



**INSTITUTO FEDERAL EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ  
CAMPUS BELÉM**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS  
MESTRADO PROFISSIONAL**

RODRIGO SARAIVA GENTIL

# **APROVEITAMENTO DE REJEITO DE PEDREIRA DE ROCHA GRANÍTICA PARA O USO EM ROCHAGEM**

Belém - PA

2023

RODRIGO SARAIVA GENTIL

**APROVEITAMENTO DE REJEITO DE PEDREIRA DE ROCHA GRANÍTICA PARA  
O USO EM ROCHAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais – PPGEMAT/IFPA-Campus Belém como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização, processamento e aplicação de materiais

Orientador: Dr. Jaime Henrique Barbosa da Costa

Coorientador: Dr. Oscar Jesus Choque Fernandez

Belém - PA

2023

RODRIGO SARAIVA GENTIL

**APROVEITAMENTO DE REJEITO DE PEDREIRA DE ROCHA GRANÍTICA PARA  
O USO EM ROCHAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais – PPGEMAT/IFPA-Campus Belém como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

---

Prof. Dr. Jaime Henrique Barbosa da Costa – Orientador  
Instituto Federal do Pará/Campus Belém/PPGEMAT

---

Prof. Dr. Oscar Jesus Choque Fernandez – Coorientador  
Instituto Federal do Pará/Campus Belém/PPGEMAT

---

Prof. Dr. Alessandro de Castro Corrêa – Membro Interno  
Instituto Federal do Pará/Campus Belém/PPGEMAT

---

Prof. Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos – Membro Externo  
Universidade Federal Rural da Amazônia/Campus Belém/PGAGRO

Belém – PA  
2023

#### **DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)**

---

G338a Gentil, Rodrigo Saraiva.

Aproveitamento de rejeito de pedreira de rocha granítica para o uso  
em rochagem / Rodrigo Saraiva Gentil. – Belém, 2023.  
80 f.

Orientador: Jaime Henrique Barbosa da Costa.

Dissertação (Mestrado: Programa de Pós-graduação em Engenharia de  
Materiais – PPGMAT) – Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Pará – IFPA, 2023.

1. Rochagem. 2. Caracterização. 3. Pedreira. 4. Pó de rocha.  
5. Remineralizador. I. Título.

---

CDD: 631.42

Biblioteca/Instituto Federal do Pará - FPA/Campus Belém – PA  
Bibliotecária Cristiane Vieira da Silva – CRB-2/0013270

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho de dissertação de mestrado a minha família, Rosa Márcia Saraiva Gentil, Ricardo Roberto Pereira Gentil, Márcia Andrea Saraiva Gentil. Além de todos os amigos e demais familiares pelo apoio e incentivo para conclusão do presente trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a Deus e a Nossa Senhora de Nazaré pela sabedoria e pelas graças alcançadas para conclusão deste trabalho.

Aos meus pais Rosa Márcia Saraiva Gentil e Ricardo Roberto Pereira Gentil, que me deram todo o apoio e incentivo para começar e terminar o mestrado. A minha irmã Márcia Andrea Saraiva Gentil que também esteve presente no incentivo.

Aos demais familiares como minha avó Conceição Saraiva que sempre rezou e incentivou para que eu seguisse adiante nos meus estudos e na minha profissão. Aos amigos que deram o apoio e ajuda quando necessário no desenvolver do trabalho.

Ao meu amigo Geólogo e professor, Taylor Collier, que me conduziu no meu TCC, me incentivou e ajudou a entrar no mestrado em Engenharia de Materiais.

A todos os professores do PPGMAT em especial ao meu orientador Prof. Dr. Jaime Henrique Barbosa da Costa, ao meu coorientador Prof. Dr. Oscar Jesus Choque Fernandez e ao Prof. Dr. Gilson da UFRA, onde todos ajudaram de alguma forma em orientação, acompanhamento, sugestões e apoio neste trabalho. Agradecer a ajuda do Rodrigo, Raquel, e demais amigos que fiz ao longo do mestrado onde me apoiaram e me auxiliaram no decorrer.

Agradecer a FAPESPA pela concessão de uma bolsa de mestrado que ajudou bastante no custeio deste presente trabalho.

Agradecer a UFPA, UFOPA, EMBRAPA e Laboratorios Solos e Plantas que realizaram uma parte das análises experimentais desta pesquisa.

Por fim ao PPGMAT pela oportunidade de realizar um sonho de ser mestre em uma área voltado para as Geociências.

## **RESUMO**

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, podendo 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. Esta técnica de rochagem é utilizada na fertilização de solos através de aplicação de rochas cominuídas, onde a mesma pode substituir parcial ou totalmente o uso de fertilizantes químicos. A metodologia adotada no trabalho consistiu da caracterização do rejeito da produção de brita através de análises físicas, químicas e mineralógicas, quais sejam, análise granulométrica, análise por espectroscopia de fluorescência de raios-x, microscopia óptica, difração de raios-x, análises de fertilidade do material, experimento de incubação de solo e rejeito para identificação e melhorias de parâmetros químicos de um solo. Resultados indicam que o material em estudo está dentro de quase todos os parâmetros exigidos seguindo a normativa nº 5/2016 do Ministério da Agricultura para uso como remineralizador de solo. A análise granulométrica do material em estudo indica que este rejeito de pedreira se enquadra na especificação de natureza física dos remineralizadores de acordo com a IN MAPA Nº 05/2016, desde que a fração granulométrica  $> 4,8$  mm passe por uma operação de cominuição. As amostras de rejeito apresentam teores elevados de  $K_2O$  entre 7% a 9%, No presente trabalho indicou-se que o rejeito de pedreira apresenta  $SiO_2$  livre estimado de 40% utilizando a microscopia optica dentro da tolerancia exigida. Em relação aos elementos tóxicos presentes na amostra de rejeito, não foram identificados valores significativos em ppm acima do minimo. Os minerais identificados na amostra de rejeito em estudo através do metodo de difração de raios-x foram Muscovita, Microclínio,Quartzo e Albita.Os resultados referentes a petrografia por microscopia óptica foram identificadas minerais como o quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita e muscovita. Os resultados petrográficos se assemelham com os resultados de difração de raios-X. A incubação do solo com o rejeito feito foram aderentes para a maioria dos parâmetros analisados.

Palavras-chave: Rochagem. Caracterização. Pedreira. Pó de Rocha. Remineralizador.

## **ABSTRACT**

Stonemeal is based on the principle of diversifying nutrient sources, creating new supply options, such as the incorporation of rocks and/or minerals into the soil, and can be considered as a type of remineralization, where rock dust is used to rejuvenate poor soils. or leached, basically based on the search for balance in fertility, conservation of natural resources and sustainable productivity. This rock gem technique is used in soil fertilization through the application of comminuted rocks, where it can partially or totally replace the use of chemical fertilizers. The methodology adopted in the work consisted of the characterization of the waste from the production of gravel through physical, chemical and mineralogical analyses, namely, granulometric analysis, analysis by x-ray fluorescence spectroscopy, optical microscopy, x-ray diffraction, analysis of material fertility, soil and waste incubation experiment to identify and improve soil chemical parameters. Results indicate that the material under study is within almost all the parameters required following the regulation nº 5/2016 of the Ministry of Agriculture for use as a soil remineralizer. The granulometric analysis of the material under study indicates that this quarry waste fits the specification of physical nature of remineralizers according to IN MAPA No. 05/2016, provided that the granulometric fraction > 4.8 mm undergoes a comminution operation. The tailings samples show high levels of K<sub>2</sub>O between 7% and 9%. In the present work it was indicated that the quarry tailings have an estimated free SiO<sub>2</sub> of 40% using optical microscopy within the required tolerance. Regarding the toxic elements present in the waste sample, no significant values in ppm above the minimum were identified. The minerals identified in the tailings sample under study through the X-ray diffraction method were Muscovite, Microcline, Quartz and Albite. The results referring to petrography by optical microscopy identified minerals such as quartz, orthoclase, plagioclase, biotite and muscovite. Petrographic results resemble X-ray diffraction results. The incubation of the soil with the waste made were adherent for most of the analyzed parameters.

**Keywords:** Stonemeal. Characterization. Quarry. Rock Dust. Remineralizers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Circuito de britagem aplicado em pedreiras.....	20
Figura 2- Consumo de fertilizantes (N,P,K) por região no mundo.....	22
Figura 3 - Consumo aparente do Brasil de fertilizantes .....	23
Figura 4 - Mapa de Localização da Coleta do Rejeito de Pedreira e Solo .....	35
Figura 5 - Pedreira de rocha granítica no município de Tracuateua, Nordeste do Pará .....	36
Figura 6 - Fluxograma da Metodologia da Pesquisa .....	37
Figura 7 - Amostra utilizada na confecção das lâminas.....	39
Figura 8 - Metodologia adotada para coleta de solo em São Miguel do Guamá - PA .....	43
Figura 9 - Ensaio de determinação da capacidade de campo.....	45
Figura 10 - Experimento de incubação do solo.....	46
Figura 11 – Microscopia Óptica do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará. (a) e (b) muscovita (Msc), quartzo (Qz), feldspato potássico (Kfs) e plagioclásio (Plg), em nicóis paralelos e nicóis cruzados. (c) e (d) muscovita (Msc), em nicóis paralelos e nicóis cruzados (seta amarela). (e) e (f) feldspato plagioclásio (Plg), em nicóis paralelos e nicóis cruzados (seta amarela). .....	48
Figura 12 - Minerais presentes na amostra pelo método de Difração de Raios – X do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará.....	50
Figura 13 – Resultados da Soma de Bases (%) da pedreira do município de Tracuateua – Pará .....	53
Figura 14 - Gráfico de Teor de K <sub>2</sub> O em % da pedreira do município de Tracuateua - Pará .....	54
Figura 15 - Teores de SiO <sub>2</sub> (%) da pedreira do município de Tracuateua - Pará.....	55
Figura 16 - Curva Granulométrica média do rejeito.....	57
Figura 17 - pH (H <sub>2</sub> O) em 30 e 60 dias de incubação .....	60
Figura 18 - P - Resina (mg dm <sup>3</sup> ) em 30 dias de incubação .....	61
Figura 19 - K (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias de incubação .....	62
Figura 20- Ca (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias de incubação .....	63
Figura 21 - Mg (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias de incubação .....	64
Figura 22 - Al (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias de incubação.....	65

Figura 23 – SB (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias de incubação .....	66
Figura 24 – T (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias de incubação .....	67
Figura 25 – t (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias de incubação .....	68
Figura 26 – V (%) em 30 e 60 dias de incubação .....	69
Figura 27– m (%) em 30 e 60 dias de incubação .....	70

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Teor Máximo estabelecido para elementos potencialmente tóxicos segundo (MAPA, 2016) .....	29
Tabela 2 - Resultados da análise por fluorescência de raios-X por fração granulométrica do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará.....	51
Tabela 3 - Soma de Bases do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará .....	52
Tabela 4 - Teor de K <sub>2</sub> O da pedreira do município de Tracuateua - Pará.....	53
Tabela 5 - Teores de SiO <sub>2</sub> da pedreira do município de Tracuateua - Pará .....	54
Tabela 6 - Parâmetros da distribuição granulométrica da alíquota 5 da pedreira do município de Tracuateua – Pará. ....	56
Tabela 7 - Parâmetros da distribuição granulométrica da alíquota 8 da pedreira do município de Tracuateua – Pará. ....	56
Tabela 8 - Média dos parâmetros da distribuição granulométrica da alíquota 5 e 8 da pedreira do município de Tracuateua – Pará.....	56

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Anexo I - Especificações de natureza física dos remineralizadores.....	27
Quadro 2 - Anexo III - Tolerâncias admitidas para remineralizadores com relação á especificação de natureza física. ....	28

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 ASPECTOS GERAIS .....	18
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.2.1 Objetivo Geral .....	18
1.2.2 Objetivos Específicos.....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 PRODUTOS E RESÍDUOS GERADOS NA MINERAÇÃO DE GRANITO .....	19
2.2 DEPENDÊNCIAS DE INSUMOS AGRÍCOLAS .....	21
2.3 ROCHAGEM E REMINERALIZADORES: PRINCÍPIOS E PROCESSOS.....	23
2.4 INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5/2016 DO MINISTÉRIO DE AGRICULTURA (MAPA) .....	26
2.5 TRABALHOS REALIZADOS SOBRE O TEMA ROCHAGEM .....	30
2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A EXPLORAÇÃO DE PEDREIRA ..	33
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
3.1 MATERIAIS.....	34
3.2 METODOS.....	37
3.2.1 Preparação das amostras .....	38
3.2.2 Caracterização mineralógica do rejeito de pedreira .....	39
3.2.3 Caracterização Química .....	41
3.2.4 Caracterização física .....	42
3.2.5 Coleta e análise do solo .....	43
3.6 EXPERIMENTO DE INCUBAÇÃO DO REJEITO NO SOLO .....	44
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO REJEITO .....	47
4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO .....	51
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	56
4.4 INCUBAÇÃO DO SOLO COM O REJEITO.....	59
4.4.1 Resultados pH ( $H_2O$ ) em 30 e 60 dias.....	60
4.4.2 Resultados de P - Resina (mg dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias .....	61
4.4.3 Resultados de K (mg dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias.....	62
4.4.4 Resultados de Ca (cmolc dm <sup>3</sup> ) Mg (cmolc dm <sup>3</sup> ), Al (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias.....	63
4.4.5 Resultados de SB (cmolc dm <sup>3</sup> ), CTC Total (cmolc dm <sup>3</sup> ), CTC Efetiva (cmolc dm <sup>3</sup> ) em 30 e 60 dias .....	66
4.4.6 Resultados de Saturação por base V (%) e Saturação por Alumínio m (%) em 30 e 60 dias.....	69
4.5 A ROCHAGEM DO REJEITO DE PEDREIRA COMO ALTERNATIVA REMINERALIZADORA DO SOLO .....	71
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>75</b>

<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A rochagem é uma técnica utilizada na fertilização de solos através da aplicação de rochas cominuídas, pois trata-se de uma alternativa que pode substituir parcial ou totalmente o uso de fertilizantes químicos solúveis (RAMOS, 2014).

Os finos de pedreira, considerados como rejeitos, são acumulados em áreas restritas ao redor das centrais de britagem, em superfície, por não apresentarem um uso apropriado (SOARES e MENDES apud DÉSIR *et al.*, 1999).

A agricultura moderna faz uso de elevada quantidade de fertilizantes e corretivos a anos, a fim de proporcionar um aumento da produção, de modo a atender aos critérios econômicos, e ao mesmo tempo tentando conservar a fertilidade e a biodiversidade do solo, com redução de problemas no ambiente (RAIJ, 2011).

É inerente que o potássio, assim como o fósforo, outro importante nutriente, tem origem exclusiva em materiais rochosos (MANNING, 1995).

Segundo dados do IPNI - International Plant Nutrition (2017) a produção de potássio em 2017 no Brasil foi de aproximadamente 484 mil toneladas métricas de K<sub>2</sub>O, sendo necessário ainda a importação do equivalente a 9,2 milhões de toneladas de K<sub>2</sub>O para atender ao consumo deste fertilizante do país. Visto esse cenário é importante ressaltar a dificuldade de importação frente ao cenário de guerra entre Ucrânia e Rússia, será cada vez mais necessário a produção nacional.

O Brasil é fortemente dependente de fertilizantes importados, assim como a América Latina e o Caribe que apresentam um saldo negativo de demanda/oferta de N, P e K. O Brasil, é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo e quase 74% são importados (N - 75%; P - 51%; K - 91%). De 2007 a 2017, as importações de NPK aumentaram mais de 100%, chegando a US\$ 2,75 bilhões em 2017. A capacidade de produção está estagnada, e a capacidade real de abastecimento aumenta menos que a demanda, levando a um saldo negativo esperado superior a 6,5 milhões de toneladas, para a região.

A situação é agravada pelas perdas estimadas de 50% dos nutrientes utilizados pelos agricultores: compostos altamente solúveis de N e K são lixiviados pela chuva e o P é fortemente retido nos solos ricos em ferro (III) e alumínio. As importações de nitrogênio poderiam diminuir se novas usinas de amônia e ureia fossem construídas no país, beneficiando-se do aumento da produção de petróleo e gás. No entanto, P e K dependem da disponibilidade de minérios. A África tem grandes saldos positivos em N e P, o que é muito importante porque este continente pode potencialmente sofrer um grande crescimento na sua produção agrícola. Por este motivo, a dependência brasileira das importações pode deixar este país em condições estrategicamente precárias, se a agricultura se desenvolver na África nas próximas décadas, análogo ao que aconteceu no Brasil desde a década de 1970 (GALEMBECK, 2019).

Assim, nas últimas três décadas os estudos vêm se intensificando na busca de fontes alternativas de minerais que contribuem com a nutrição do solo, com ênfase no potássio. Nesse sentido a vertente de pesquisa que vem ganhando espaço está relacionada aos remineralizadores, que são entendidos como fontes de liberação lenta de nutrientes (MARTINS & THEODORO, 2010; RESENDE et al., 2012; THEODORO et al., 2013; BAMBERG et al., 2016).

A tecnologia da aplicação de pó de rocha (rochagem) pode se configurar como uma excelente alternativa nos dias de hoje, pois, uma vez que o Brasil apresenta uma enorme geodiversidade e que, portanto, pode viabilizar o uso de diferentes tipos de rochas, em diferentes regiões, para alcançar padrões de fertilidade compatíveis com as necessidades regionais e ainda facilitar mecanismos de desenvolvimento regional, dentro de padrões mais sustentáveis (THEODORO, 2000).

A rochagem representa uma ótima alternativa também sob o aspecto social e ambiental, uma vez que promove o aproveitamento de grandes quantidades de rejeitos de pedreiras e da mineração, este trabalho viabiliza e minimiza os danos causadores destes rejeitos para a região de estudo.

A rochagem tem a diversificação de fontes de nutrientes, criando novas opções de suprimento, como a incorporação de rochas e/ou minerais ao solo, podendo ser considerada como um tipo de remineralização (termo utilizado também para rochagem), 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 (LEONARDOS et al. 1976).

A aplicação de pó de rocha na agricultura está relacionada às suas características minerais e a sua interação com o meio no qual será aplicado, visando melhorar as condições de fertilidade do solo com isso é de suma importância a caracterização do material para saber sua composição tanto mineralógica como química (NUNES 2012)

As pilhas de rejeito em estoque normalmente geram obstruções visuais e tendem a interferir na paisagem preexistente através da inserção de uma massa de material anteriormente ausente (NICHOLSON 1996)

Alerta que a extensão e os impactos causados ao meio ambiente por uma atividade de mineração estão relacionados com o porte do empreendimento, a localização, as características sociais e ambientais do entorno, as propriedades do jazimento e as tecnologias de lavras e tratamento utilizados (TAVEIRA 1997)

O uso dos chamados remineralizadores de solo, sob a forma de ‘pó de rocha’ (rochagem / “rocks-for-crops”), com a exploração e uso de rochas e minerais, é uma técnica antiga, e surge como mais uma alternativa, porém, seu uso na agricultura atual depende ainda de estudos técnicos, econômicos e ambientais, para se tornar tecnologia efetiva e viável (LAPIDOLLOUREIRO et al., 2008).

Resultados positivos como, aumento de pH, melhora da estrutura do solo e suprimento de macro e micronutrientes têm sido apontados em trabalhos conduzidos por pesquisadores, grupos de estudos e agricultores ao utilizarem pó de rocha em substituição total ou parcial dos fertilizantes. Os principais resultados e o maior número de pesquisas, são observados no âmbito da agricultura familiar e em sistemas agroecológicos de produção (THEODORO et al., 2006; RIBEIRO et al., 2010; BRANDÃO, 2012; THEODORO et al., 2012; SOUZA, 2014).

Na área mineral são pesquisadas as rochas e minerais portadores de nutrientes que possam ser usados como fonte alternativa, em complementação ou substituição ao uso dos fertilizantes convencionais.

A caracterização além da identificação da mineralogia, composição química do material presente, ela poderá ser utilizada para que este material tenha um destino na agricultura dependendo dos resultados obtidos.

Um destino adequado para esses rejeitos é de suma importância, visto que ao ser empilhado ou descartado podem afetar diretamente o meio ambiente como rios, encostas e até mesmo comunidades próximas.

## 1.1 ASPECTOS GERAIS

Este trabalho foi realizado com um resíduo do processamento de rocha britada do município de Tracuateua na região Nordeste do Estado do Pará, a aproximadamente 188 km de Belém. Tracuateua pertence à Mesorregião Nordeste Paraense e à Microrregião Bragantina (FAPESPA 2016). Este município abriga uma pedreira de rocha ígnea, com granulação média, classificada como um granito.

Os finos de pedreira (granulometria <4,8mm), material de estudo, são considerados rejeitos em uma pedreira de grande porte. Apresentam-se estocados em grandes quantidades na forma de pilhas, e por isso podem produzir impactos ambientais pela poeira gerada, pela possibilidade de assoreamento de drenagens e pelo espaço ocupado na própria pedreira.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a possibilidade de aproveitamento do rejeito de rocha britada de uma pedreira presente no Município de Tracuateua no estado do Pará para uso como remineralizador de solo na agricultura.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar as composições química e mineralógica do rejeito de pedreira;
- Determinar a distribuição granulométrica do rejeito de pedreira.
- Realizar a incubação de uma amostra de solo com o rejeito de pedreira.
- Verificar o potencial do rejeito de pedreira como remineralizador para fins de rochagem.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PRODUTOS E RESÍDUOS GERADOS NA MINERAÇÃO DE GRANITO

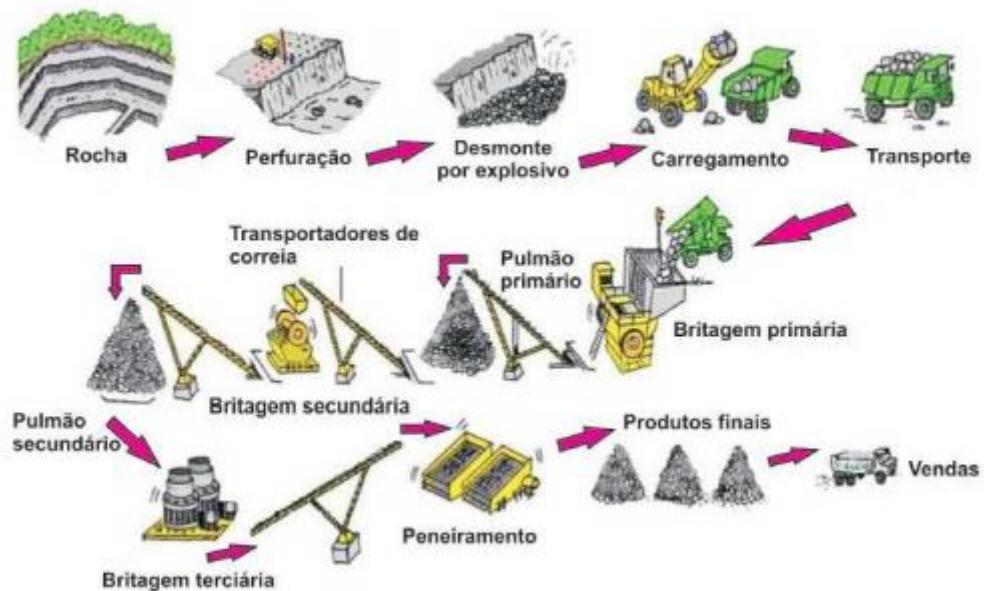
A indústria de mineração e beneficiamento de granitos é uma das áreas promissoras de negócios do setor mineral, apresentando um crescimento médio na produção mundial estimado em 6% ao ano, e com uma comercialização de materiais brutos e produtos acabados/semi-acabados que movimenta em torno de US\$ 6 bilhões/ano no mercado internacional (LISBÔA, 2004).

De acordo com a ABIROCHAS (2006), a produção brasileira abrange em torno de 600 variedades de rochas comercializadas nos mercados interno e externo, com 1.600 lavras ativas; 12.000 empresas operando na cadeia produtiva e gerando 130.000 empregos diretos. A capacidade de produção da indústria brasileira de rochas é de 50-60 milhões m<sup>2</sup>/ano de rochas processadas.

Uma das principais operações para a produção dos minerais utilizados na construção civil é a britagem, que é caracterizada como um processo primário de cominuição e consiste na quebra da rocha, principalmente, pela ação de esforços compressivos ou de impacto. Os principais equipamentos utilizados na britagem em pedreiras são os britadores de mandíbulas e os cônicos (CHAVES e PERES, 2003). A extração e beneficiamento da pedreira em estudo é para rochas que serão utilizadas como agregado graúdo (brita) na construção civil.

O número de estágios de britagem depende do tamanho da alimentação e da qualidade do produto final. Na Figura 1 é demonstrado um circuito clássico de cominuição em uma pedreira.

Figura 1 - Circuito de britagem aplicado em pedreiras.



Fonte: IRAMINA *et al* (2009).

Segundo NUNES *et al.* (2002), nos dias atuais o desenvolvimento sustentável é disseminado por toda a sociedade. É importante que a atividade mineradora mantenha o equilíbrio entre o crescimento econômico e a conservação do meio ambiente. Por isso a pesquisa para utilização dos resíduos gerados durante a exploração mineral, como por exemplo, aqueles provenientes das operações em pedreiras, como o pó de rocha, se torna importante na busca de uma sustentabilidade para o setor mineral.

A eliminação ou o reaproveitamento dos resíduos industriais gerados por empresas de beneficiamento mineral é um dos grandes desafios para mitigar os impactos ambientais, o que leva pesquisadores ligados ao setor a estudarem o uso deste resíduo em aplicações, principalmente na indústria da construção civil. A cada dia torna-se necessário inicialmente quantificar esses resíduos para serem reaproveitados.

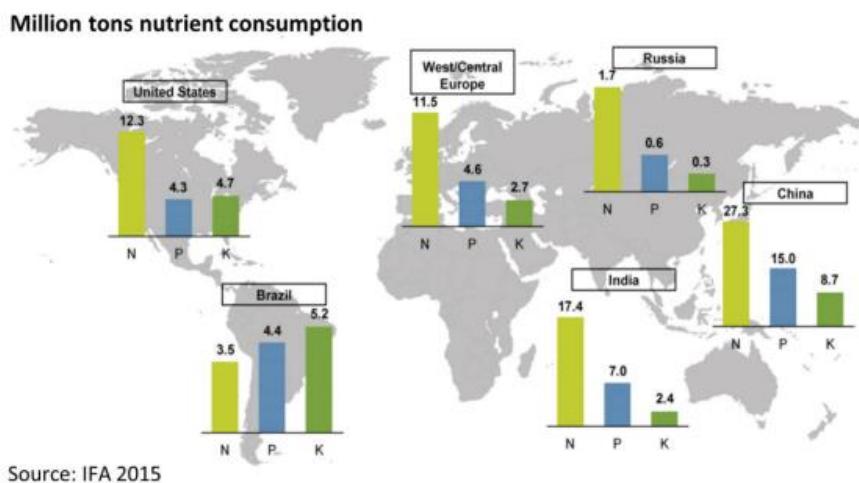
## 2.2 DEPENDÊNCIAS DE INSUMOS AGRÍCOLAS

De acordo com o Boletim da FAO (Organização para a Alimentação e Agricultura), o consumo mundial dos três principais nutrientes de fertilizantes que são, nitrogênio (N), fósforo expresso como fosfato ( $P_2O_5$ ), e potássio expresso como óxido de potássio ( $K_2O$ ), foi estimada em 186,67 milhões de toneladas (N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ ) em 2016, um aumento de 1,4% em relação aos níveis de consumo de 2015. A demanda por N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  estavam previstos para crescer anualmente em média 1,5 %; 2,2 % e 2,4 % respectivamente, de 2015 a 2020. Neste período, a capacidade global de produção de fertilizantes, intermediários e matérias-primas também deveria aumentar de acordo com os boletins anuais mais recentes (GALEMBECK, 2019).

Os Boletins da FAO (Organização para a Alimentação e Agricultura) fornecem dados sobre a situação global e regional equilíbrio oferta/demande de fertilizantes. O equilíbrio global é a diferença entre oferta e demanda total (incluindo demanda de fertilizantes + demanda não fertilizante). O equilíbrio regional é um indicador de médio prazo de mudanças potenciais na demanda e oferta de nutrientes de fertilizantes na região. As previsões sobre a demanda consideram a área cultivada e taxa de aplicação de fertilizantes, feedback do mercado, estimativas por setor associações, modelos de crescimento, modelos econôméticos e consultoria especializada. Outros fatores importantes são imprevistos: matéria-prima e/ou matéria-prima limitações, problemas logísticos, paradas não programadas na mineração e transporte por motivos técnicos, calamidades naturais (terremoto, inundação de minas, etc.), também vale destacar um cenário de guerra ou conflito entre países (GALEMBECK, 2019).

Dados da indústria mostram um crescimento constante na produção e uso de fertilizantes nos últimos trinta anos. Quase metade do consumo é de fertilizantes N, seguido de P e K no mundo. Três culturas consomem 45% da produção de N + P + K: trigo, arroz e milho. As oleaginosas requerem 13%, 16% são usadas para frutas e hortaliças, 4% para as culturas de açúcar e a mesma quantidade é usada para o algodão. O Brasil está entre os cinco principais mercados de fertilizantes e o Perfil brasileiro de consumo de N, P e K difere dos demais principais consumidores (GALEMBECK, 2019).

Figura 2- Consumo de fertilizantes (N,P,K) por região no mundo.

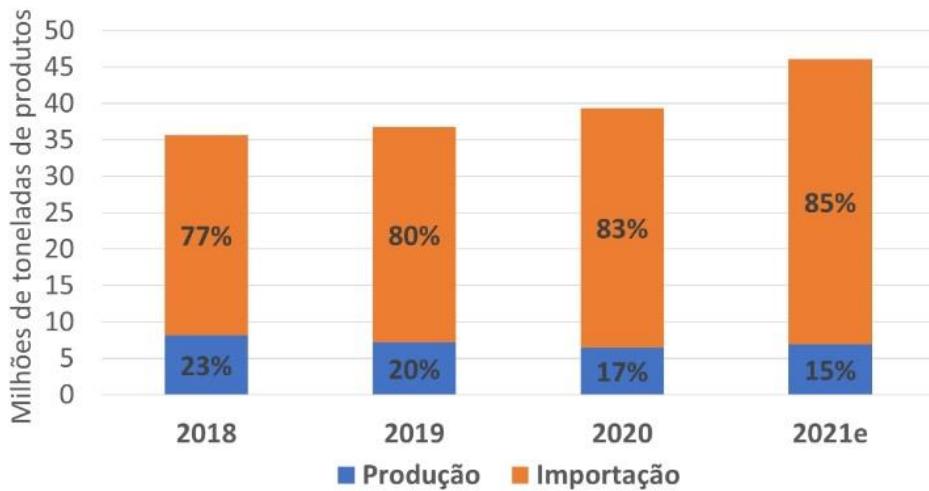


Fonte: IFA, (2015).

A demanda de vários países varia muito, devido às diferenças no padrão e tamanho da cultura, mas também no rendimento alcançado por hectare. A China mostra os maiores rendimentos de trigo e arroz, enquanto os EUA e a Argentina são os líderes em milho e soja. Curiosamente, todos os países que apresentam maiores rendimentos de arroz/hectare estão na Ásia. O Brasil já apresenta um avanço em produção, produtividade, e eficiência em vários sistemas de produção, porém ainda carece a importação de insumos, como o exemplo os fertilizantes e princípios ativos para manejo de pragas (GALEMBECK, 2019).

A guerra entre Rússia e Ucrânia deixou claro a forte dependência do agronegócio brasileiro em relação a fertilizantes importados. Segundo dados da Insper Agro Global, o Brasil detém um consumo de 8,3% da produção global, fica atrás apenas da China (24%), da Índia (14,6%) e dos Estados Unidos (10,3%). Juntando todos os países eles representam 60% do consumo mundial. Porém vale destacar que o Brasil é o único que tem produção doméstica de baixa relevância, onde se coloca o Brasil como o maior importador de fertilizantes do mundo. No presente cenário, o país apresenta cerca de 85% dos fertilizantes consumidos de origem estrangeira, essa dependência externa vem se elevando a cada ano com o aumento da demanda por insumos agrícolas.

Figura 3 - Consumo aparente do Brasil de fertilizantes



Fonte: Elaborado pelo Insper Agro Global, com base em dados da ANDA (2022)

É necessário que o país produza cada vez mais fertilizantes e buscar alternativas como a rochagem para suprir as necessidades nacionais como internacionais e assim ser considerado um mega produtor mundial deste insumo.

### 2.3 ROCHAGEM E REMINERALIZADORES: PRINCÍPIOS E PROCESSOS

A tecnologia da rochagem foi primeiramente divulgada e sugerida no Brasil na década de 1950, pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko, no estado de Minas Gerais. Posterior a divulgação e a sugestão de tal técnica inovadora e de caráter sustentável, o professor e pesquisador Othon Leonards, da Universidade de Brasília (UNB), partiu para diversas pesquisas relacionadas ao tema, sendo hoje considerado um grande precursor da rochagem no Brasil e referência para diversos trabalhos ligados a esse tema (LINS *et al.*, 2009).

A rochagem, remineralização e petrofertilização são termos utilizados para designar a técnica de fertilização do solo empregando o processo natural de aplicação de partículas minerais (MACHADO *et al.*, 2009). Esta técnica incorpora ao meio frações minerais pulverizadas permitindo recompor os

nutrientes minerais em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo uso inadequado e intensivo pela agricultura.

Segundo Nunes (2012), as partículas de rocha são utilizadas para aumentar as concentrações de nutrientes em solos deficientes destas substâncias, devido às lixiviações ou características naturais do ambiente. A rochagem é uma técnica fundamentada na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e na produtividade naturalmente sustentável do solo. Sendo assim, esta é uma técnica alternativa ou complementar de fertilização, mais indicada para pequenas propriedades, especialmente na agricultura familiar.

Mais recentemente, a utilização de pó de rocha vem sendo pesquisada quanto ao seu potencial agronômico, sobretudo no suprimento de potássio, em várias regiões do Brasil (MELAMED, GASPAR & MIEKELEY, 2007).

O aproveitamento das rochas, como fontes restituidoras de nutrientes para as plantas, recuperadora e renovadora do solo, pode configurar uma tecnologia alternativa capaz de auxiliar na redução do uso de produtos químicos, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso dos adubos em formulações NPK (PINHEIRO; BARRETO, 1996; THEODORO, 2000).

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, podendo 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 (LEONARDOS, 1976).

Devido aos baixos teores solúveis de nutrientes em pó de rochas, esse material tem sido pouco utilizado como fertilizante para as plantas. Sua maior desvantagem reside na dificuldade de liberação dos nutrientes que, geralmente, estão temporariamente indisponíveis para os vegetais (HARLEY; GILKES, 2000).

Segundo Amparo (2003), a utilização de partículas minerais pode apresentar algumas vantagens em relação aos fertilizantes solúveis, como por exemplo, a economia de mão-de-obra, pois as rochas possuem baixa

solubilidade, não necessitando adubação frequente devido ao seu efeito residual prolongado, reduzindo assim a dependência de fertilizantes industrializados e diminuindo custos. Outras vantagens podem ser a correção do pH, possibilitando seu reequilíbrio; a não salinização do solo evitando que a planta absorva potássio e nitrogênio em excesso, como ocorre com o uso de adubos solúveis e diminuição da fixação do fósforo solúvel pela presença de sílica e óxidos de ferro e alumínio. Também, as partículas minerais contribuem para o crescimento da atividade de microrganismos e de minhocas, aumentando a reserva nutricional do solo e a quantidade e qualidade do húmus e da matéria orgânica, refletindo no melhor desenvolvimento das culturas e proporcionando maior resistência das plantas à ação de pragas, doenças, secas e geadas, devido à melhora do estado nutricional do meio, diminuindo assim, o uso de pesticidas e herbicidas, ajudando a reduzir custos (AMPARO, 2003). A vantagem de utilizar o pó de rocha é principalmente no ramo da agricultura, pois além de permitir que pequenas reservas ou resíduos de exploração sejam aproveitados, constitui-se em adubação mais completa e com vários nutrientes. Porém, além da escolha da rocha adequada, é preciso que se estabeleça um sistema mais eficiente para promoção da disponibilidade dos nutrientes nela encontrados.

Os efeitos gerados pela adubação utilizando pó de rocha podem se estender por até quatro ou cinco anos consecutivos devido à disponibilização lenta dos nutrientes (THEODORO, 2000). Com isso, o estudo e desenvolvimento de novos fertilizantes têm crescido nos últimos anos e a rochagem tem apresentado vantagens, devido principalmente aos custos, transformação de resíduos em produtos e ampliação de mercado para novos produtos de pedreiras (LOUREIRO et al., 2009).

Um dos fatores que justifica o uso de pó de rocha vulcânica ácida na agricultura refere-se principalmente à possibilidade de reduzir o uso de fertilizantes que evidenciam que a economia no custo de produção pode atingir até 50% com o uso da rochagem (THEODORO, 2000).

O pó de rocha em geral, é um material de baixo custo e de produção descentralizada, sendo recomendável para a remineralização de solos (GILLMAN, 1980).

Os finos de pedreira são conhecidos como pó de rocha ou areia artificial, de acordo com a norma NBR-9935 (ABNT, 1987b).

A classificação dos produtos de pedra britada varia bastante, de acordo com a região de estudo, devido cada uma detém uma mineralogia e uma planta de produção própria cuja granulometria depende do produto pretendido. Assim os finos de pedreira são variáveis. Fujimura e colaboradores (1996) consideram “finos de pedreira” o material de granulometria inferior a 4,8 milímetros (mm), derivados de processos como perfuração, detonação e britagem de rocha.

#### 2.4 INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5/2016 DO MINISTÉRIO DE AGRICULTURA (MAPA)

Desde 2016, no Brasil, existe uma Instrução Normativa (IN), número 5, do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que visa estabelecer regras no que tange remineralizadores e substratos para plantas.

Os remineralizadores de solo foram definidos no Brasil na Lei nº 12.890/2013: “classificado como material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio de adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013).

A referida Instrução Normativa abrange basicamente a granulometria na qual o material está enquadrado.

A classificação granulométrica adotada pelo MAPA para os produtos agronômicos, em particular os remineralizadores, está em anexo da IN MAPA 05/2016, e é distinta da classificação adotada pela mineração. A granulometria dos produtos agronômicos possui três Classes: Farelado, Pó e Filler, respectivamente da granulometria mais grosseira a mais fina. Estas especificações são também empregadas para os produtos fertilizantes químicos.

- A granulometria do produto farelado (grosso), correspondendo a da Areia Grossa ( $2 \text{ mm} < 100\% < 5 \text{ mm}$ ),
- A do Pó (intermediário), correspondendo a textura de Areia Média ( $0,4 \text{ mm} < 100\% < 2 \text{ mm}$ )
- O Filler abrangendo faixas granulométricas da Areia Fina e menores (Silte e Argila).

Quanto a natureza física dos remineralizadores, a IN MAPA Nº05/2016 refere-se que o pó de rocha deve ter como mínimos passantes em peneiras:

- 100 % das passantes peso/peso na peneira 2,00 mm (ABNT nº 10);
- No mínimo 70% das partículas passantes em peso/peso na peneira 0,84 mm (ABNT nº 8);
- No mínimo 50% das partículas passantes em peso/peso na peneira 0,3 mm (ABNT nº 50).

Seguem as especificações completas sobre o que se diz respeito da natureza física exigida para remineralizadores segundo a IN MAPA Nº05/2016.

Quadro 1 - Anexo I - Especificações de natureza física dos remineralizadores

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

Fonte: Instrução Normativa nº 5/2016 (MAPA).

A normativa também leva em consideração as tolerâncias admitidas para que o material seja utilizado como remineralizador, segundo sua natureza física.

Quadro 2 - Anexo III - Tolerâncias admitidas para remineralizadores com relação á especificação de natureza física.

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

Fonte: Instrução Normativa nº 5/2016 (MAPA).

Dentre as garantias mínimas também estão destacadas a presença mínima de 1% óxido de potássio ( $K_2O$ ). Assim como soma de bases maior ou igual a 9%. Entende-se soma de base como a soma dos teores de  $CaO + MgO + K_2O$  ou a soma dos teores de  $CaO + K_2O$  ou, ainda, a soma dos teores de  $MgO+K_2O$  (MAPA, 2016).

Cabe destacar que a IN MAPA Nº 05/2016 também estabelece as tolerâncias para deficiência de nutrientes. No caso da soma de bases, a tolerância para deficiência desses teores é de 10%. Em relação ao teor de óxido de potássio, a deficiência é de 25% para menos, sem ultrapassar uma unidade.

O segundo inciso proíbe a produção, importação ou comercialização de remineralizadores que contiverem:

- Teor de  $SiO_2$  livre presente no produto superior a 25%, com tolerância de 20% para mais;
- Presença de elementos potencialmente tóxicos acima dos valores apresentados na Tabela 1 a seguir, na qual constam também as tolerâncias para excesso destes contaminantes.

Tabela 1 - Teor Máximo estabelecido para elementos potencialmente tóxicos segundo (MAPA, 2016)

Elementos Potencialmente Tóxicos	Teores Máximos (ppm)	Tolerância
Arsénio (As)	15	
Cádmio (Cd)	10	
Chumbo (Pb)	200	Até 25% para mais em relação aos valores definidos
Mercúrio (Hg)	0,1	

Fonte: Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016 (MAPA, 2016).

## 2.5 TRABALHOS REALIZADOS SOBRE O TEMA ROCHAGEM

Segundo trabalho de Kautzmann (2004), onde foi realizado caracterização de pó de rocha vulcânica para o uso em rochagem no nordeste do Rio Grande do Sul, apresentou resultados favoráveis no que diz respeito a caracterização com difração de raios – X e espectroscopia de massa, além de extração com ácido cítrico. Os resultados mostraram a potencialidade de aplicação em rochagem, onde as características da composição com conteúdo relevante de Ca e Mg na forma de carbonatos, e com alta alcalinidade. Além da disponibilidade de fósforo foram satisfatórias e de potássio mediano, encontrados também micronutrientes como zinco, boro, cobre, ferro e manganês passíveis de disponibilidade.

No trabalho de Nunes (2012), caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem, foram realizados estudos de caracterização física, físico-química, química e mineralógica na estimativa de disponibilidade de nutrientes em meio aquoso e de aplicação na rochagem de partículas de basalto proveniente de quatro empresas localizadas no Distrito Mineiro do município de Nova Prata, no Rio Grande do Sul. Foram preparadas amostras e caracterizadas quanto a umidade, massa específica, classificação granulométrica, área superficial, potencial zeta, capacidade de troca catiônica e composição elementar e mineralógica. Foram utilizadas técnicas de difração e fluorescência de raios-X para identificação de fases minerais e óxidos presentes nas amostras. Estudos em escala de laboratório foram realizados para estimar a aplicação das partículas de basalto, em diferentes concentrações na técnica de rochagem para cultivo de milhos. Os resultados apresentados foram que as amostras apresentam valores baixos de umidade, valores médios de massa específica  $2,67 \text{ g/cm}^3$  e de capacidade de troca catiônica  $1,31 \text{ meq.g}^{-1}$ . As amostras estudadas apresentaram uma densidade de carga negativa em todas as faixas de pH. A aplicação das partículas de basalto no cultivo de milhos mostrou bons resultados para os parâmetros de desenvolvimento vegetal avaliados no estudo, confirmando a possibilidade da utilização das amostras para rochagem. Assim, diante de todos estes resultados o autor concluiu que as amostras de basalto estudadas demonstraram viabilidade de aplicação na rochagem.

Em um trabalho de Alves e Monte (2019), foram feitos levantamento de resíduos e rejeitos e o potencial de diversificação de produto da atividade mineral na região centro-oeste para agrominerais. Neste trabalho foram avaliadas 3 amostras de resíduos provenientes de 2 mineradoras localizadas na região do Centro-Oeste do Brasil. Foi utilizada a IN MAPA Nº 05/2016 para possível uso como remineralizadores. Foram analisadas 3 amostras. A amostra 1 apresentou uma distribuição granulométrica predominante ( $> 98,5\%$ ) como filler e as amostras 2 e 3 com percentuais próximos de 50% como farelo e de 34 a 21,6% como filler, respectivamente. Quanto ao requisito soma de bases, as amostras 1 e 2 apresentaram teores de 8,8 e 7,1%, respectivamente, abaixo do mínimo recomendado (9%), já a amostra 3 apresentou um valor acima (33,5%). O teor de K<sub>2</sub>O foi superior a 1% em todas as amostras. O teor de quartzo (SiO<sub>2</sub>) livre foi superior a 25% nas amostras 1 e 2, já na amostra 3 este valor ficou abaixo, correspondendo a 2,5%. A concentração dos elementos tóxicos As, Cd, Hg e Pb apresentaram-se abaixo dos limites estabelecidos pela IN MAPA Nº 05/2016, porém, apresentando índices elevados de Al e Na, além de alguns macros e micronutrientes.

Os trabalhos destacados foram importantes para efeitos de referências bibliográficas, visto que as metodologias adotadas foram semelhantes com as utilizadas no trabalho em questão.

No protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo da EMBRAPA (2019) a incubação nada mais é do que a mistura de solo com o insumo/produto/remineralizador a ser testado, em doses e granulometrias de interesse. O método possibilita realizar um grande número de combinações entre os fatores de tratamento (tipo de solo, granulometria e dose do remineralizador, tempo de incubação...).

O período de incubação deve ser feito de até 12 meses com amostragem de solo mensais, trimestrais ou semanais, sendo que a primeira amostragem poderá ser realizada após uma semana de incubação. Ao final do período de incubação é possível determinar a reatividade que é a liberação dos nutrientes para a solução do solo, a dose e a granulometria de cada remineralizador nos diferentes solos testados.

Sugere-se utilizar no mínimo 300g de solo seco, para uma análise completa de solo é necessário no mínimo 100g, portanto, a necessidade de 300g para assim possível realizar até três amostragens.

Para experimentos de amostras mensais, é necessário aproximadamente 1,2 kg de solo seco.

A umidade do solo incubado deve ser mantida em 80% da capacidade de retenção de água do solo.

Por fim o protocolo agronômico foi desenvolvido levando em conta princípios básicos de experimentação agronômica, conhecimentos de fertilidade do solo e de nutrientes para as plantas, para atender objetivos como: testar a capacidade dos remineralizadores em alterar positivamente uma ou mais variáveis respostas da cultura-alvo ou do solo, demonstrar que o produto atua na nutrição e/ou desenvolvimento da planta, direta ou indiretamente, ou no condicionamento do solo. Este protocolo é proposto no auxílio e na adequação da eficiência agronômica dos remineralizadores de solo onde pode constatar que essa categoria de insumo agrícola altere os índices de fertilidade do solo por meio de adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promover a melhoria das propriedades físico-químicas ou da atividade biológica do solo. Para assim promover informações tais como granulometrias mais adequadas, doses mais eficientes, culturas responsivas e tipos de solos com maior probabilidade de resposta (EMBRAPA, 2019)

## 2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A EXPLORAÇÃO DE PEDREIRA

Mendes (1999) identifica os tipos de impactos ambientais associados à exploração de pedreiras devido a geração de finos que são:

Poluição atmosférica através de emissão de materiais particulados presentes nos depósitos.

Alterações no regime hidrológico promovendo turvamento, assoreamento e mudanças nas seções das calhas dos cursos de água, trazendo consequências praticamente irreversíveis a manutenção de um micro-sistema biológico, danificando o habitat das espécies que dependem deste meio.

Ocupações indevidas de áreas devido à necessidade de estocagem de rejeitos gerados. Muitas vezes, estas estocagens, tendem a esterilizar terrenos que poderiam servir a utilizações mais nobres ou até mesmo promover poluição do solo.

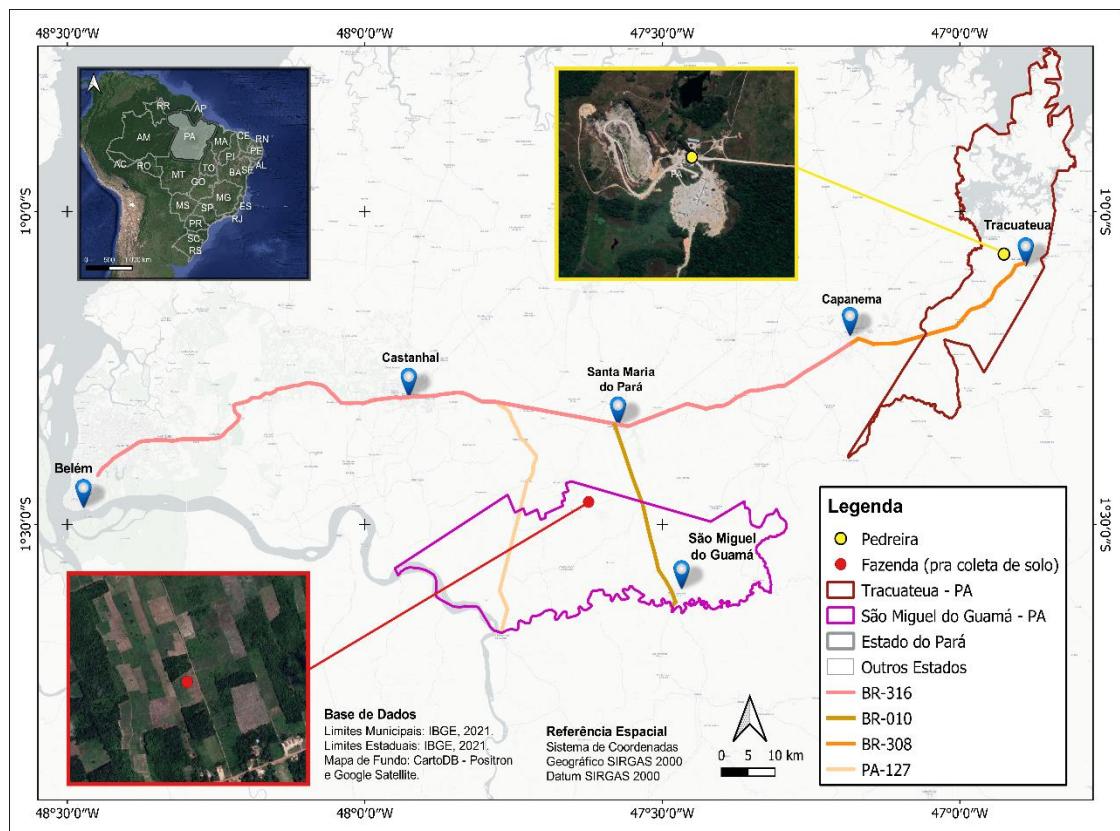
Ruídos e vibrações geradas durante as explosões, Trituração, esmagamento e transporte de rochas.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

O material que foi utilizado neste trabalho é um resíduo do processamento de rocha britada de uma pedreira do município de Tracuateua da região Nordeste do Estado do Pará. Situado a aproximadamente 188 km de Belém. Tracuateua pertence a Mesorregião Nordeste Paraense e Microrregião Bragantina. O acesso ao município é realizado através de vias rodoviárias, sendo que a principal é a rodovia BR-316, por onde se chega a Capanema, a partir de Belém. Através da Rodovia Estadual PA-242. Daí, até encontrar a PA- 450 através da qual chega-se à cidade de Tracuateua – PA. As coordenadas da pedreira no município são: latitude: 1° 4'10.24"S/ longitude: 46°55'39.70"O. Foi realizado também coleta de solo no município de São Miguel do Guamá – PA, em uma propriedade particular localizada em Urucuri. A distância aproximadamente de 120 km da capital Belém – PA para se fazer o experimento de incubação do solo com o rejeito de pedreira (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de Localização da Coleta do Rejeito de Pedreira e Solo



Fonte: O autor.

O rejeito da pedreira foi armazenado em pilhas durante anos de processamento (Figura 5) de onde foi realizado uma coleta de aproximadamente 50 kg (pelo professor orientador da pesquisa) em anos anteriores ao início do trabalho. Este rejeito foi amostrado para estudos mais aprofundados do material.

Figura 5 - Pedreira de rocha granítica no município de Tracuateua, Nordeste do Pará

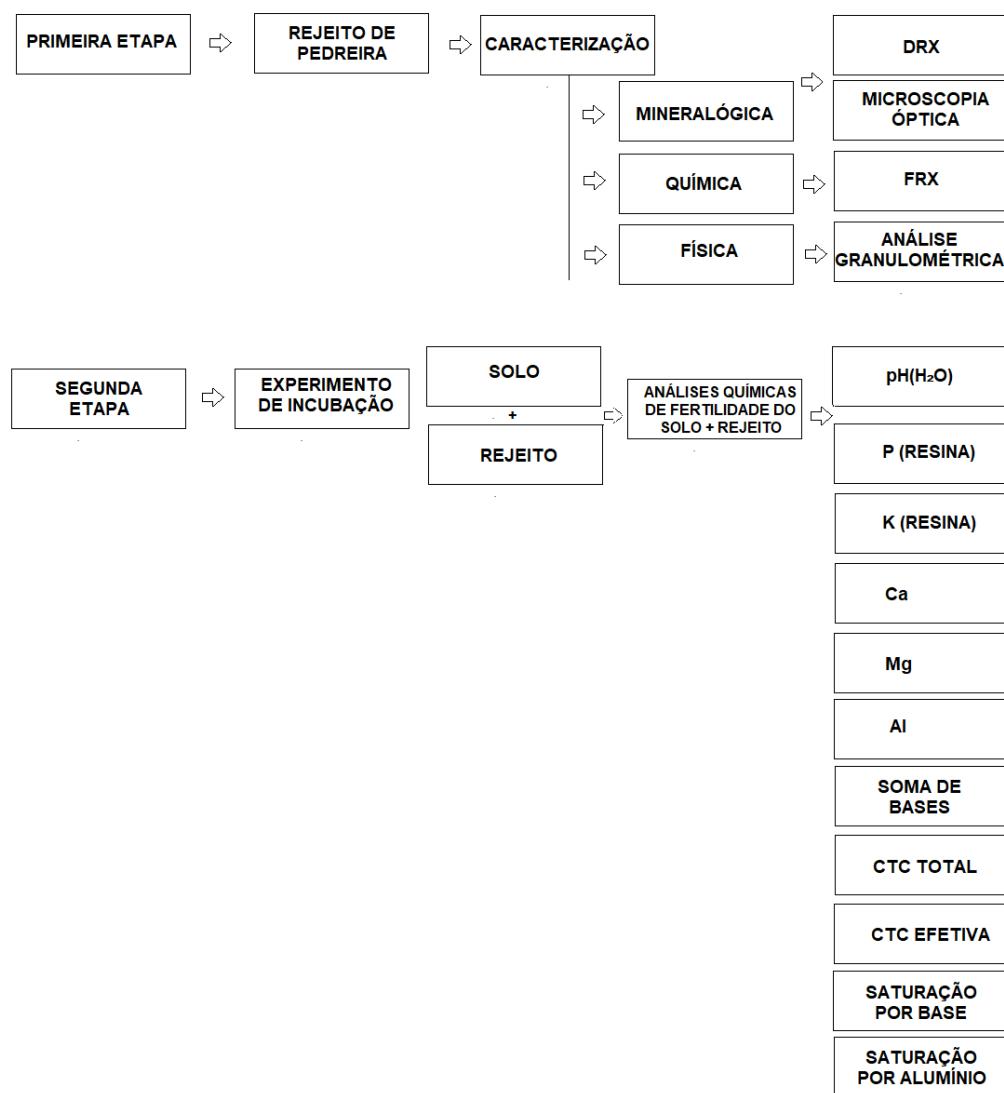


Fonte: O autor.

### 3.2 METODOS

Adotou-se uma metodologia de duas etapas: a primeira etapa consistiu na caracterização do rejeito de pedreira onde foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Na segunda etapa realizou-se o experimento de incubação de um solo com o rejeito de pedreira para determinar os parâmetros químicos de fertilidade (Figura 6).

Figura 6 - Fluxograma da Metodologia da Pesquisa



Fonte: O autor

### **3.2.1 Preparação das amostras**

As atividades de laboratório deram início com a pesagem da amostra de rejeito de pedreira para se saber sua quantidade bruta para assim serem realizadas as análises posteriores. A massa total de amostra de rejeito de pedreira foi de 49,490 kg.

Após a pesagem, o material foi direcionado para o processo de quarteamento usando o método de pilha alongada. Antes se fez o cálculo do “tamanho da amostra”, que consiste em uma população de 49,490 kg, grau de confiança de 95% e margem de erro de 2%. Com o resultado se obteve um tamanho de 2,290 kg aproximadamente de amostra que deve ser retirado do quarteamento em alíquotas, para posteriormente realizar a análise granulométrica por peneiramento.

### 3.2.2 Caracterização mineralógica do rejeito de pedreira

Realizaram-se análises mineralógicas por microscopia ótica e difração de raios-x (DRX) para determinação da composição mineralógica presente na amostra de rejeito de pedreira.

#### 3.2.2.1 Análise Petrográfica por Microscopia Óptica

Uma amostra de mão coletada na pedreira do Município de Tracuateua foi utilizada para os ensaios petrográficos (figura 7).

Figura 7 - Amostra utilizada na confecção das lâminas.



Fonte: O autor.

A amostra selecionada foi encaminhada para confecção de lâmina delgada no Laboratório de laminação da Universidade Federal do Pará. O intuito principal da confecção da seção polida foi a identificação de minerais presentes na rocha e suas relações texturais, além de identificar os contatos presentes entre os minerais, proporções em porcentagem dos minerais, entre outras análises.

### 3.2.2.2 Análise Mineralógica por Difração de Raios-X

Realizaram-se análises mineralógicas por Difração de Raios-X pelo método do pó para a identificação das fases minerais presentes na amostra de rejeito de pedreira. A referida análise foi realizada na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). O equipamento utilizado para realização das medidas de difração de raios-X foi um difratômetro de raios-X da marca Bruker modelo D2 Phaser equipado com um tubo de Cobre (Cu), comprimento de onda de 1,54060 Å. Para a geração dos raios X foram utilizadas a voltagem de 30 kV com corrente de 10 mA. A extensão de medida utilizada foi  $2\theta$  variando de 15 a 65º. O Software utilizado para identificação de fases foi o High Score Plus V.3.0.4 da PANalytical B.V alimentado com o banco de dados mantido pelo ICDD – International Center for Diffraction Data, PDF 2.

### **3.2.3 Caracterização Química**

Realizou-se análise química por Fluorescência de raios-X (FRX), na amostra de rejeito de pedreira para determinar a sua composição química e identificar se os parâmetros estão dentro da IN MAPA Nº 05/2016. A análise por FRX foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais do Instituto Federal do Pará (IFPA) – Campus Belém. Para a análise química por FRX, as amostras passaram por outro processo de quarteamento e pesagem para se obter uma quantidade de 15g e essas serem utilizadas no experimento. Após isso foram pulverizadas e preparadas até chegarem em um tamanho de partícula necessária para ser realizado o método.

Após obter a granulometria necessária para realizar a análise, o material foi misturado 10g de amostra com 6g de WAX (cera pura e micropulverizada). Com esta mistura o material foi prensado a 20t e formado pastilhas compactas e homogêneas, neste processo quanto menor o tamanho da partícula mais eficiente é o processo de prensagem e melhor a distribuição dos constituintes da amostra.

A análise referente à os elementos tóxicos presentes na amostra rejeito de pedreira foram realizadas em um laboratório particular no município de Parauapebas – PA. O método utilizado consiste na extração ácida dos metais contidos na amostra e sua determinação em espectrômetro de absorção atômica (EAA) aplicável aos corretivos de acidez (MAPA, 2017)

### **3.2.4 Caracterização física**

Utilizou-se o método de peneiramento para determinar a distribuição granulométrica das amostras de rejeito de pedreira. A análise granulométrica foi realizada segundo a IN MAPA Nº 05/2016, que especifica as peneiras que devem ser utilizadas e mostra os parâmetros adotados para que o material seja considerado um remineralizador. Com base nesta foi adotada a série de peneiras mais adequada aos objetivos deste trabalho.

Realizou-se o peneiramento em duplicata com amostras representativas obtidas no quarteamento, sendo as alíquotas “5 e 8”. A alíquota 5 com uma massa de 2330 g e a alíquota 8 com uma massa de 2795 g.

O peneiramento foi realizado com as peneiras de aberturas 4,76; 2,83; 2,00; 0,850 e 0,297 mm em um peneirador automático de bancada (ROTAP), no período de 5 minutos.

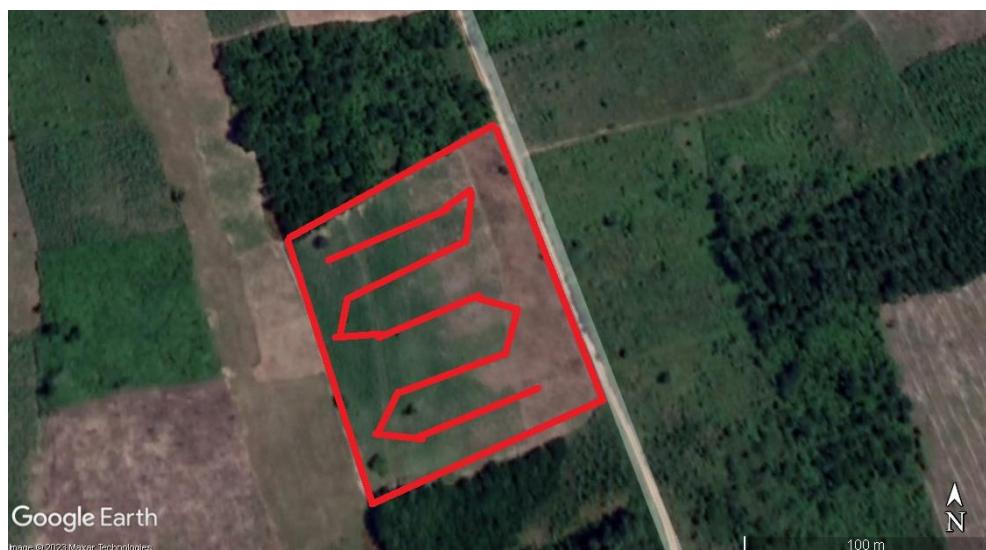
Ao término da realização dos 2 peneiramentos, pode se obter os parâmetros da distribuição de tamanhos e as curvas granulométricas referente a esta análise.

A análise granulométrica por peneiramento foi realizada no Laboratório de Tratamento de Minérios – LTM do IFPA Campus Belém.

### 3.2.5 Coleta e análise do solo

As amostras de solo foram coletadas em uma área de aproximadamente 6ha, para o cultivo de pimenta do reino, com o trado holandês através do caminhamento zigue-zague (figura 8), foram retirados 20 amostras simples contendo 500g, em uma profundidade de 20 cm em 20 pontos. Totalizando 10 Kg de solo para o cultivo de pimenta do reino.

Figura 8 - Metodologia adotada para coleta de solo em São Miguel do Guamá - PA



Fonte: O autor.

O solo foi colocado em uma estufa na temperatura de 50º C, no LTM do IFPA Campus Belém por dois dias. Após esse processo, o solo seco foi peneirado em peneira de abertura 2mm para se obter tamanho de partícula adequada para se fazer a incubação. Foram feitas análises químicas em um laboratório particular localizado no município de Paragominas – Pará. Os parâmetros analisados do solo foram pH em água, P, K, Al, Ca, Mg, Na, Capacidade de Troca Catiônica Total e efetiva (CTC), Saturação por Bases, Saturação por Alumínio e Soma de Bases.

Foi realizado experimento para se saber a capacidade de campo e assim saber a quantidade de umidade necessária para o experimento.

Após esse procedimento o solo foi pesado e separado em cinco alíquotas de 1200 g, totalizando 6000 g para se fazer a incubação.

### 3.6 EXPERIMENTO DE INCUBAÇÃO DO REJEITO NO SOLO

O solo foi classificado como um latossolo amarelo distrófico de textura média utilizado para cultivo de pimenta do reino. Foram feitas análises químicas em laboratório particular para saber suas características.

O método de incubação foi realizado no Laboratório de Tratamento de Minério do IFPA campus Belém, com delineamento experimental em blocos casualizados onde consiste em três princípios da experimentação que são repetição, casualização e controle local. Neste caso foi utilizado no trabalho cinco tratamento  $5 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $10 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $15 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $20 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $25 \text{ t ha}^{-1}$  e duas repetições, no período de 30 e 60 dias. A quantidade referente a dosagem de pó de rocha em gramas foi calculada através da área equivalente de  $13,6 \text{ cm}^2$ , onde  $5 \text{ t ha}^{-1}$  equivale 0,7 g,  $10 \text{ t ha}^{-1}$  equivale 1,4 g,  $15 \text{ t ha}^{-1}$  equivale 2,0 g,  $20 \text{ t ha}^{-1}$  equivale 2,7 g e  $25 \text{ t ha}^{-1}$  equivale 3,4 g.

A umidade do solo foi mantida a 70% da capacidade de campo (50%) (Capacidade de retenção a quantidade máxima de água no solo, após saturação e drenagem gravitacional). Esta capacidade de campo foi obtida com experimento através de ensaio de bancada, Segundo UFJF (2018), como mostra na (figura 9).

Figura 9 - Ensaio de determinação da capacidade de campo.



Fonte: O autor.

Foram separados 20 vasos e colocados 300 g do rejeito com o solo para assim ser feito o experimento no decorrer de 60 dias (figura 10). Onde foram coletados 10 vasos no período de 30 dias sendo assim 5 tratamentos e duas repetições, após mais 30 dias foi feito o mesmo processo. As amostras foram encaminhadas para o laboratório Solos e Plantas no município de Paragominas – PA para assim serem realizadas as análises químicas de fertilidade do solo com o rejeito. Os parâmetros analisados do solo com o rejeito foram pH em água, P, K, Al, Ca, Mg, Na e calculada a Capacidade de Troca Catiônica Total e Efetiva (CTC), Saturação por Base, Saturação por Alumínio e Soma de Bases seguindo o protocolo agronômico da EMBRAPA.

Na pesquisa em questão foi utilizado partículas passantes na peneira (-0,297mm) do rejeito de pedreira para se fazer a incubação com um solo. Quanto menor a partícula melhor serão os resultados de parâmetros químicos de neutralização no solo, por esse motivo foi utilizado apenas esta fração granulométrica para decorrer do trabalho.

Figura 10 - Experimento de incubação do solo.



Fonte: O autor.

## 4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO REJEITO

A análise por microscópia óptica mostrou que a rocha tem textura granular hipidiomórfica, composta por quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita e muscovita, os principais minerais acessórios são zircão e minerais opacos, possivelmente magnetita, devido à alta atração magnética que a amostra apresenta, geralmente ocorrendo em pequenas proporções associados aos cristais de biotita (Figura 11).

O quartzo ocupa cerca de (40%), apresenta faces predominantemente subédricas variando para anédricas, com dimensões variando de 1 a 7 mm, com contatos retos, serrilhados e interlobados entre sí e com os demais minerais.

O plagioclásio ocupa cerca de (22%), suas faces são predominantemente subédricos, com hábito tabular, tamanhos médios a grandes (0,5 a 4 mm) e com maclas albita a carlsbad. Esse mineral apresenta alteração para argilominerais e sericita, sendo o segundo muito mais comum nas bordas dos cristais.

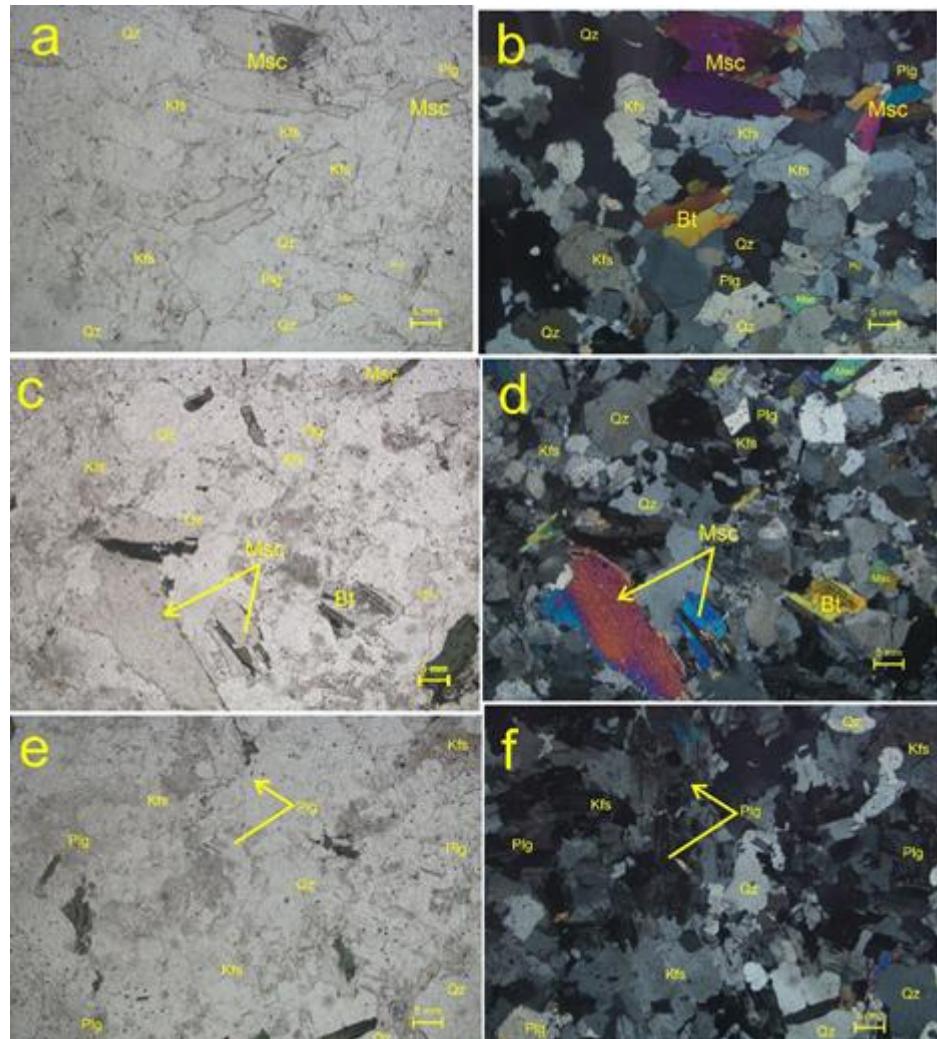
O Feldspato potássio (FK), corresponde a cerca de (20%), subédrico a anédrico, variam de 1 a 3 mm, as vezes intersticiais. Contatos retos ou serrilhados com os demais minerais.

A Biotita apresenta composição modal média em torno de 7%. Suas faces são predominantemente subédricas ocorrendo variações para euédricas, com hábito lamelar e subordinadamente tabular. O tamanho dos cristais é variado, entre 1 mm a 6 mm. Seus contatos com outros cristais são retos, por vezes irregulares, de aspecto corroído. Apresenta-se pouco alterado, cujo principal produto é a muscovita,

A Muscovita ocorre torno de 8%. Apresentam faces de subédricas variando para euédricas, com hábito lamelar. Tem tamanho entre 0,5 mm a 4 mm. contatos retos, irregulares.

Os minerais opacos apresentam proporções muito baixas, com cristais predominantemente anédricos com tamanhos 0,5 mm a 1 mm, com características esqueléticas ocorrendo associados com a biotita.

Figura 11 – Microscopia Óptica do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará. (a) e (b) muscovita (Msc), quartzo (Qz), feldspato potássico (Kfs) e plagioclásio (Plg), em nicóis paralelos e nicóis cruzados. (c) e (d) muscovita (Msc), em nicóis paralelos e nicóis cruzados (seta amarela). (e) e (f) feldspato plagioclásio (Plg), em nicóis paralelos e nicóis cruzados (seta amarela).



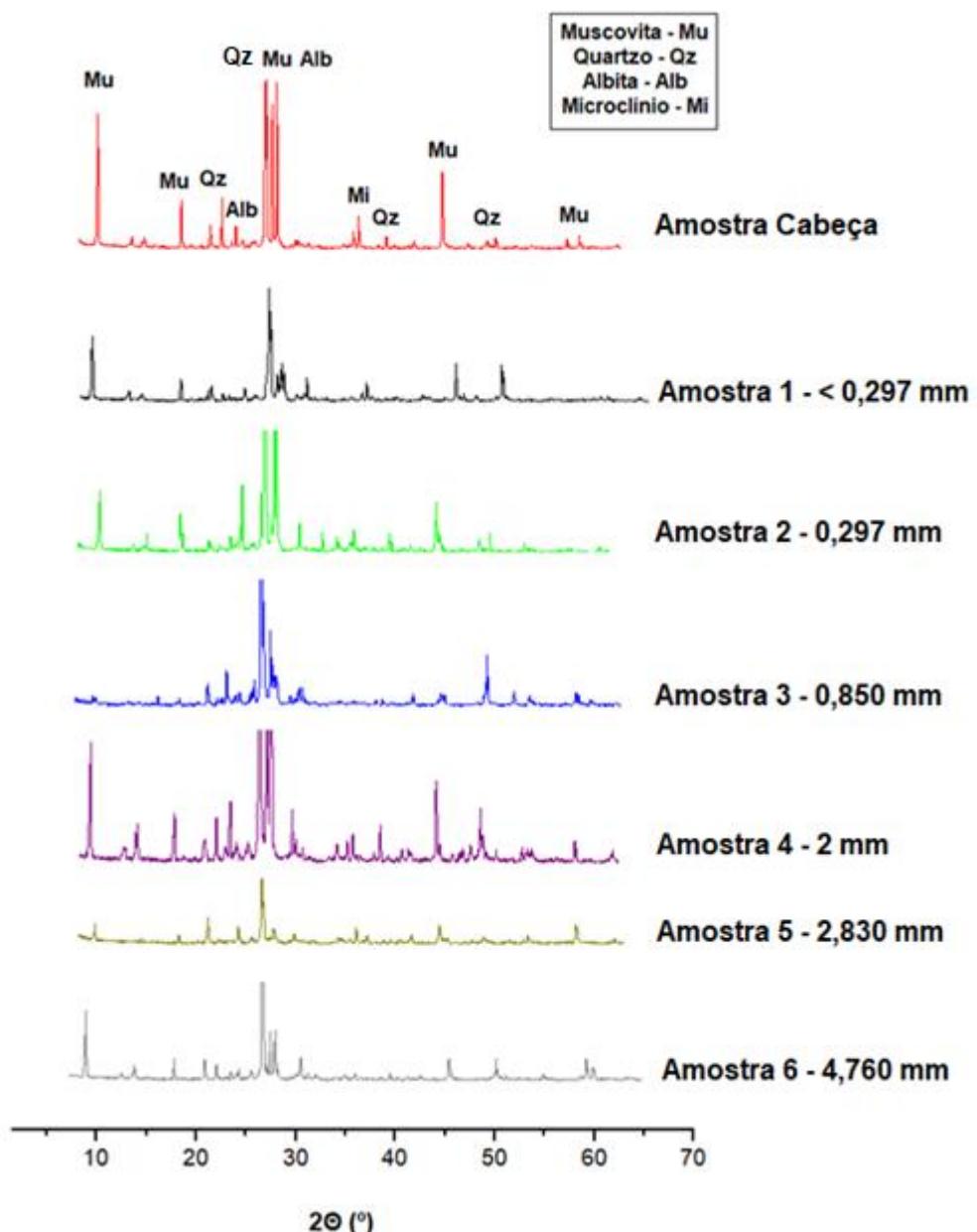
Fonte: O autor

Análises mineralógicas por DRX foram realizadas para variadas granulometrias (Figura 12). Os resultados mostram as mesmas fases minerais em diferentes tipos de granulometria.

Os minerais identificados nas análises petrográficas, foram também identificados pelas análises de DRX, os mesmos correspondem a Muscovita ( $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$ ), Quartzo ( $SiO_2$ ), Albita ( $NaAlSi_3O_8$ ) e Microclínio ( $K(AlSi_3O_8$ ). A Muscovita é um dos minerais mais importantes e mais comuns silicatos formadores de rochas ácidas, resistente ao intemperismo e ao metamorfismo. O quartzo considerado o maior grupo de  $SiO_2$  dos tectossilicatos, também são encontrados em rochas ácidas. A albita e o microclínio ambos são do grupo dos feldspato, porém se diferenciam pela fato da albita ser um feldspato plagioclassio e o microclínio feldspato alcalino, ambos são encontrados em rochas ácidas. O que se pode concluir que os minerais presentes caracterizam que a amostra em estudo é um granito com composição mineralógica estabelecida para este tipo de rocha, conforme indicam outros trabalhos (ACKERMANN,1943); (LEONARDOS,1964), (ROSSETTI,1988) e (COSTA,1997).

A suíte intrusiva Tracuateua é constituída por biotita-muscovita sienogranitos, associados a diques sin-plutônicos, pegmatíticos e aplíticos, portadores de berilo, granada, turmalina e sulfetos. Os tipos faciológicos descritos e caracterizados na área são: biotita-muscovita sienogranito; muscovita-biotita sienogranito; pegmatito e; aplito. (COSTA,1997). A microscopia óptica e a difração mostraram semelhanças mineralógicas com trabalhos relacionados ao local de estudo.

Figura 12 - Minerais presentes na amostra pelo método de Difração de Raios – X do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará



Fonte: O autor.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO REJEITO

No estudo de fluorescência de raios-X (FRX) foram determinados, quantitativamente, os óxidos presentes em diferentes frações granulométricas (Tabela 2). Foram determinados os seguintes elementos na forma de óxidos: Na<sub>2</sub>O, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl, K<sub>2</sub>O, CaO, TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (tabela 2).

Tabela 2 - Resultados da análise por fluorescência de raios-X por fração granulométrica do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará

Amostras	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Cabeça	3,05	1,05	16,70	66,80	0,628	0,154	0,114	7,83	0,792	0,306	-	2,15
4,76mm	3,67	1,12	15,5	66,5	0,682	0,202	0,157	7,86	0,869	0,277	0,253	2,59
2,83mm	2,86	0,97	16,0	66,9	0,639	0,148	0,125	7,68	0,845	0,282	0,381	2,03
2,00mm	2,66	0,73	15,10	70,5	0,486	0,116	0,115	7,36	0,799	0,245	-	1,58
0,850mm	-	0,908	16,1	69,7	0,586	0,190	0,121	8,67	0,730	0,359	0,134	2,25
0,297mm	-	1,20	17,7	65,6	0,597	0,231	0,133	9,13	0,595	0,443	0,382	3,60
-0,297mm	3,15	1,36	18,6	63,2	0,835	0,241	0,147	7,96	0,882	0,406	-	2,81

Fonte: O autor

Segundo a IN MAPA Nº 05/2016, os remineralizadores deverão apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas referentes aos óxidos obtidos na fluorescência de raio x:

I – A soma de bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O), deve ser igual ou superior a 9% em peso/peso

II – O teor de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), deve ser igual ou superior a 1% em peso/peso

III – Em relação ao SiO<sub>2</sub> livre presente no produto, não apresentar teor superior a 25% em volume/volume

IV – Em relação aos elementos tóxicos presentes no produto, não apresentar teores superiores a:

Para Arsênio (As): 15 ppm;

Para Cadmio (Cd): 10 ppm;

Para Mercurio (Hg): 0,1 ppm e

Para chumbo (Pb): 200 ppm.

Nas amostras em estudo a soma de bases CaO+MgO+K<sub>2</sub>O apresentou os seguintes valores conforme mostrados na Tabela 3:

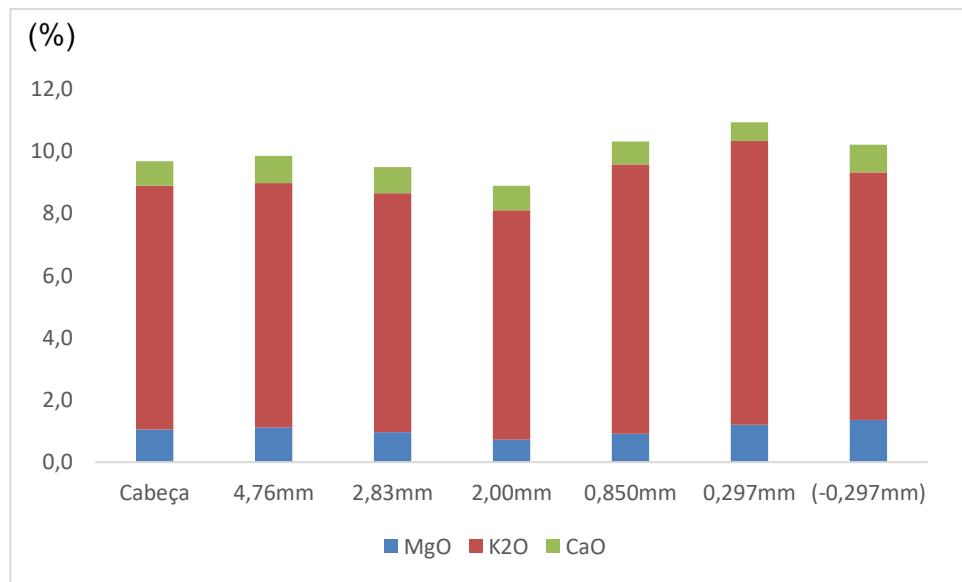
Tabela 3 - Soma de Bases do rejeito de pedreira do município de Tracuateua - Pará

<b>Amostras</b>	<b>Soma de Bases CaO+MgO+K<sub>2</sub>O</b>
Cabeça	9,67%
4,76mm	9,85%
2,83mm	9,50%
2,00mm	8,89%
0,850mm	10,31%
0,297mm	10,93%
-0,297mm	10,20%

Fonte: O autor

Com esse resultado quase todas as frações granulométricas estão dentro do parâmetro de soma de bases, Apenas a fração 2,00 mm apresenta uma quantidade menor que 9%. Pode-se observar que quanto menor o tamanho de partícula maior é a porcentagem da soma de base, segundo a amostra em estudo (figura 13).

Figura 13 – Resultados da Soma de Bases (%) da pedreira do município de Tracuateua – Pará



Fonte: O autor.

A IN MAPA Nº 05/2016 diz que o teor de K<sub>2</sub>O deve ser maior ou igual a 1%, as amostras apresentaram teores elevados de K<sub>2</sub>O conforme mostrado na tabela 4:

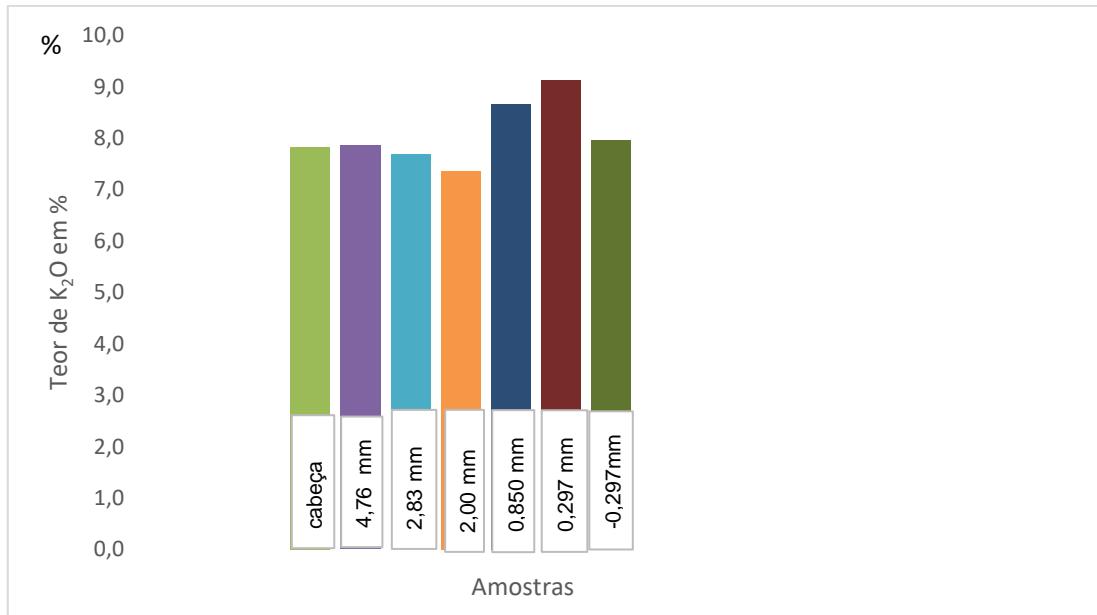
Tabela 4 - Teor de K<sub>2</sub>O da pedreira do município de Tracuateua - Pará

Amostras	Teor de K <sub>2</sub> O
Cabeça	7,83%
4,76mm	7,86%
2,83mm	7,68%
2,00mm	7,36%
0,850mm	8,67%
0,297mm	9,13%
-0,297mm	7,96%

Fonte: O autor.

Esse resultado é favorável para a utilização do rejeito de pedreira como remineralizador, pois os teores de K<sub>2</sub>O são elevados e variam de 7% a 9% (figura 14).

Figura 14 - Gráfico de Teor de K<sub>2</sub>O em % da pedreira do município de Tracuateua - Pará



Fonte: O autor.

Em relação a SiO<sub>2</sub> total, os teores apresentados foram:

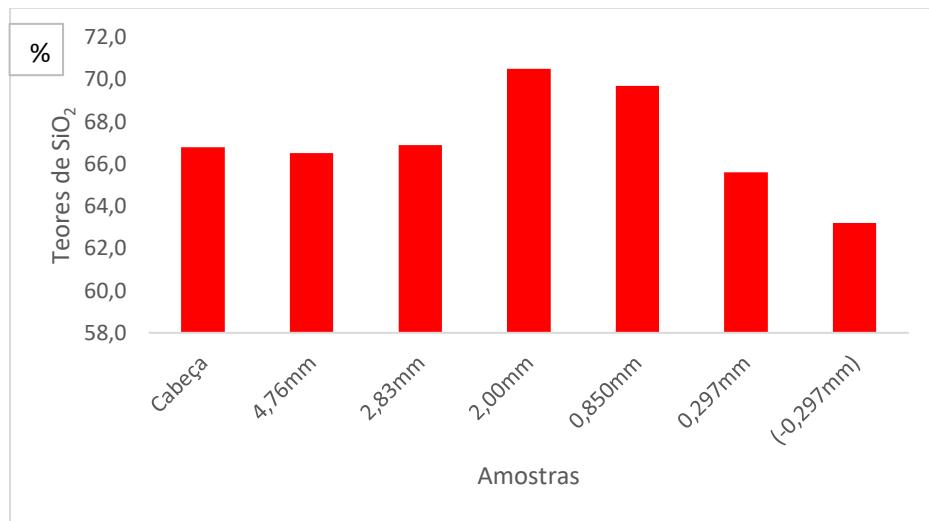
Tabela 5 - Teores de SiO<sub>2</sub> da pedreira do município de Tracuateua - Pará

Amostras	Teor de SiO <sub>2</sub> (%)
Cabeça	66,80
4,76mm	66,50
2,83mm	66,90
2,00mm	70,50
0,850mm	69,70
0,297mm	65,60
-0,297mm	63,20

Fonte: O autor.

De acordo com a IN MAPA Nº 05/2016, os teores de SiO<sub>2</sub> livre devem ser inferiores a 25% com tolerância de 20% para mais. Segundo a análise realizada de microscopia óptica estima-se que á cerca de 40% de SiO<sub>2</sub> livre presente no material, considerando dentro do padrão da normativa de tolerância. Também foi obtido no presente trabalho a SiO<sub>2</sub> total onde é caracterizado como a junção de toda a silica presente não apenas no quartzo, como em outros minerais. Os teores de SiO<sub>2</sub> total variam de 63% a 70% (figura 15).

Figura 15 - Teores de SiO<sub>2</sub> (%) da pedreira do município de Tracuateua - Pará



Fonte: O autor.

Em relação aos elementos toxicos presentes na amostra não foram identificados valores significativos em ppm acima do minimo da IN MAPA N° 05/2016 para Arsênio (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) e chumbo (Pb) utilizando o metodo de espectrômetro de absorção atômica (EAA). Os valores de referências foram: As (0,00 ppm); Cd (0,00 ppm); Pb (2,04 ppm); Hg (0,00 ppm).

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados dos parâmetros da distribuição de tamanhos das amostras de rejeito de pedreira analisadas.

Tabela 6 - Parâmetros da distribuição granulométrica da alíquota 5 da pedreira do município de Tracuateua – Pará.

Aberturas das Peneira (#)	Aberturas das Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
4	4,760	97,31	4,18	4,18	95,82
7	2,830	231,63	9,95	14,14	85,86
10	2,000	268,16	11,52	25,66	74,34
20	0,850	491,169	21,11	46,77	53,23
50	0,297	495,38	21,29	68,06	31,94
(< 0,297mm)		743,24	31,94	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		2326,889	100,00	-	-

Fonte: O autor.

Tabela 7 - Parâmetros da distribuição granulométrica da alíquota 8 da pedreira do município de Tracuateua – Pará.

Aberturas das Peneiras (#)	Aberturas das Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida acumulada	% passante acumulada
4	4,760	120,67	4,32	4,32	95,68
7	2,830	260,81	9,35	13,67	86,33
10	2,000	338,42	12,13	25,80	74,20
20	0,850	597,46	21,41	47,20	52,80
50	0,297	609,32	21,83	69,04	30,96
(< 0,297 mm)		864,07	30,96	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>		2790,75	100,00	-	-

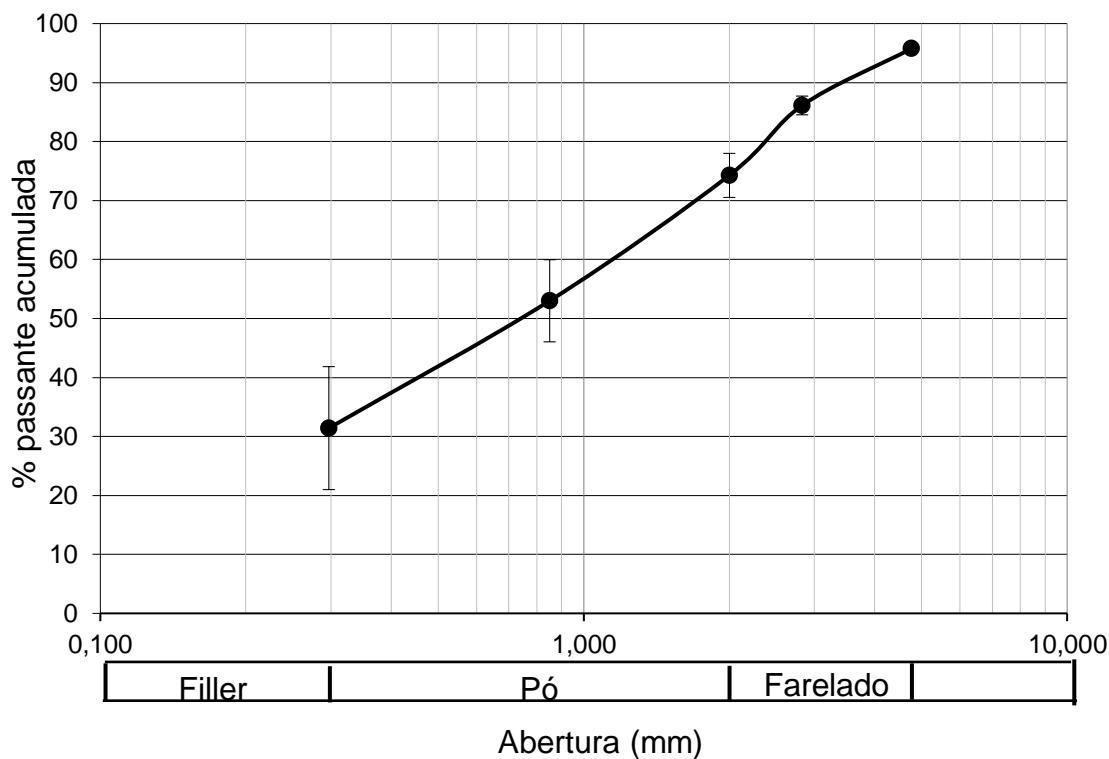
Fonte: O autor.

Tabela 8 - Média dos parâmetros da distribuição granulométrica da alíquota 5 e 8 da pedreira do município de Tracuateua – Pará.

Aberturas das Peneiras (#)	Abertura das Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% retida simples	% retida Acumulada	% passante acumulada	desvio padrão
4	4,760	108,99	4,26	4,26	95,74	0,710
7	2,830	246,22	9,62	13,88	86,12	1,600
10	2,000	303,29	11,85	25,73	74,27	3,732
20	0,850	544,31	21,27	47,01	52,99	6,962
50	0,297	552,35	21,59	68,59	31,41	10,424
(< 0,297 mm)		803,66	31,41	100,00	0,00	0
<b>TOTAL</b>		2558,82	100,00	-	-	

Fonte: O autor.

Figura 16 - Curva Granulométrica média do rejeito.



Fonte: O autor.

A figura 17 apresenta a curva granulométrica média do rejeito de pedreira. A análise granulométrica por peneiramento mostrou que, em média, 4,26% das amostras de rejeito de pedreira apresentaram tamanhos de partículas maiores que 4,8 mm. Este resultado mostra que o material não cumpre a garantia granulométrica de 100% passante em 4,8 mm e nem a tolerância mínima de até 2 unidades para menos do mínimo passante, necessitando que a fração granulométrica > 4,8 mm fosse cominuída para o uso como remineralizador.

De acordo com a distribuição granulométrica mostrada na tabela 8 e na figura 17, pode-se observar que cerca de 43% da massa de partículas encontra-se como farelado (100% passante em 4,8 mm; mínimo 80% em 2,8 mm; e máximo 25% em 0,84 mm), 74% como pó (100% passante em 2,0 mm; mínimo 70% em 0,84 mm; e mínimo 50% em 0,3 mm) e 31% como filler (100% passante em 0,3 mm).

A análise granulométrica do material em estudo indica que este rejeito de pedreira se enquadra na especificação de natureza física dos remineralizadores de acordo com a IN MAPA Nº 05/2016, desde que a fração granulométrica > 4,8

mm passe por uma operação de cominuição ou seja retirada através de uma operação de peneiramento.

#### 4.4 INCUBAÇÃO DO SOLO COM O REJEITO

Foram analisados resultados da incubação do solo com o rejeito de pedreira, para saber a fertilidade das amostras através dos índices de pH ( $H_2O$ ), P - Resina ( $mg/dm^3$ ), K ( $mg/dm^3$ ), K ( $cmolc/dm^3$ ), Ca ( $cmolc/dm^3$ ), Mg ( $cmolc/dm^3$ ), Al ( $cmolc/dm^3$ ), Soma de Bases (SB  $cmolc/dm^3$ ), Capacidade de troca Catiônica Total (CTC total  $cmolc/dm^3$ ), Capacidade de troca Catiônica Efetiva (CTC efetiva  $cmolc/dm^3$ ), Saturação por base (V %) e Saturação por alumínio (m %). O período de incubação durou 60 dias com intervalo de 30 dias para as primeiras 10 amostras, totalizando 20 amostras com dosagens diferentes de 5,10,15,20,25 t  $ha^{-1}$ .

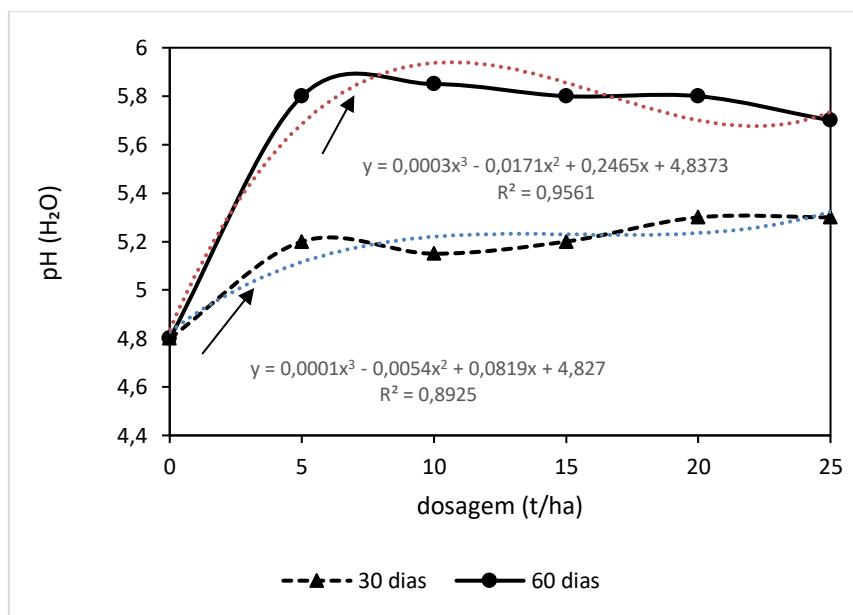
Foram confeccionadas tabelas e figuras dos resultados obtidos e comparações nos períodos de 30 e 60 dias além da comparação de diferentes dosagens aplicadas do rejeito no solo em estudo.

Na interpretação dos resultados foi levada como base o guia de interpretação de análise de solo e foliar (PREZOTTI, 2013).

#### 4.4.1 Resultados pH ( $H_2O$ ) em 30 e 60 dias.

Os resultados obtidos de pH ( $H_2O$ ) mostraram que as amostras que passaram por periodo de incubação de 30 dias apresentaram valores que variam de 5,1 á 5,4. classificando como um solo com ácidez média (PREZZOTTI,2013). Já o resultado para o período de 60 dias os valores variam de 5,7 a 5,9. O solo é classificado com uma ácidez média á fraca (PREZZOTTI,2013), um resultado de pH ideal para a maioria das culturas (figura 17).

Figura 17 - pH ( $H_2O$ ) em 30 e 60 dias de incubação

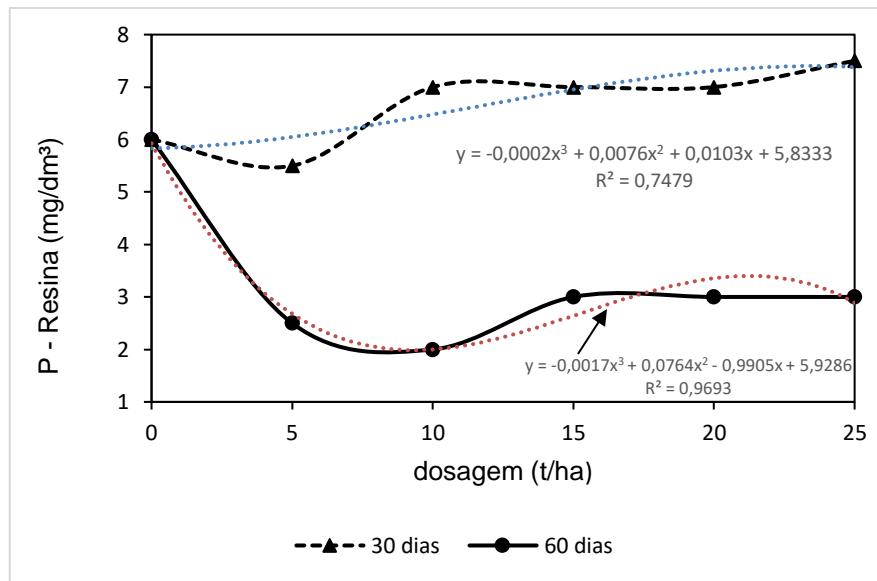


Fonte: O autor

#### 4.4.2 Resultados de P - Resina (mg dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias

Os resultados obtidos para fosforo no método resina em 30 dias variam de 5 á 8 mg dm<sup>3</sup>. Este valor foi considerado como baixo (PREZZOTTI,2013). O resultado para 60 dias variam de 2 á 3 mg dm<sup>3</sup> , mostra-se que em relação ao tempo o solo apresenta valores menores de fosforo independente da dosagem de rejeito aplicada ao solo (figura 18)

Figura 18 - P - Resina (mg dm<sup>3</sup>) em 30 dias de incubação

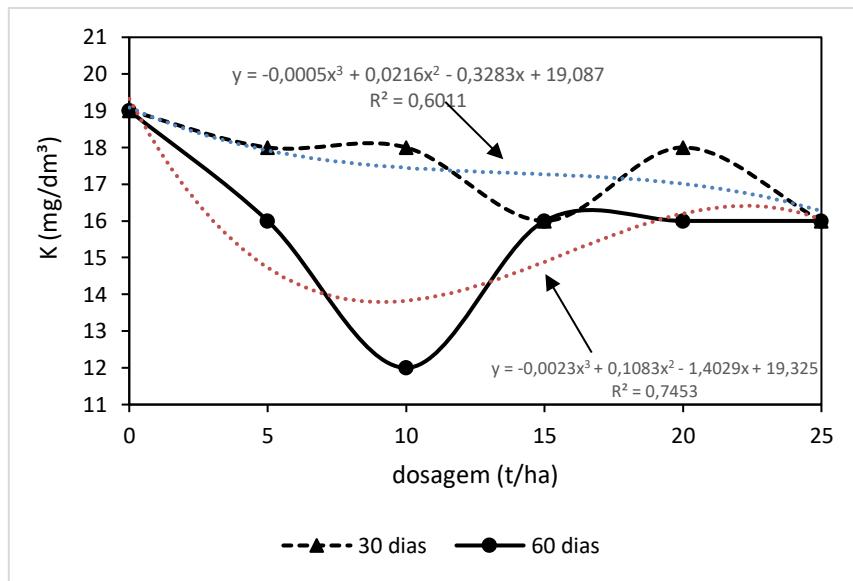


Fonte: O autor

#### 4.4.3 Resultados de K (mg dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias.

Os resultados referente ao potássio foram considerados baixos (PREZZOTTI,2013), tanto para 30 dias quanto para 60 dias de incubação do solo com o rejeito. Os indices para 30 dias variam de 0,04 á 0,05 (cmolc dm<sup>3</sup>). Os resultados referentes a 60 dias variam de 0,03 á 0,04 (cmolc dm<sup>3</sup>) (figura 19).

Figura 19 - K (cmolc dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias de incubação

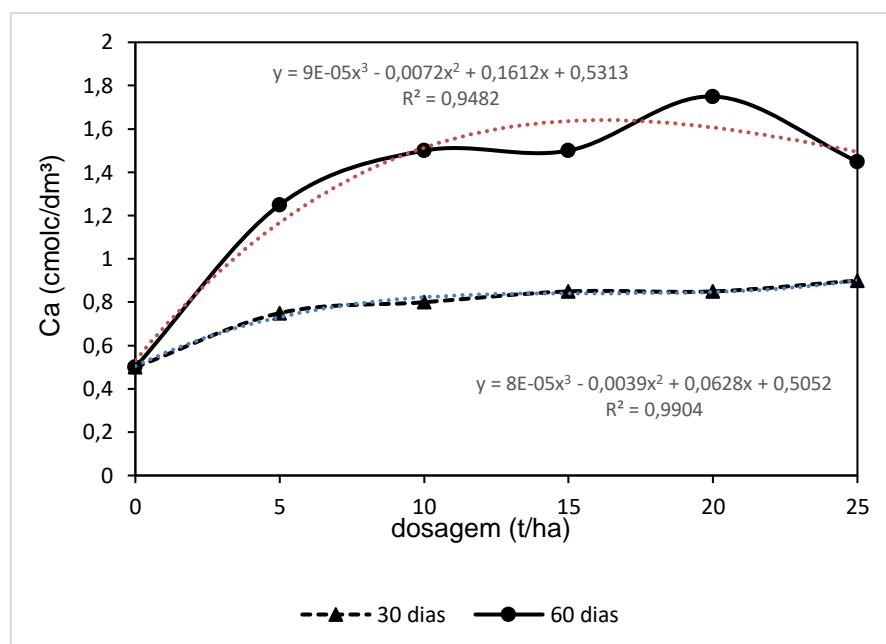


Fonte: O autor

#### 4.4.4 Resultados de Ca (cmolc dm<sup>3</sup>) Mg (cmolc dm<sup>3</sup>), Al (cmolc dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias.

Os resultados referente ao cálcio presente nas amostras analisadas foram favoráveis, houve um aumento em relação a comparação de 30 dias e 60 dias de incubação. Os valores referente a 30 dias variam de 0,7 á 1,0 (cmolc dm<sup>3</sup>) e os valores de 60 dias variam de 1,1 a 1,8 (cmolc dm<sup>3</sup>). Os resultados de 30 dias para 60 dias pode mostrar um aumento de classificação do solo que passou de uma classificação baixa para média (PREZZOTTI,2013) de cálcio presente nas amostras (figura 20).

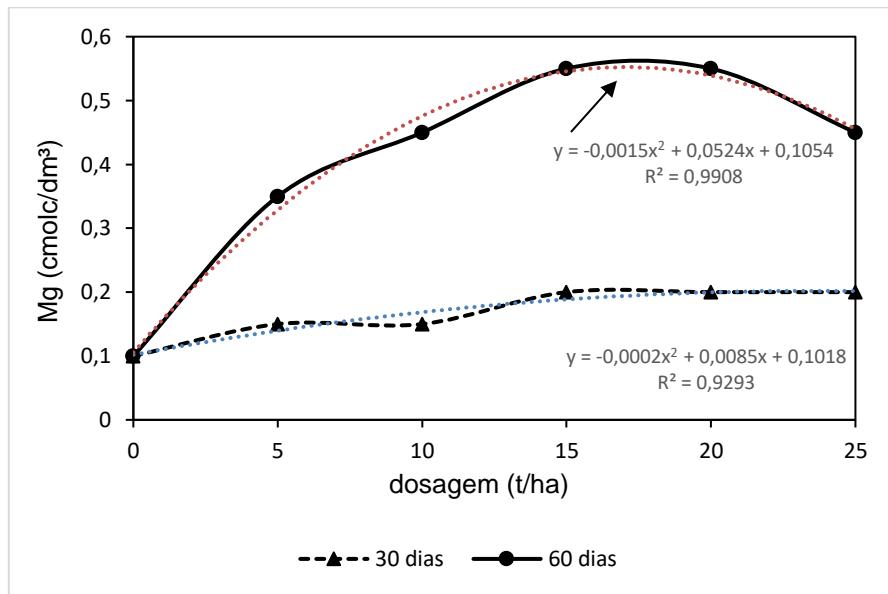
Figura 20- Ca (cmolc dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias de incubação



Fonte: O autor

Os resultados de magnésio nas amostras analisadas no periodo de 30 dias de incubação variam de 0,1 á 0,2 (cmolc dm<sup>3</sup>) e no periodo de 60 dias de 0,3 á 0,5 (cmolc dm<sup>3</sup>). Houve um pequeno aumento no decorrer do tempo de 30 para 60 dias, porem ambos são classificados como teor baixo de magnesio (PREZZOTTI,2013) sendo um solo de boa fertilidade segundo a quantidade deste elemento químico (figura 21).

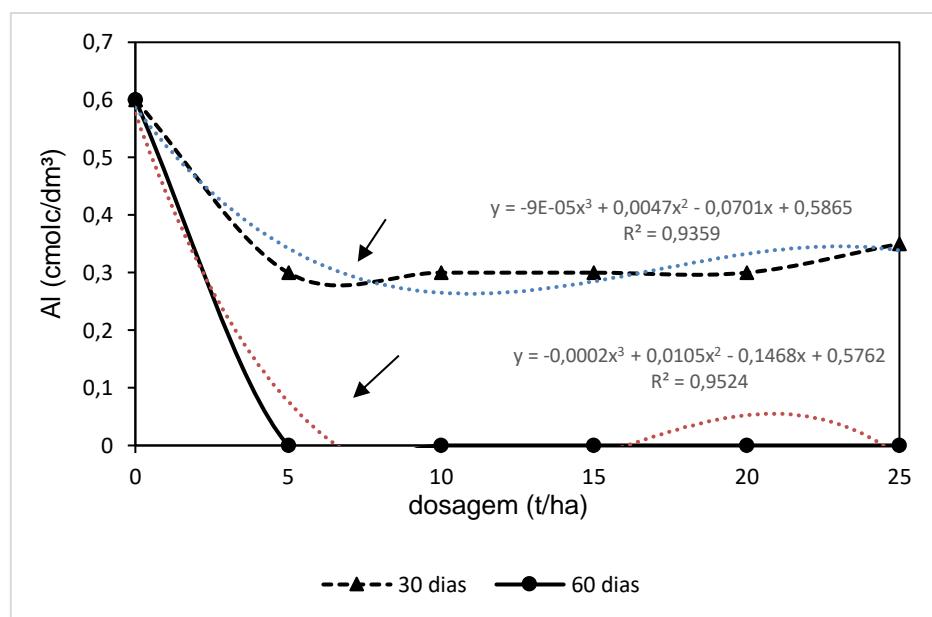
Figura 21 - Mg (cmolc dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias de incubação



Fonte: O autor

Os resultados das amostras em relação ao aluminio foram consideradas favoraveis tanto nos 30 dias quanto nos 60 dias. Ambos apresentaram valores pequenos chegando a 0. No periodo de 30 dias os valores variam de 0,3 á 0,4 (cmolc dm<sup>3</sup>). Já no periodo de 60 dias a presença de aluminio não foi identificada, em todas as amostras o valor foi 0 (cmolc dm<sup>3</sup>). Há presença de aluminio causa engrossamento das raizes, reduz o seu crescimento e impede a formação de pelos radiculares, prejudicando a absorção de água e nutrientes, os valores encontrados nas amostras para aluminio foram classificadas como baixa (PREZZOTTI,2013) (figura 22).

Figura 22 - AI (cmolc dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias de incubação

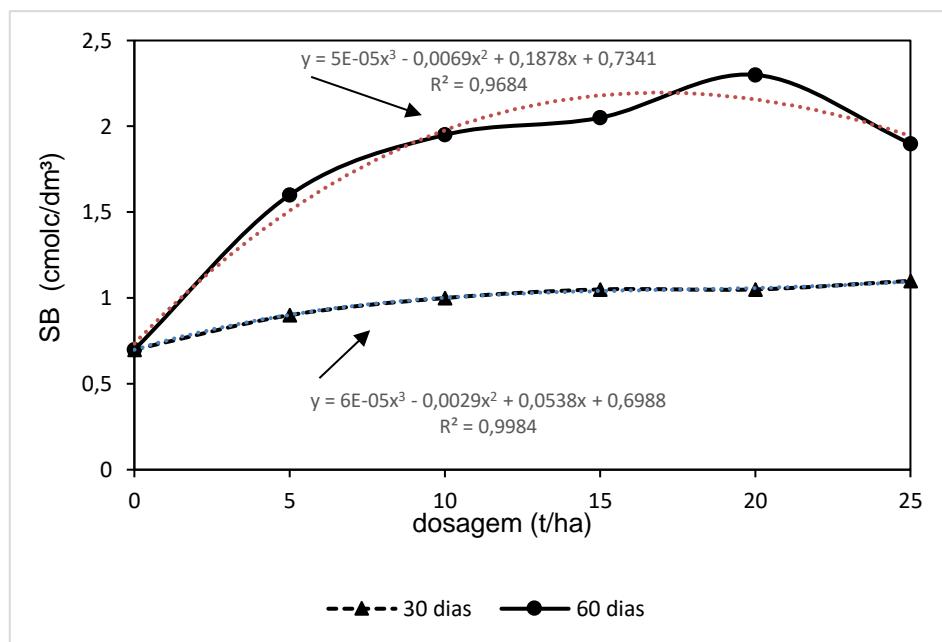


Fonte: O autor.

#### 4.4.5 Resultados de SB (cmolc dm<sup>3</sup>), CTC Total (cmolc dm<sup>3</sup>), CTC Efetiva (cmolc dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias.

Os resultados de soma de bases referente à incubação do solo com o rejeito variam de baixa a média (PREZZOTTI, 2013) levando em consideração o período de 30 e 60 dias. Os valores referentes a 30 dias variam de 0,8 a 1,2 (cmolc dm<sup>3</sup>) considerados como baixos, porém os valores referentes a 60 dias foram mais significativos variam de 1,4 a 2,4 (cmolc dm<sup>3</sup>) onde se classifica como um teor médio. Os resultados levando em consideração ao período de 60 dias foram favoráveis apartir da dosagem de 10 t ha<sup>-1</sup> (figura 23).

Figura 23 – SB (cmolc dm<sup>3</sup>) em 30 e 60 dias de incubação

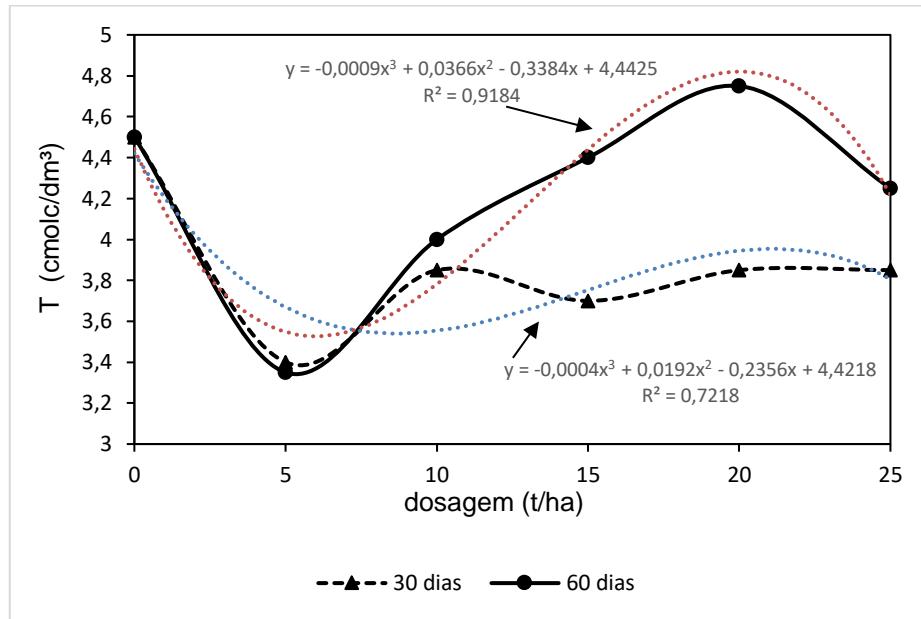


Fonte: O autor

Os resultados referente a CTC total expressa como T, considera a troca de cátions do solo. É uma das variáveis mais importantes para a interpretação do potencial produtivo do solo. As amostras em estudo apresentaram valor baixo à médio de CTC total (PREZZOTTI, 2013) tanto para 30 dias quanto para 60 dias. Os valores referentes a 30 dias variam de 3 á 4,3 (cmolc dm<sup>3</sup>). Já os valores das amostras referentes a 60 dias de incubação variam de 3 á 4,8 (cmolc dm<sup>3</sup>) considerando a maioria com teor médio apartir da adição de rejeito para

15 t ha<sup>-1</sup>. Os valores referentes a 60 dias foram favoráveis em relação ao período de 30 dias houve um aumento significativo (figura 24).

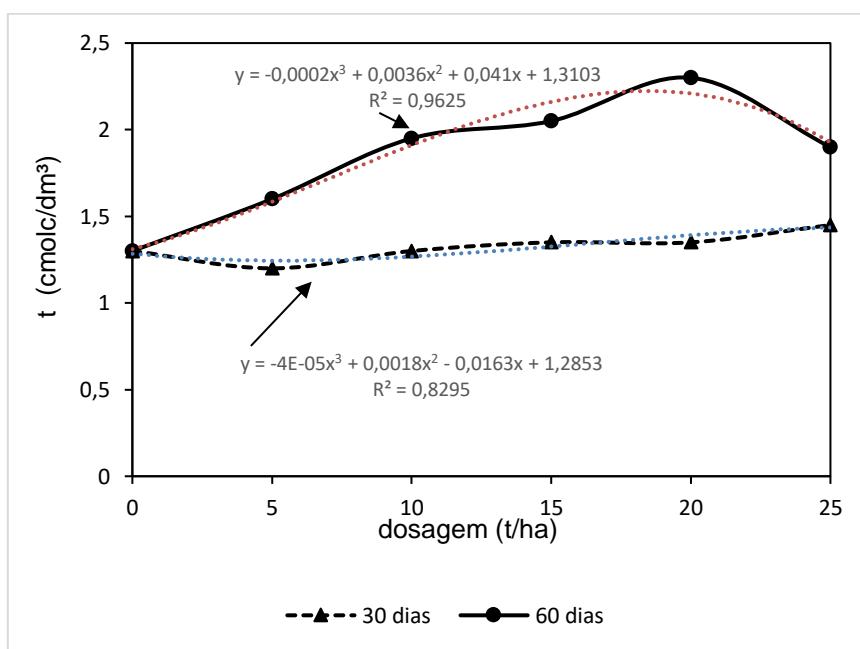
Figura 24 – T (cmolc dm<sup>-3</sup>) em 30 e 60 dias de incubação



Fonte: O autor

Em relação a CTC efetiva também expressa como t indica a quantidade de cargas negativas ocupadas com os cátions trocáveis. As amostras analisadas no período de incubação de 30 e 60 dias apresentaram índices classificado como baixo (PREZZOTTI, 2013). Os valores referentes a 30 dias de incubação variam de 1,1 a 1,5 (cmolc dm<sup>-3</sup>) e os valores referentes a 60 dias de incubação variam de 1,4 a 2,4 (cmolc dm<sup>-3</sup>), todas as amostras analisadas apresentam índices baixo para CTC efetiva (figura 25).

Figura 25 – t (cmolc dm<sup>-3</sup>) em 30 e 60 dias de incubação

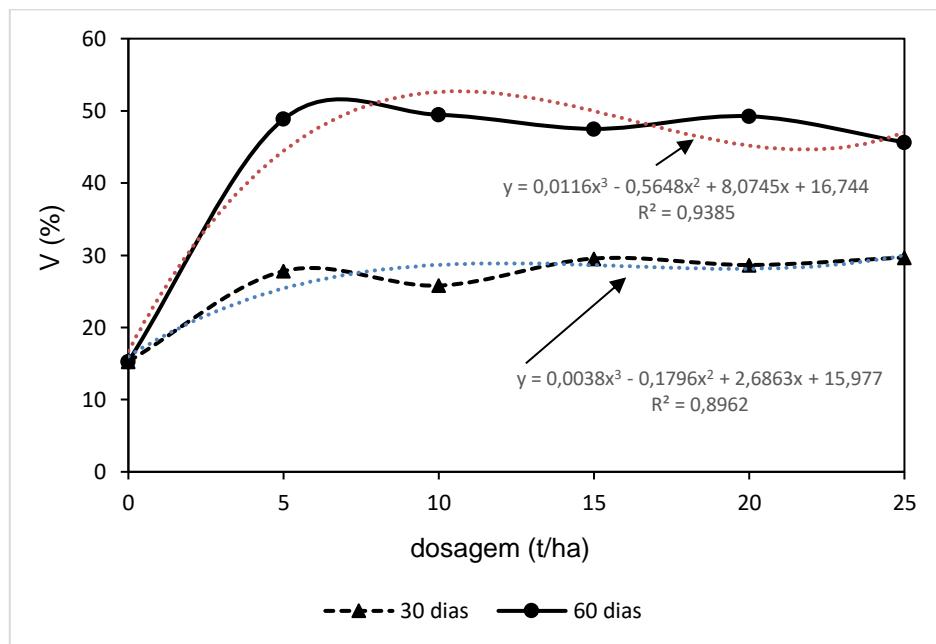


Fonte: O autor

#### 4.4.6 Resultados de Saturação por base V (%) e Saturação por Alumínio m (%) em 30 e 60 dias.

A saturação por base expressa por V (%) indica a porcentagem do total de cargas negativas ocupadas por base. Os valores referentes para 30 dias e 60 dias de incubação do solo com o rejeito apresentaram valores classificado como baixo á médio (PREZZOTTI,2013) no decorrer do tempo de incubação e doses aplicadas. Os valores referentes a 30 dias variam de 22,4 á 31,7 % considerado como baixa. Os valores referentes a 60 dias foram mais favoráveis onde variam de 44,9 á 50,8 % considerado como médio. Quanto maior o tempo de incubação do solo com o rejeito maior será a saturação por base (figura 26).

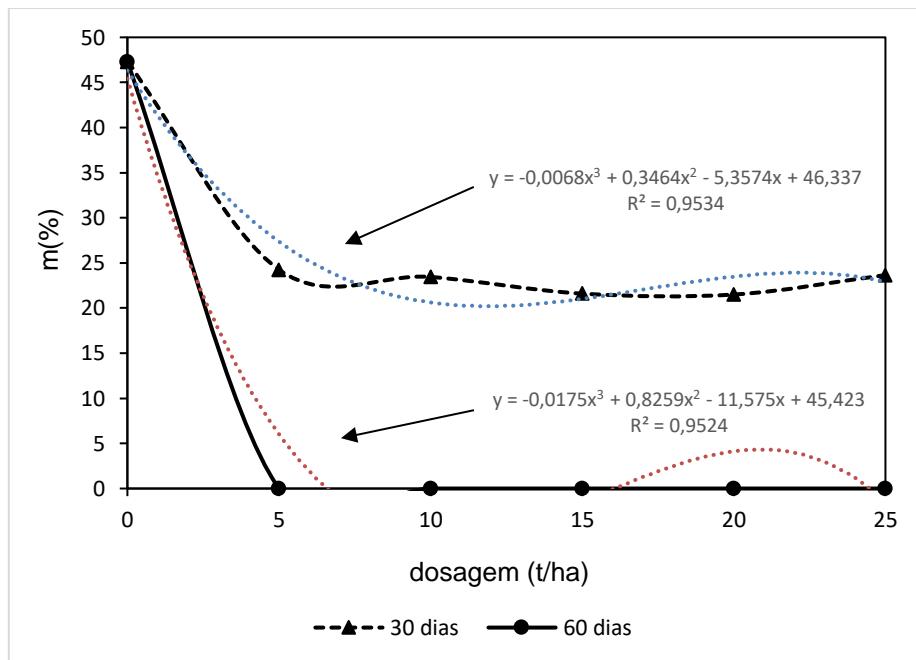
Figura 26 – V (%) em 30 e 60 dias de incubação



Fonte: O autor

A saturação por alumínio expressa por m (%) indica a presença de alumínio nas amostras em estudo. Para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, o ideal é que não haja presença de  $\text{Al}^{3+}$ , isto é, que o pH seja maior que 5,5, ocasião em que o m se iguala a zero (PREZZOTTI, 2013). As amostras em estudo apresentaram baixa saturação por alumínio referente a incubação do solo com o rejeito em 30 dias, já referente a incubação de 60 dias não foi encontrado saturação de alumínio presentes nas amostras, sendo assim favorável. Os valores referentes a incubação de 30 dias variam de 19,5 a 27,8 % considerados como baixo. Já os valores referentes a incubação de 60 dias não foram encontrados em nenhuma amostra a presença de saturação de alumínio (figura 27).

Figura 27– m (%) em 30 e 60 dias de incubação



Fonte: O autor

#### 4.5 A ROCHAGEM DO REJEITO DE PEDREIRA COMO ALTERNATIVA REMINERALIZADORA DO SOLO

O rejeito de pedreira em estudo não cumpriu a garantia de especificação granulométrica para a fração > 4,8 mm. A análise granulométrica por peneiramento mostrou que, em média, 4,26% das amostras de rejeito de pedreira apresentam partículas maiores que 4,8mm, onde com esse resultado não cumpre a garantia granulométrica de 100% passante em 4,8mm e também não cumpre a tolerância mínima de até 2 unidades para menos do mínimo passante necessitando que essa fração granulométrica seja cominuída para o uso de remineralizador. Na análise granulométrica por peneiramento pode-se observar que cerca de 43% da massa de partícula encontra-se como farelado (100% passante em 4,8 mm; mínimo 80% em 2,8 mm; e máximo 25% em 0,84 mm), 74% como pó (100% passante em 2,0 mm; mínimo 70% em 0,84 mm; e mínimo 50% em 0,3 mm) e 31% como filler (100% passante em 0,3 mm). A análise granulométrica do material em estudo indica que este rejeito de pedreira se enquadra na especificação de natureza física dos remineralizadores de acordo com a IN MAPA Nº 05/2016, desde que a fração granulométrica > 4,8 mm passe por uma operação de cominuição ou seja retirada através de uma operação de peneiramento. A dissociação de elementos químicos de menor granulometria é mais rápida, enquanto os de maior granulometria tem uma reação mais lenta, Segundo Ratke et al. (2018), o uso de pó de rocha calcária com partículas menor 0,3 mm tem maior solubilidade e menor poder residual no solo.

Com o resultado da análise química por fluorescência raios-X do rejeito e de acordo com a IN MAPA Nº 05/2016, quase todas as frações granuloméricas estão dentro do parâmetro de soma de bases. A soma de bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O), deve ser igual ou superior a 9% em peso/peso. Apenas a fração granulométrica de 2,00 mm apresenta uma quantidade menor que 9%. Pode-se observar que quanto menor o tamanho de partícula maior é a porcentagem da soma de base, segundo a amostra em estudo. A presença de CaO de MgO nos pós de rocha indicam que o P estava complexado com CaO, e que ao acidificar o meio promoveu a liberação do fosfato (Ramos et al., 2014).

As amostras de rejeito apresentam teores elevados de K<sub>2</sub>O, favorável para a pesquisa na utilização do rejeito de pedreira como remineralizador. Os teores de K<sub>2</sub>O variam de 7% a 9%.

De acordo com a IN MAPA Nº 05/2016, os teores de SiO<sub>2</sub> livre devem ser inferiores a 25% com tolerancia de 20% para mais. No presente trabalho indicou-se que o rejeito de pedreira apresenta SiO<sub>2</sub> livre estimado de 40% utilizando a microscopia optica, com isso mostrando que esta dentro da tolerancia exigida pela norma. Segundo Menegale et al. (2015), os materiais contendo o íon silicato (SiO<sub>2</sub>) em sua composição, promovem a elevação do pH do solo, portanto, podem ser utilizados como corretivos de acidez do solo.

Em relação aos elementos tóxicos presentes na amostra de rejeito, não foram identificados valores significativos em ppm acima do minimo da IN MAPA Nº 05/2016 para Arsênio (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) e chumbo (Pb) utilizando o método de fluorescencia de raio x.

A presença de elementos químicos em pós de rochas depende de sua formação geológica e está relacionado com sua composição mineralogia (Ramos et al., 2014). Neste contexto o presente trabalho apresentou correlação de resultados químicos e mineralógicos.

A classe dos minerais silicatados constituem 40% dos minerais comuns, constituindo mais de 90% da crosta terrestre (Klein & Dutrow, 2012). Os minerais identificados na amostra de rejeito em estudo atraves do metodo de difração de raios-x foram: Muscovita (KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>), Microclínio (K(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) que indica a presença dos elementos K (muscovita – mica e microclínio - feldspato), Quartzo (SiO<sub>2</sub>) e Albita (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) (que apresenta como mineral não silicatado). O que se conclui que os minerais presentes caracterizam que a amostra em estudo é um granito com composição quimica estabelecida para este tipo de rocha. Os difatogramas mostram que a presença dos minerais em diferentes tipos de granulometria não se difere, todas apresentam o mesmo grupo de minerais e fases estabelecidas. Os minerais muscovita, mica apresenta-se muitos reativos, e com isso um potencial de uso agrícola como fonte de nutrientes (Ramos et al., 2014).

Os resultados referentes a petrografia por microscopia óptica foram verificado minerais como o quartzo, ortoclásio, plagioclásio, biotita e muscovita. Com estes minerais presentes conclui que o material em estudo é um granito

com a mineralogia definida. Os resultados petrográficos se assemelham com os resultados de difração de raios-X sendo um importante ponto a se destacar.

A incubação do solo com o rejeito feito em 30 dias e 60 dias foram aderentes para a maioria dos parâmetros analisados. A análise do pH apresentou resultados de acidez média a fraca ideal para a maioria das culturas. O Fósforo apresenta valores menores em relação ao tempo de incubação. Os resultados de potássio presentes foram baixos em ambos os períodos e dosagens aplicadas do rejeito no solo. Os resultados de Cálcio presente nas amostras analisadas foram favoráveis, houve um aumento em relação a comparação de 30 e 60 dias de incubação, passaram de uma classificação baixa para média. Os resultados para magnésio houve um pequeno aumento no decorrer do tempo de 30 dias para 60 dias, porém ambos classificados como teor baixo, sendo considerado por este parâmetro um solo de boa fertilidade segundo a quantidade deste elemento químico. A presença de alumínio nas amostras analisadas foi baixa chegando a 0 no período de 60 dias de incubação.

Os resultados de soma de bases classificam as amostras de baixa a média levando em consideração o período de 30 e 60 dias, em relação ao período de 60 dias foram favoráveis a partir da dosagem de 10 t/ha. Os resultados de CTC total as amostras apresentaram valores de baixo a médio, onde foi considerado a maioria com teor médio a partir da adição de rejeito para 15 t/ha. A CTC efetiva foi considerada como baixa em todas as amostras analisadas no período de 30 dias e 60 dias.

Na saturação por base as amostras foram classificadas como baixo á médio no decorrer do tempo de incubação e doses aplicadas do rejeito no solo. Quanto maior o tempo de incubação do solo com o rejeito maior será a saturação por base. Na saturação por alumínio as amostras em estudo apresentaram baixa saturação por alumínio referente a incubação do solo com o rejeito em 30 dias, já referente a incubação de 60 dias não foi encontrado saturação de alumínio presentes nas amostras, sendo assim favorável.

O material em estudo cumpre em partes todos os parâmetros da IN MAPA Nº 05/2016 para remineralizadores de solo, porém como foi citado precisa de ajustes físicos. Em relação a análise química, o rejeito cumpriu a tolerância mínima para quase todos os parâmetros, dependendo da cominuição e peneiramento do rejeito para melhores resultados.

Na incubação do rejeito com o solo foi possível identificar uma melhora de fertilidade, os parâmetros químicos aumentaram no decorrer do tempo e em diferentes dosagens aplicadas, sendo assim, conclui-se que o rejeito de pedreira é uma alternativa para ser usado como remineralizador de solo e assim ser importante para uma sustentabilidade no que diz respeito de reaproveitamento em diferentes aspectos.

## 5 CONCLUSÕES

As vantagens do uso de rejeito de pó de rochas consistiram na correção do pH no fornecimento de nutrientes e seu longo efeito residual.

A desvantagem é o intemperismo lento e, portanto, a liberação lenta de nutrientes para as plantas. Pelas características do ambiente onde serão aplicadas (solo, plantas e organismos), existem vários desafios a serem superados pela pesquisa.

Os estudos de disponibilidade de nutrientes para o meio aquoso indicaram que todas as amostras liberam macronutrientes e micronutrientes importantes para o crescimento vegetal.

Outro dado relevante obtido neste estudo foi a indisponibilidade do alumínio para o meio aquoso, o que é uma grande vantagem, por ser um elemento tóxico para o desenvolvimento vegetal. Não foram encontrados também valores significativos para os elementos tóxicos como Arsênio (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) e chumbo (Pb).

A granulometria do rejeito encontra-se dentro das faixas de Pó (especificação de pó de a cordo com a IN) e do Filler (<0,3 mm), não cumprindo a garantia de especificação granulométrica para Farelado segundo a IN MAPA Nº 05/2016. Sugerem-se estudos complementares para adequar a granulometria à normativa.

A incubação do rejeito de pedreira de Tracuateua com o solo mostrou que aplicando o resíduo no solo melhoram os parâmetros químicos quanto a fertilidade. Quanto maior o período de incubação melhores serão os parâmetros químicos.

Por fim, conclui-se que o rejeito de pedreira do município de Tracuateua - PA pode ser aplicado em solos com baixa fertilidade, melhorando assim parâmetros químicos e para a cultura analisada neste trabalho quando aplicada.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos de cominuição do rejeito de pedreira para se adequar a granulometria à IN MAPA Nº 05/2016 para uso como remineralizador de solo.

## REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). **O setor de rochas ornamentais e de revestimento.** Informe 005/2006. São Paulo. 2006. Disponível em; <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 27 set. 2006.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas. NBR 7217. **Agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro – 1987.
- ACKERMANN, F. L. **Esboço para a geologia entre as cidades de Belém Rio Gurupi e Atlântico Rio Guamá,** Belém: 1969. 83p.
- ALBERS.A.P.F. **Um método Simples de Caracterização de argilominerais por difração de raios X.** Universidade do Vale do Paraíba, UNIVAP. São Paulo. 2002.
- ALMEIDA, S.L.M. **Aproveitamento de rejeitos de Santo Antônio de Pádua, RJ para produção de brita c areia.** Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, II Rp. São Paulo, 2000.
- ALVES.S.P., MONTE.M.B.M. **Levantamento de resíduos e rejeitos e o potencial de diversificação de produtos da atividade mineral na região centro-oeste para agrominerais.** VII Jornada do Programa de Capacitação Institucional – PCI/CETEM – 30 e 31 de outubro de 2019.
- AMPARO, A. **Farinha de rocha e biomassa. Agroecologia Hoje.** Botucatu, n. 20, p.10-12, ago./set. 2003.
- ANDA - Associação Nacional para a Difusão de Adubos. **Anuário estatístico 2015.** 175 p. 2015
- BRANDÃO, P. R. G. **Notas de aula, disciplina “Métodos de instrumentação e análise”.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da UFMG – (PPGEM), Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Engenharia, 2013.
- BERGMANN, M. F. THEODORO, S. M. de C. H. **Rochagem Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no Distrito mineiro de Ametista do Sul (DMAS), RS, BRASIL.** In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM: Rochagem e fertilidade do solo, 2009, Brasilia. Anais... Brasilia – DF: Embrapa Cerrados, 2010, p 137-145.
- BRISOLA, F.D., FERNANDES, P.A.L.T., **Otimização no preparo de amostras para análise em espectrofotômetro de fluorescência de raio x.** XVI Jornada de Iniciação Científica – CETEM. Engenharia Química, UFRJ.
- CARRISSO, R.C.C. e Correia, J.C.G. **Classificação e peneiramento.** In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. (Ed.). Tratamento de minérios. 4a ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004., p.197-240
- CHAVES, A. P.; PERES, A. E. C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios Britagem, Peneiramento e Moagem.** Primeira edição, v. 3, Signus Editora, São Paulo, 2003.
- COLA.A.P.G; SIMÃO.P.B.J. **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.

CULLITY, B. D.; STOCK, S. R. **Elements of X-Ray Diffraction, 3 ed, Upper Saddle River: Prentice Hall**, 2001. 678 p.

COSTA, J. L. da **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil...Programa Grande Carajás, Castanhal. Folha SA.23\_V-C Estado do Pará; texto exolicativo**. Brasília: DNPM/CPRM. 1997.

COSTA, J. L. da et al. **Projeto Gurupi. Relatório Final de Etapa**. Texto. Belém: Convênio DNPM/CPRM, 1977, 258p. 7v. v. I. II.

DEKKER, M. **Powder technology handbook**. 2nd ed. Edited by Keishi Goto, Hiroaki Masuda and Ko Higashitani, 1997.

DÉSIR, J., M.; AFONSO, W. M.; SCHWAN, R. M.; and DANTAS, D. F. (2003). **Caracterização do resíduo de corte de rochas da região de Santo Antônio de Pádua para utilização na produção de argamassas**. Laboratório de Engenharia Civil - Universidade Estadual do Norte Fluminense.

FAO. World agriculture: towards, by N. Alexandratos, ed. New York. USA. John Wiley & Sons. 1995.

FAPESPA.(2016). **Estatística Municipal Tracuateua. Fundação Amazônia de Amparo a estudo e pesquisas**, Diretoria de estatística e de tecnologia e Gestão da informação. 2016.

FORMOSO, M. L. L. **Difratometria de Raios X**. In: GOMES, C. B. (Org.). Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1984, p.1-43.

FUJIMURA, F et al (1996). **Environmental issues and profitable uses of stone quarry fines**. In: **International conference on environmental issues and waste management in energy and mineral production**, 4., 1996, Cagliari.

GALEMBECK.F; GALEMBECK.A; SANTOS.P.L. **NPK Essentials for sustainability**. Quim. Nova, Vol. 42, No. 10, 1199-1207, 2019.

GILLMAN, G.P., **The effect of crushed basalt scoria on the cation Exchange properties of a highly weathered soil**. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.465-468, 1980.

GOMES, Paulo César Correia; LAMEIRAS, Rodrigo de Melo; ROCHA, Sergio Renato Ávila Glasherster da. **Obtenção de materiais à base de cimento com resíduo do estado de Alagoas: um caminho para o desenvolvimento sustentável da construção**. Relatório Final - FAPEAL. Alagoas. 2004.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. **Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview**. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v.56, p. 11-36. 2000.

IPNI, 2017. **Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas em 2017**. International Plant Nutrition Institute. São Paulo, 2017.

IRAMINA, W.S.; TACHIBANA, I. K.; SILVA, L. M. C.; ESTON, S. M.; **Identificação e Controle de Riscos Ocupacionais em pedreira da região metropolitana de São Paulo**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, p. 503-509, dez 2009.

- JENKINS, R.; SNYDER, R. L. **Introduction to X-Ray Powder Diffractometry**. New York: John Wiley & sons, Inc. 1996. 403 p. (Chemical Analysis, v.138).
- KAPLAN, I. **Física Nuclear**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978. 727 p.
- KAUTZMANN, R.M. **Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem**. IX CNG/2º CoGePLiP, Porto, 2014.
- Klein, C., & Dutrow, B. (2012). **Manual de ciência dos minerais**. Porto Alegre: Bookman LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R. FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes agroindústria & sustentabilidade**. CETEM, Rio de Janeiro, 2008.
- LINS, F. F.; THEODORO, S.H.; MARTINS, E. de S.; GUERRA, E. A. (2009) Apresentação. In: **Congresso Brasileiro de Rochagem**, 1, 2010, Planaltina – DF. Apresentação: Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Embrapa Cerrados, p. 302. 2010.
- LISBÔA, Edvaldo Monteiro. **Obtenção do concreto auto adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 2004. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas., Maceió, 2004.
- LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. **Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos**. Anais 29 Congr. Brasil. Geol., Belo Horizonte, p. 137-145. 1976.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V. Prefácio. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás, 2009. p. 13-20.
- MAIA, Margareth Peixoto; LACERDA, Emmanuel de Souza. **Tecnologias Limpas e competitividade: desafios da indústria baiana de rochas ornamentais**. 2000. 40 f. Monografia (Curso de Especialização em gerenciamento e tecnologias ambientais na indústria).
- EMBRAPA, **Conceito de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 2010, Campinas, SP.
- EMBRAPA, **Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo**. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Pelotas, RS, 2019.
- Escola Politécnica Bahia,2000. Disponível em:  
[www.http://intranet/monografias/tecnologias/completa.htm](http://intranet/monografias/tecnologias/completa.htm).
- Magalhães, F.B.O.A; Selvatti. L.R.G.N; Campos, C.S.N. **Reaproveitamento de finos de pedreiras: A utilização do pó de rocha como remineralizador de solo**. Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG, Campus Poços de Caldas.
- MACHADO FILHO, L.; SILVEROL, A. C. **Utilização de pó de granito e manto de alteração de piroxenito para fertilização de solos**. Rev. Bras. Agroecologia, vol.2, n.1, 2007.
- MAPA, 2016. "**Instrução Normativa nº 05". 2016.** . Brasil: Acessado em: 31 maio 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>>.

- MAPA, 2017. “**Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**”. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasilia, 2017.
- MARTINS, E. D. S.; OLIVEIRA, C. G. DE; RESENDE, A. V. DE; MATOS, M. S. F. DE, 2008, "Agrominerais – Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura". Rochas e Minerais Industriais, pp. 205–223.
- MANNING, D. A. C., 1995, **Introduction to industrial minerals. 1ª edição.** SPRINGERSCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V.
- MELAMHED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. **Pó de rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentável.** In: LAPIDO LOUREIRO, F.E.; MELAHMED, R. Fertilizantes e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.
- MENDES, K.S., (1999). **Viabilidade de Emprego de Finos de Basalto em Concreto Compactado a Rolo.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 109p.
- Menegale, M. L. de C., Castro, G. S. A., & Mancuso, M. A. C. (2015). **Silício: interação com o sistema solo-planta.** Journal of Agronomic Sciences, 4(especial), 435–454.
- METCALF. EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse.** 4 th ed. Revisão de George Tchobanoglous, Franklin Burton e David Stensel. New York: Mc Graw-Hill, 2003.
- NASCIMENTO FILHO, V.F., **Técnicas analíticas nucleares de fluorescência de raios X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF).** Departamento de Ciências Exatas/ESALQ, USP, SP. Julho,1999.
- NICHOLSON D.T. The visual impacto f quarrying. Rock Products Magazine, III: 68-76. (1996).
- NUNES, R.L.S.; FERREIRA, H.S.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. **Reciclagem de resíduos de granito para uso na indústria de revestimentos cerâmicos.** In: 46º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. São Paulo. 2002.
- NUNES.G.M.J., **Caracterização de Resíduos e Produtos da Britagem de Rochas Basálticas e Avaliação da Aplicação na Rochagem.** UNILASALLE, Centro Universitário La Salle. Canoas. 2012.
- PANALYTICAL, **X-Pert PRO: X-ray diffraction system.** User's Guide. 4 ed. 2002.
- PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B. "**MB-4": agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes.** 5. ed. corr. [s.l.]: Fundação Juquirá Candiru, p. 273. 1996.
- PISSATO, E.; SOARES, L. (2006). **Utilização de finos de pedreira em mistura de solo-cimento: correção granulométrica de um solo argiloso.** Exacta, São Paulo, V. 4, n. 1, p. 143-148, jan/jun. 2006.
- PREZOTTI. C. L; ANDRÉ.G.M. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar.** Incaper, Instituto Capixaba da Pesquisa, Assistência Técnica e extensão rural. Vitória, ES. 2013.
- RAIJ,B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba, SP. 2011.
- RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 142. 1987.

Ramos, C. G., Mello, A. G. De, & Kautzmann, R. M. (2014). **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application.** Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 1(2), 30–35.

Ratke, R. F., Pereira, H. S., Santos\_Junior, J. D. G. dos, Barbosa, J. M., & Lopes, L. O. (2018). **Different limestone particle sizes for soil acidity correction, Ca and Mg supply and corn yield.** Comunicata Scientiae, 9(2), 175–184.

ROSSETTI, D. de F., TRUCKEMBRODT, W., GÓES, A. M. **Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, Nordeste do Pará.** Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém: v. 1, n. 1, 1989. 74p. il. (Série Ciências da Terra).

ROSSETTI. D. F. **Reconstituição Paleoambiental do Grupo Barreiras no Nordeste do Pará CNPq aperfeiçoamento científico.** Relatório Final, 1988. 84p.

C.G.RAMOS,G.S.SILVA,A.G. DE MELLO. **Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem.** Versão online: <http://www.lneg.pt/iedt/unidades/16/paginas/26/30/185>, IX CNG/2º CoGePLiP, Porto 2014.

SOUZA.S.C. **Aplicação dos Finos Provenientes da Britagem de Pedreira das Região de Campos para utilização em Argamassas.** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Campo dos Goytacazes – RJ, 2004.

TAVEIRA, A.L.S. (1997). **Análise qualitativa da Distribuição de Custo Ambientais. Estudo de caso da Samarco Mineração.** Dissertação de Mestrado em Administração e Política de Recursos Minerais, Universidade Estadual de Campinas; Campinas, SP, 187p.

THEODORO, S. C. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural.** Brasília: UNB, 2000. p. 225. Tese Doutorado.

TURNER, F.J., VERHOOGEN. J., 1960. **Igneous and metamorphic petrology.** New York: McGraw-Hill, 694 p.

UFJF. **Determinação da capacidade de campo em diferentes tipos de solo.** Universidade Federal de Juiz de Fora, departamento de botânica – ICB. 2018.

VALIRE, S. B. e WENNEN, J. E. **Screening in Mineral Processing Operations.** In: Mular, A.L., Bhappu, R.B. Mineral Processing Plant Design, 2nd Edition. Littleton, USA: SME, 1980, p.917-928

VAN DEN HUJ, H.J., LYKLEMA, J., 1968. **Determination of specific surface areas of dispersed materials. Comparison of the negative adsorption methods with some other methods.** Journal of the American Chemical Society, 90, 3010-3015.