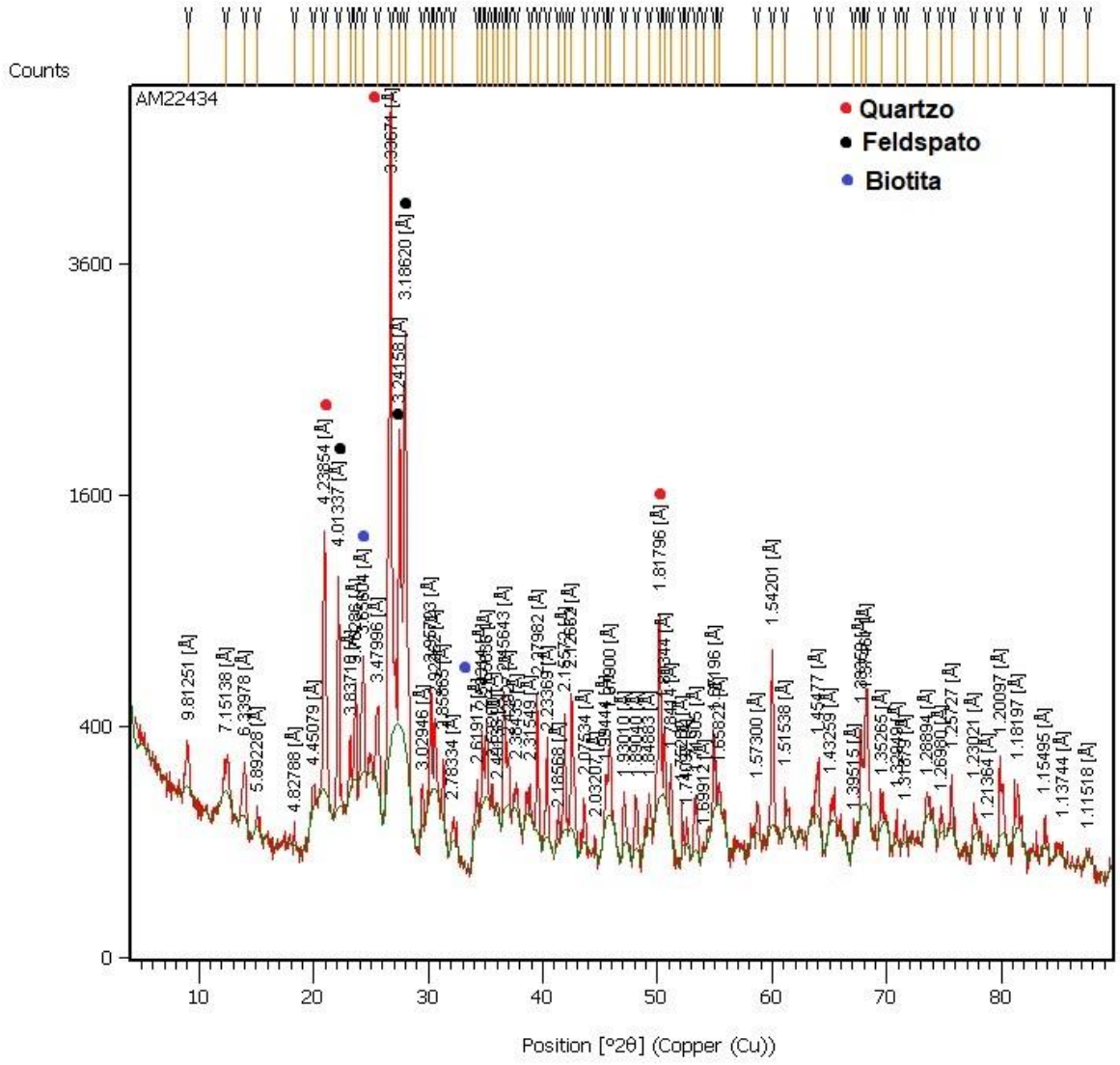

Figura 11 – Difratograma Obtido pela Análise do DRX.

Fonte: Próprio Autor.

Através do difratograma é possível perceber que o pó de rocha é proveniente de magma ácido uma vez que possui alto teor de sílica, potássio, sódio e alumínio. Dessa forma, pode-se afirmar que é uma rocha clara devido à grande presença de minerais como quartzo e feldspato. Além disso, há uma certa quantidade de biotita por isso há presença de ferro na amostra.

4.2 Análise Química do Pó de Rocha

A análise química do pó de rocha é uma ferramenta indispensável para compreender qual é o potencial nutritivo do material. Além disso, ela é uma das ferramentas para validar o registro do remineralizador no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). A IN MAPA nº 05/2016 indica os parâmetros desejáveis e indesejáveis para o pó de rocha ser aprovado comercialmente.

> Art. 4º Os remineralizadores deverão apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas:
>
> I - em relação à especificação de natureza física, nos termos do Anexo I desta Instrução Normativa;
>
> II - em relação à soma de bases (CaO, MgO, K_2O), deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso/peso;
>
> III - em relação ao teor de óxido de potássio (K_2O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso; e
>
> IV - em relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) de abrasão, valor conforme declarado pelo registrante.
>
> § 1º Quando os remineralizadores contiverem naturalmente o macronutriente fósforo e micronutrientes, os seus teores podem ser declarados somente se forem iguais ou superiores aos valores expressos no Anexo II desta Instrução Normativa.
>
> § 2º Não serão registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, ficando vedadas a produção, importação e comercialização no país de remineralizadores que contiverem:
>
> I - em relação ao SiO_2 livre presente no produto, teor superior a 25% (vinte e cinco por cento) em volume/volume; e

II - em relação aos elementos potencialmente tóxicos presentes no produto, teores superiores a:

a) para Arsênio (As): 15 ppm;

b) para Cádmio (Cd): 10 ppm;

c) para Mercúrio (Hg): 0,1 ppm; e

d) para Chumbo (Pb): 200 ppm. (MAPA, 2016).

Nesse sentido, foram realizados ensaios de Fluorescência de raios-X. Os resultados de varredura semiquantitativos das amostras encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados Semiquantitativos de Fluorescência de Raios-X.

Pó de rocha	
Elemento	Teor (%)
SiO_2	67,55
Al_2O_3	17,70
Na_2O	4,12
K_2O	3,79
Fe	1,19
CaO	0,54
MgO	0,26
Mn	0,18
PPC	42,80

Fonte: Próprio Autor (2022).

Portanto, a princípio o pó de rocha proveniente da Mineradora Santa Helena não se enquadra em algumas exigências do MAPA, uma vez que a soma das bases (CaO, MgO e K_2O) é 4,59% e o desejável é de no mínimo 9%. Além disso, a SiO_2 livre exigida é de no máximo 25%, porém a do pó de rocha estudado está em 67,5%.

Entretanto, o teor de K_2O (3,79%) da amostra supera às expectativas indicadas no artigo 4º item III, que é de no mínimo 1%. Sendo assim, o pó de rocha granítico pode ser combinado com outros tipos de rochas (ação prevista no Artigo 9º parágrafo 4° da IN MAPA nº 05/2016) como uma importante fonte de potássio.

> § 4º Pode ser registrado remineralizador obtido a partir da mistura de duas ou mais rochas, desde que o produto final atenda aos parâmetros e requisitos exigidos nesta Instrução Normativa (MAPA, 2016).

Outro parâmetro analisado pelo MAPA para viabilizar a comercialização do pó de rocha é a eficiência agronômica. Nesse sentido, o presente trabalho comprovou por meio de registros fotográficos a eficiência desse pó de rocha no cultivo de alface.

4.3 Desenvolvimento do Alface

As mudas de alfaces foram plantadas no dia 14/05/2022. No dia 23/05/2022 foi observado o crescimento de novos brotos em todas as mudas (Figura 12).

Figura 12 - Crescimento de Broto nas Mudas de Alfaces.

Fonte: Próprio Autor (2022).

No dia 30/05/2022, foi observado o desenvolvimento das alfaces e notado que ao compararmos a matriz (sem pó de rocha) com todos os outros vasos que continham pó de rocha, esta estava menos desenvolvida. As Figuras 13 a 22 apresentam esse comparativo.

Figura 13 - Comparando a matriz com a muda que contém Húmus + Pó de Rocha Fino.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 14 - Comparando a matriz com a muda que contém 800 g de Pó de Rocha Fino.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 15 - Comparando a matriz com a muda que contém 800 g de Pó de Rocha Grosso.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 16 - Comparando a matriz com a muda que contém 400 g de Pó de Rocha Fino.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 17 - Comparando a matriz com a muda que contém 400 g de Pó de Rocha Grosso.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 18 - Comparando a matriz com a muda que contém 200 g de Pó de Rocha Fino.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 19 - Comparando a matriz com a muda que contém 200 g de Pó de Rocha Grosso.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 20 - Comparando a matriz com a muda que contém 100 g de Pó de Rocha Fino.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 21 - Comparando a matriz com a muda que contém 100 g de Pó de Rocha Grosso.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 22 - Comparando a matriz com a muda que contém só Húmus.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Outra observação importante é que as mudas adubadas com a granulometria fina estavam mais desenvolvidas do que as adubadas com pó na granulometria grossa. Tal fato

pode ser acompanhado na Figura 23. Todavia, esse comportamento era esperado, já que quanto menor a granulometria do material, mais fácil é a absorção dos nutrientes em função da maior superfície de contato. Além disso, pode-se ter havido uma redução de SiO_2 na fração fina do material, uma vez que o quartzo é mais resistente ao desbaste.

Figura 23 – Comparativo mudas adubadas com 100 g de pó de rocha de granulometria fina (direita) com as mudas adubadas com 100 g de pó de rocha de granulometria grossa (esquerda).

Fonte: Próprio Autor (2022).

No dia 01/06/2022 analisamos o tamanho dos brotos dos vasos com Húmus + Pó de Rocha em relação aos vasos que continham somente Húmus. Foi possível verificar que, nos vasos que continham Pó de Rocha + Húmus os brotos estavam mais desenvolvidos do que os vasos que tinham apenas o Húmus. A Figura 24 mostra essa diferença.

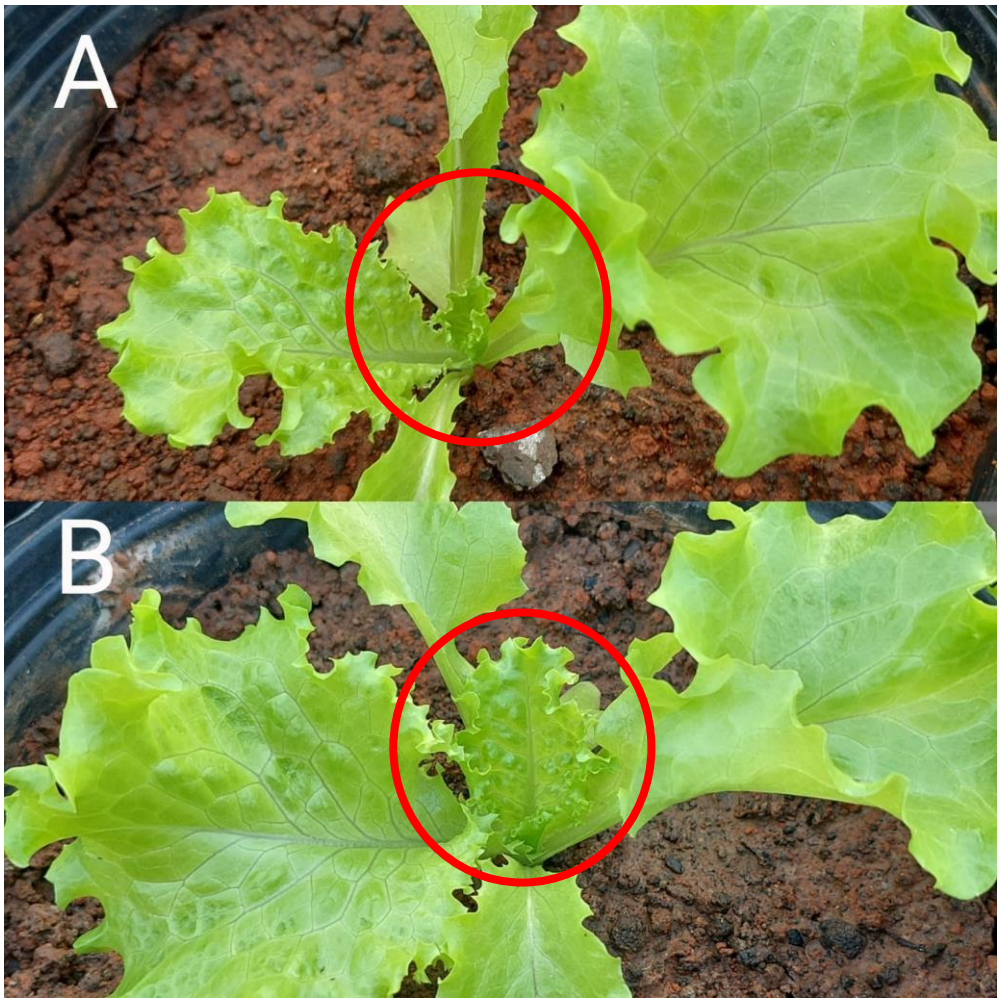

Figura 24 – Comparativo entre broto do vaso que contém somente Húmus (A) e Húmus + Pó de Rocha (B).

Fonte: Próprio Autor (2022).

No dia 05/06/2022 foi observada nítida diferença de desenvolvimento entre as mudas. As Figuras 25 e 26 demonstram essa evidente disparidade salientando, respectivamente, a eficiência do pó de rocha granítico + húmus e do pó de rocha em maior dosagem (800 g). Vale destacar, que o substrato (húmus) tem a função não só de disponibilizar o nitrogênio, como também aumentar a atividade bacteriológica no solo. Assim, os micro-organismos facilitam a disponibilização dos nutrientes contidos nos minerais a partir do intemperismo biológico.

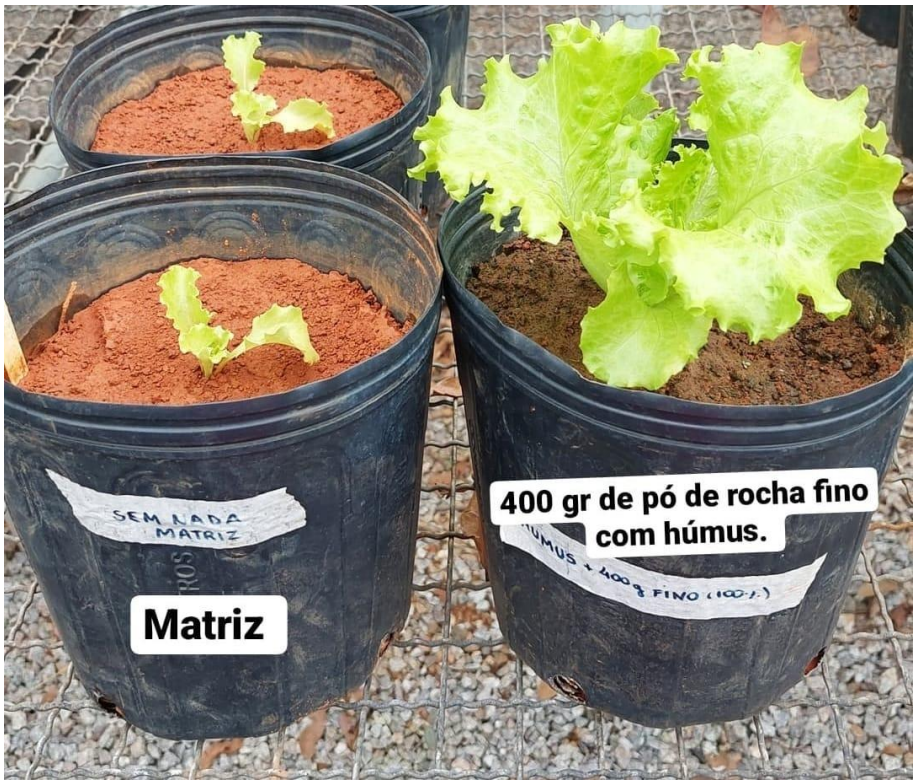

Figura 25 – Comparativo do desenvolvimento da matriz com a muda adubada com Pó de Rocha + Húmus.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Figura 26 – Comparativo do desenvolvimento da matriz com a muda adubada com Pó de Rocha 800g.

Fonte: Próprio Autor (2022).

No dia 06/06/2022 foi observado o aparecimento de manchas escuras nas folhas das alfaces (Figura 27), causados pelo vírus pertencente ao grupo *tospovirus*: vira-cabeça.

Segundo a EMBRAPA (2014), os *tospovirus* são disseminados por espécies de *tripes* (*Thysanoptera: Thripidae*) de maneira propagativa. O vírus é adquirido pelo vetor no segundo estádio larval, ao se alimentar de uma planta infectada (período de aquisição). As mudas estavam em um lugar que continham outras espécies de plantas, provavelmente alguma espécie estava contaminada pelo vírus e assim houve a contaminação das alfaces.

Figura 27 – Folhas contaminadas pelo vírus.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Como uma forma de amenizar a propagação do vírus, no dia 08/06/2022 foram retiradas as folhas infectadas e em seguida, foi aplicado um repelente natural feito com vinagre de álcool e detergente numa proporção 1/1. A Figura 28 representa esse processo.

Figura 28 – Aplicação do Repelente Natural.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Dia 10/06/2022 foi constatado a morte das alfaces (Figura 29) uma vez que a propagação do vírus foi rápida e atingiu todos os vasos. Sendo assim, o repelente natural não surtiu efeito suficiente para preservar a integridade das mudas.

Figura 29 - Alfaces mortas.

Fonte: Próprio Autor (2022).

Apesar do vírus ter atingido todas as alfaces, foi perceptível que os vasos que continham Pó de rocha + Húmus (Figura 30) foram mais tolerantes do que todos os outros vasos, e por isso as alfaces conseguiram sobreviver por mais dias.

Figura 30 - Alfaces adubadas com Pó de Rocha +Húmus.

Fonte: Próprio Autor (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de pó de rocha em sistemas de produção agrícola constitui-se numa alternativa altamente interessante, uma vez que esses dois setores não possuem interação e são considerados dois grandes vilões ambientais: mineração e agricultura. Dessa forma, o problema de um (excesso de rejeitos) pode-se transformar em solução para o outro (remineralizador/insumos).

Com a caracterização química do pó de rocha conclui-se que o subproduto atende parcialmente os requisitos exigidos pelo MAPA para ser comercializado. Em relação aos requisitos apresentados, o material se adequa ao valor do teor de K_2O (3,79%) uma vez que o teor mínimo exigido é de 1%. Dessa forma, sendo uma importante fonte de potássio, o pó de rocha granítico pode ser combinado com outros tipos de rochas e assim se enquadrar em todos os requisitos exigidos pelo MAPA para poder ser comercializado.

Em relação a eficiência agronômica, outro parâmetro analisado pelo MAPA, o pó de rocha granítico se mostrou eficiente e isso foi comprovado através de registros fotográficos dispostos no trabalho.

Foi possível perceber a disparidade no desenvolvimento das alfaces que tinham sido adubadas com Pó de Rocha + Húmus. Essa diferença deve-se ao fato de que o substrato (húmus) tem a função não só de disponibilizar o nitrogênio, como também aumentar a atividade bacteriológica no solo. Assim, os micro-organismos facilitam a disponibilização dos nutrientes contidos nos minerais a partir do intemperismo biológico.

Além disso, outra observação importante é que as mudas adubadas com a granulometria fina estavam mais desenvolvidas do que as adubadas com pó na granulometria grossa. Isso ocorreu em virtude de que quanto menor a granulometria do material, mais fácil é a absorção dos nutrientes em função da maior superfície de contato.

Apesar de todos os vasos terem sido contaminados pelo vírus *tospovirus*: vira-cabeça, foi possível perceber que os vasos que continham Pó de rocha + Húmus foram mais tolerantes do que todos os outros vasos, e por isso as alfaces conseguiram sobreviver por mais dias.

Conclui-se portanto que, apesar do material não atender a todas exigências propostas pelo MAPA, o mesmo é eficiente agronomicamente e tem grande potencial de aplicação e comercialização.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M. da; GOMIDE, J. A.; ALVAREZ, V. H.; MARTINS, C. E.; SOUZA, D. P. H. de. Produtividade e Valor Nutritivo do Capim- Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Rev. Brasileira de zootecnia,** v. 6, n. 29, p. 1589-1595, 2000.

ANDRIGUETTI, M. H. **Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: < https://www.rbcsjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06832009000500022/0100-0683- rbcs-S0100-06832009000500022.pdf >. Acesso em: 20 mar, 2021.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability**. New York, John Wiley & Sons, 1995. 414p.

BENEDUZZI, Ellen Bassan. **Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação de solos.** Orientador: Prof. Dr. Antônio Pedro Viero. 2011. 90 f. TCC (Graduação) – Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: < https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/55696 >. Acesso em 20 fev, 21.

BOLLAND, M.D.A.; BAKER, M.J. **Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 56, n. 345, p. 59-68, 2000.

BONIN, B. **A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects**. Lithos 97, 1–29, 2007.

CETEM. **Caracterização tecnológica de minérios - Capítulo 3**. Comunicação Técnica elaborada para a 4a Edição do Livro de Tratamento de Minérios Pág. 55 a 109. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: < https://www.k2sistemas.com.br/estratigrafiaquimica/artigos/2004/caracterizacao.pdf >. Acesso em 04 de julho de 2022.

CHAPPELL, B.W., WHITE, A.J.R. **Two contrasting granite types**. Pacific Geology 8, 173–174, 1974.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P.; Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** (Mossoró – RN), v. 7, n. 4, p. 15-27, out-dez, 2012.

CONAB. **Acompanhamento da safra 2005/2006 - Quinto levantamento**. [Brasília, DF.], abr. 2006. 28 p

EMBRAPA MILHO E SORGO. 6° ed. 2010. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf >. Acesso em 18 mar, 2021.

DAMO, Gabriela Ferreira. **Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concretos de cimento Portland**. Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. 2011. 199 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

DINIZ, K. A; GUIMARÃES, S. T. M. R; LUZ, J. M. Q. **Húmus como substrato para a produção de mudas de tomate,pimentão e alface**. Uberlândia, v. 22, n. 3, p. 63-70, Sept./Dec. 2006.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Agregados para a construção civil.** Disponível em: < https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf > Acesso em 18 mar, 2021.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Produção e Informação**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Além do NPK: estudos revelam eficiência de nutrientes esquecidos em fertilizantes**. [S.l.], 2014. Disponível em . Acesso em: 06 dez. 2021.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONSECA, M. C. M**. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface em hidropônia, em função de fontes de nutrientes.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 2, p. 195-200, 2002.

FROST, C. D. & FROST, B.R. **On Ferroan (A-type) Granitoids: their compositional Variability and modes of origin.** Journal of Petrology 52, 39-53, 2011.

GOODGE, J.W., VERVOORT, J.D. **Origin of Mesoproterozoic A-type granites in Laurentia: Hf isotope evidence**. Earth and Planetary Science Letters 243, 711– 731, 2006.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **IBRAM debate sobre fertilizantes e investimentos para produção mineral em seminário do MPF**. Disponível em: < https://ibram.org.br/noticia/ibram-debate-sobre-fertilizantes-em-seminario-do-mpf/#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20quarto,ao%20menos%20reduzir%20essa%20depend%C3%AAncia. >. Acesso em 18 mar, 2020.

KINPARA, D. L. A. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. 1.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. p. 27. (Série Documentos Embrapa Cerrados).

LAJÚS, C. R; LUZ, G. L; SILVA, C. G; DALCANTON, F; BARICHELLO, R; SAUER, A. V; PIAIA, T. A; PIVA, A. J. D. **Aspectos qualitativos e quantitativos de variedades de alface submetidas a concentrações de pó de rocha em cultivo orgânico.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.5, p.49498-49512, maio de 2021.

LODI, Victor Hugo**. Viabilidade Técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó- SC.** Orientador: Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. 2006. 129 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

LOPES, Alfredo Scheid. **Manual internacional de fertilidae do solo**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2° ed. 186 f. Adaptação do original em inglês International Soil Fertility Manual pelo Potash & Phosphate Institute (PPI) – EUA 1995. Piracicaba-SP.

LOPES, C. A; DUVAL, A. M. Q; REIS, A. **Doenças da Alface.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Hortaliças Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2010.

MAPADAOBRA. **Tipos de brita: conheça as diferenças.** Disponível em:< https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/conheca-os-tipos-de-

brita/#:~:text=Segundo%20a%20Norma%20NBR%207211,veja%20quadro%20com%20as%20granulometrias >. Acesso em 19 mar, 2021.

MARTINAZZO, R; BAMBERG, A. L; SILVEIRA, C. A. P; **Desenvolvimento de Produto: Experiências da Embrapa Clima Temperado**. III Congresso Brasileiro de Rochagem, 2017. Disponível em: < https://docplayer.com.br/79028171-Dados-internacionais-de-catalogacao-na-publicacao-cip-vania-aparecida-marques-favato-crb-8-3301.html >. Acesso em jul, 2022.

MATOS, E. H. S. F. Plantação do Milho Verde. In: MATOS, E. H. S. F. **Cultivo do Milho Verde – Dossiê Técnico**. CTD/UnB, 2007. Disponível em: < https://www.agrolink.com.br/downloads/Cultivo%20do%20Milho%20Verde.pdf >. Acesso em 18 mar, 2021.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron.** Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MENOSSI, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Orientador: Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho. 2004. 110f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

NETO, Jahy Barros. **Aproveitamento Do Pó De Rocha Basáltica Proveniente Da Atividade Mineral Na Forma De Resíduo Para A Aplicação Na Técnica De Rochagem Utilizada Na Agricultura.** Orientador: Prof. Dr. José Avelino Freire. 2018. 64 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Minas, Centro De Tecnologia E Recursos Naturais Unidade Acadêmica De Mineração E Geologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: < https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2018/TRABALHO_EV107_MD4_SA28_ID1071_28052018105227.pdf >. Acesso em 20 fev, 21.

NIEWINSKI, F. S. **Do pó de rocha à fertilidade: uma experiência nos solos de Montenegro/RS.** Orientadora: Profª Drª Maria Lidia Medeiros Vignol-Lelarge. 2017. 79 f. TCC (Graduação) – Curso de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <

https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/172258/001059078.pdf?sequence=1 >. Acesso em 04 de julho de 2022.

NUNES, Jéssica Maria Gregory. **Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem.** Orientadora: Profª. Dra. Cristiane Oliveira Rodrigues. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais em Mineração). Centro Universitário La Salle – Unilasalle, Canoas, 2012. Disponível em: < https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/400685/mod_resource/content/1/ROCHAGEM%20_NUNES.pdf >. Acesso em 20 fev, 21.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. MERCADO DE FERTILIZANTES: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, *[S. l.]*, v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019. Disponível em: < https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/606 >. Acesso em: 20 fev, 21.

PIZA, P. A. T. **Caracterização mineralógica de fontes alternativas para potássio**. In: Jornada de Iniciação Científica, 18., Rio de Janeiro. CETEM/MCT, 2010.

PORPHÍRIO, N. H.; BARBOSA, M. I. M.; BERTOLINO, L. C. 2010. **Caracterização Tecnológica de Minérios – Parte I**. Tratamento de minérios. 5. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, cap. 3, p. 57-81, 2010.

RAIJ, B. **Potássio: Necessidade e Uso na Agricultura moderna.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. POTAFOS. Piracicaba- SP, 1990.

SANTA HELENA MINERAÇÃO E EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS LTDA. Licença de Operação Corretiva – LOC. Parecer único nº 0176984/2017 (SIAM). **Santa Helena Mineração**. Disponível em: http://shmineracao.com.br/. Acesso em: 04 de julho de 2022.

SILVA, J. A. P. **A Mineração de Brita na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.** Orientador: Prof. Dr. Wilson Trigueiro de Sousa. 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado e Engenharia Mineral). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em:<https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3161/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_%20Minera%c3%a7%c3%a3oBritaRegi%c3%a3o.pdf >. Acesso em 18 mar, 2021.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ROCHAGEM: UMA QUESTÃO DE SOBERANIA NACIONAL. **In: XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica**. Gramado, 2011. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/265509414_ROCHAGEM_UMA_QUESTAO_DE_SOBERANIA_NACIONAL >. Acesso em 20 fev, 21.

THEODORO, S. H, *et al.* A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 5, n**.** 6, p. 1390-1407, 2012. Disponível em: < https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232929 >. Acesso em 20 fev, 21.