



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

**CECILIA COSTA HOLANDA**

**IDENTIFICAÇÃO DE AGROMINERAIS SILICÁTICOS ATRAVÉS DE  
CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA, MINERALÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA  
DOS PÓS DE BRITA DE DUAS PEDREIRAS DA REGIÃO NORDESTE**

Recife - PE

2023

CECILIA COSTA HOLANDA

IDENTIFICAÇÃO DE AGROMINERAIS SILICÁTICOS ATRAVÉS DE  
CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA, MINERALÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA DOS  
PÓS DE BRITA DE DUAS PEDREIRAS DA REGIÃO NORDESTE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas do Centro de Tecnologia de Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção parcial do grau de bacharel em Engenharia de Minas, tendo como orientador o Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima.

Área de conhecimento: Lavra de Minas

Recife- PE

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Holanda, Cecília Costa.

Identificação de agrominerais silicáticos através de caracterização geoquímica, mineralógica e físico-química dos pós de brita de duas pedreiras da região Nordeste / Cecília Costa Holanda. - Recife, 2023.

53 p. : il., tab.

Orientador(a): Robson Ribeiro Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Minas - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, anexos.

1. Pó de brita. 2. Fertilizantes. 3. Mineração. 4. Rochagem. 5. Pedreiras 6. Remineralizador. I. Lima, Robson Ribeiro. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

**CECILIA COSTA HOLANDA**

**IDENTIFICAÇÃO DE AGROMINERAIS SILICÁTICOS ATRAVÉS DE  
CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA, MINERALÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA  
DOS PÓS DE BRITA DE DUAS PEDREIRAS DA REGIÃO NORDESTE**

Trabalho de conclusão do curso de engenharia de minas, apresentado a universidade federal de Pernambuco, no centro de tecnologia e geociências, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia de minas, com nota final.

Igual a \_\_\_\_\_, conferida pela banca examinadora

Aprovado em: 14/08/2023

Comissão examinadora:

---

Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima - UFPE  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros  
(Examinador Interno)

---

Prof. Doutorando Carlos Eduardo da Silva Araújo  
(Examinador Interno)

---

Doutorando Rafael Franco e Silva  
(Examinador Externo)

# AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e as graças recebidas durante minha vida.

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais Altamir e Ruth, meus irmãos Arthur e Gustavo, a minha avó Maria José, Monica, ao meu tio Alípio e meu esposo Renato, por todo apoio dado para a realização desse sonho.

Agradeço aos meus tios Amaríllis e Telmo (in memoriam) e meus padrinhos Veruska e Telmo Filho, por todo apoio dado no início e durante a graduação, contribuindo para que esse sonho se tornasse realidade.

Agradeço a todos os docentes do curso de engenharia de minas, em especial ao meu orientador, prof. Dr. Robson Lima, por estar sempre comigo, nesta etapa, compartilhando ensinamentos ao longo da graduação. A todos os professores, não só pelos ensinamentos, mas também pela inspiração em fazer a diferença.

Agradeço a todos os funcionários do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE, pela parceria e amizade, ao longo dos anos, de maneira especial Iracema, Marcelo e Luciano, com quem tive maior proximidade durante minha passagem.

Agradeço ao laboratório de Mineralogia, por toda amizade e companheirismo dado, a professora Lucila Borges, Ingrid, Thaynã, Jefferson e Roberta, que nossos laços continuem sempre se fortalecendo.

Agradeço ao LAPLA, Laboratório de Planejamento de Lavra, por todos os aprendizados e companheirismo, em especial ao professor Júlio César e todos que fizeram parte do time durante minha curta mais intensa passagem, que momentos vivenciados neles sejam eternos.

Agradeço ao Laboratório de Mecânica das Rochas – Ensaio Não Destrutivos (LMR – End) por todos os períodos de monitoria e pesquisa, com certeza saio com um grande aprendizado e laços eternos. E por todo apoio dado para a realização do TCC.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos de curso, que estiveram comigo durante essa jornada, Renata Patrícia, Mayra Mykaella, Bruna Guimarães, Augusto Marçal, Sávio Olímpio, Filipe Machado, Paulo Henrique, Vinicius Oliveira, e todos os outros que aqui não citei, mas estiveram comigo ao longo da jornada.

Agradeço à Thaisa Elvas por toda amizade e companheirismo que vivenciamos durante a faculdade, que nossos laços sejam eternos.

Agradeço aos colegas engenheiros Rafael Franco, Filipe Brito, Jorge Valença, Silas Leonardo e Suelen Silva, que estiveram sempre ao meu lado, me incentivando, apoiando, aconselhando e ensinando nos momentos que mais precisei.

Agradeço à PROGrad em nome da Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade e a realização de um sonho.

E aos que aqui não consegui citar, deixo o meu agradecimento, obrigada por fazerem parte da minha jornada, como certeza levarei vocês comigo!

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é  
alguém que acredite que ele possa ser realizado.”

**Roberto Shinyashiki**

## RESUMO

A mineração e a agricultura são atividades que compõem o setor primário da economia brasileira uma vez que fornecem matéria-prima para a indústria de transformação. Em razão disto a aplicação de tecnologia no setor é de extrema importância visando à otimização do controle de qualidade, e conseqüentemente, os seus desenvolvimentos. Na mineração, a areia industrial é um dos produtos obtidos da cominuição de rochas e que na maioria das vezes não possui uma aplicação definida, portanto estocadas em pilhas nos pátios do empreendimento gerando diversos problemas ambientais, tais como, geração de poeiras, assoreamento de rios e ocupação de áreas com alto potencial lavrável. Na agricultura, a longo prazo, a cada lavoura, os solos se tornam cada vez mais empobrecidos com baixo potencial para os futuros cultivos, sendo necessário o uso contínuo e controlado de fertilizantes, pois o excesso de nutrientes, fornecidos pelos fertilizantes, também gera diversos problemas ambientais, entre eles, a contaminação de solos e a eutrofização dos rios. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo realizar a avaliação do pó de rocha como remineralizador de solo, através da técnica de rochagem visando-a como uma tecnologia viável, sustentável e econômica, além contribuir para a redução da quantidade de pilhas do pó de brita que estão inertes nas pedreiras localizadas na região do nordeste brasileiro. Segundo a Lei 12.890 de 10 de dezembro de 2013, em seu artigo 3º, por remineralizador entende-se todo 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 da 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. Como complemento a esta Lei, a Instrução Normativa Nº 5, de 10 de março de 2016, em seu Art. 4º lista critérios de especificações e garantias que este tipo de produto deve apresentar para fins de registro junto ao MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Com isso o trabalho consiste em apresentar como deve ser feito a coleta das amostras, quais procedimentos deverão ser cumpridos e apresentar a conclusão dos resultados, assim indicar quais as amostras podem ser utilizadas como remineralizador. Com isso foram feitos a coleta de 6 (seis) amostras de material fino coletadas nas usinas de britagem das 2 (duas) pedreiras escolhidas, que estão localizadas no nordeste brasileiro, nos estados de Pernambuco e Alagoas, também foram coletadas três amostras por pedreira, além de 12 (doze) amostras de rocha para a análise petrográfica. Foram realizados os seguintes ensaios: Fluorescência de Raios X (FRX), para composição química da amostra total em percentagem de óxidos, composição mineralogia do material, por meio da análise de difração de Raios X (DRX), composição de elementos potencialmente tóxicos e análise granulométrica. Concluímos, que as amostras da Pedreira de Pernambuco apresentam as características de acordo com as especificações para uso como remineralizador e a Pedreira de Alagoas não atende as especificações.

**Palavras-chave:** pó de brita; fertilizantes; mineração; rochagem; pedreiras; remineralizador;

## ABSTRACT

Mining and agriculture are activities that make up the primary sector of the Brazilian economy since they provide raw materials for the manufacturing industry. Which is why the application of technology in the sector is extremely important in order to optimize quality control, and consequently, their developments. In mining, industrial sand is one of the products obtained from the comminution of rocks and which, in most cases, does not have a defined application, therefore stored in piles in the yards of the enterprise, generating several environmental problems such as generation of dust, silting up of rivers and occupation of areas with high potential to be exploited. In agriculture, in the long term, with each crop, the soils become increasingly impoverished with low potential for future crops, requiring the continuous and controlled use of fertilizers, because the excess of nutrients, provided by fertilizers also generates several environmental problems, including, contamination of soils and the eutrophication of rivers. In this context, the objective of this work is to carry out the evaluation of rock dust as a soil remineralizer, through the stonemal technique, aiming at it as a viable, sustainable and economical technology, in addition to contributing to the reduction of the amount of piles of crushed stone dust. that are inert in the quarries located in the northeast region of Brazil. According to Law 12,890 of December 10, 2013, in its article 3, a remineralizer means all material of mineral origin that has only undergone size reduction and classification by mechanical processes and that alters soil fertility rates through addition of macro and micronutrients to the plants, as well as promoting the improvement of the physical or physico-chemical properties or the biological activity of the soil. As a complement to this Law, Normative Instruction No. 5, of March 10, 2016, in its Art. 4 lists criteria of specifications and guarantees that this type of product must present for the purposes of registration with MAPA - Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. With this, the work consists of presenting how the collection of samples should be done, which procedures should be followed and presenting the conclusion of the results, thus indicating which samples can be used as a remineralizer. With that, 6 (six) samples of fine material collected in the crushing plants of the 2 (two) quarries chosen, which are located in the Brazilian northeast, in the states of Pernambuco and Alagoas, three samples were also collected per quarry, in addition to 12 (twelve) rock samples for petrographic analysis. The following tests were carried out: X-Ray Fluorescence (FRX), for chemical composition of the total sample in percentage of oxides, mineralogy composition of the material, through X-Ray Diffraction Analysis (XRD), composition of potentially toxic elements and granulometric analysis. We conclude that the samples from the Pedreira de Pernambuco have the characteristics according to the specifications for use as a remineralizer and the Pedreira de Alagoas does not meet the specifications.

**Keywords: gravel powder; fertilizers; mining; stonemal; quarries; remineralizer;**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Fluxograma da planta de Britagem da Pedreira Esperança. <b>Fonte:</b> Cavalcante (2019) .....	17
<b>Figura 2:</b> Pilha de pó de brita localizada na planta de britagem. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End.....	18
<b>Figura 3:</b> Demanda Mundial de Fertilizantes. <b>Fonte:</b> BCR.....	20
<b>Figura 4:</b> Demanda de Fertilizantes no Brasil em janeiro 2023. <b>Fonte:</b> ANDA, 2023	21
<b>Figura 5:</b> Fluxograma das etapas necessárias para caracterização de remineralizador de acordo com mapa 05/2016. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End .....	25
<b>Figura 6:</b> Amostra de Rocha coletada para laminação e descrição petrográfica. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End.....	27
<b>Figura 7:</b> Correia transportadora após a remoção do incremento amostral. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End.....	28
<b>Figura 8:</b> Pilhas de homogeneização de amostras produzidas com o granito <9,5 mm: pilhas cônicas (a) e pilha alongada/triangular (b). <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End .....	30
<b>Figura 9:</b> Alíquotas representativas de granito com aproximadamente 5 kg acomodada em sacos plásticos reforçados e amostras de rochas. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End .....	30
<b>Figura 10:</b> Fases para a finalizações das lâminas delgadas da <u>amostra de PPE</u> . A- Serragem, B- Fatia de rocha (0,5 cm de espessura) e C – lâmina delgada finalizada, com espessura de aproximadamente 3µm para análise petrográfica. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End.....	31
<b>Figura 11:</b> fases para a finalizações da lâmina delgada da <u>amostra de PAL</u> . A- Serragem, B- Fatia de rocha (0,5 cm de espessura) e C – lâmina delgada finalizada, com espessura de aproximadamente 3µm para análise petrográfica. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End.....	32
<b>Figura 12:</b> Fotografias das lâminas da Amostra 01 da PPE. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End	42
<b>Figura 13:</b> Fotografias das Lâminas da Amostra 02 da PPE. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End .....	43
<b>Figura 14:</b> Fotografias das Lâmina da Amostra 01 da PAL. <b>Fonte:</b> Acervo LMR-End	44
<b>Figura 15:</b> Fotografia da lâmina da Amostra 02 da PAL. ....	45
<b>Figura 16:</b> Difratoograma da Amostra 01 – PPE , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso nesse caso foi GOF=3,87. <b>Fonte:</b> LTM f.....	51
<b>Figura 17:</b> Difratoograma da Amostra 02 – PPE , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, Foi GOF=3,99. <b>Fonte:</b> LTM .....	51
<b>Figura 18:</b> Difratoograma da Amostra 03 – PPE , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi GOF=4,22. <b>Fonte:</b> LTM .....	52
<b>Figura 19:</b> Difratoograma da Amostra 01 – PAL , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido,	

a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi  $GOF = 3,32$ . Fonte: LTM ..... 52

**Figura 20:** Difratograma da Amostra 02 – PAL , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi  $GOF=3,32$ . Fonte: LTM..... 52

**Figura 21:** Difratograma da Amostra 03 – PAL , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi  $GOF=3,32$ . Fonte:LTM ..... 53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Especificações de natureza física dos remineralizadores .....	24
<b>Tabela 2:</b> Teores mínimos do macronutrientes fósforo e de micronutrientes quem podem ser declarados nos remineralizadores conforme IN N°5/2016.....	24
<b>Tabela 3:</b> Tolerâncias admitidas para remineralizadores com relação à especificação de natureza.....	26
<b>Tabela 4 :</b> Valores dos incrementos estabelecidos pela normativa NBR NM 26:2009. .	28
<b>Tabela 5:</b> Apresenta os resultados apenas com os critérios para seleção/corte do remineralizador (PPE). .....	35
<b>Tabela 6:</b> Apresenta os resultados apenas com os critérios para seleção/corte do remineralizador (PAL).....	36
<b>Tabela 7:</b> Composição Inferida da Amostra 01 da Pedreira de Pernambuco (PPE) .....	42
<b>Tabela 8:</b> Composição Inferida da Amostra 02 da Pedreira de Pernambuco (PPE) .....	43
<b>Tabela 9:</b> Composição Inferida da Amostra 01 da Pedreira de Alagoas (PAL).....	43
<b>Tabela 10:</b> Composição Inferida da Amostra 01 da Pedreira de Alagoas (PAL).....	44
<b>Tabela 11:</b> Determinação das proporções modal das fases minerais cristalinas pelo método de Rietveld das Amostras da Pedreira de Pernambuco (PPE).....	45
<b>Tabela 12:</b> Tabela XX: Determinação das proporções modal das fases minerais cristalinas pelo método de Rietveld da Pedreira de Alagoas (PAL).....	46
<b>Tabela 13:</b> Análise química dos óxidos maiores analisados da Pedreira PPE. ....	47
<b>Tabela 14:</b> Análise química dos óxidos maiores analisados da PAL .....	47
<b>Tabela 15:</b> Análise química dos elementos menores analisados das amostras de PPE. ....	48
<b>Tabela 16:</b> Análise química dos elementos menores analisados das amostras de PAL. ....	49
<b>Tabela 17:</b> Análise Granulométrica da Pedreira de Pernambuco.....	50
<b>Tabela 18:</b> Análise Granulométrica da Pedreira de Alagoas.....	50

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

DRX – Difractometria de raios-x

FRX – Fluorescência de raios-x

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

IN – Instrução Normativa

LABISE – Laboratório de Isótopos Estáveis

LMR-End – Laboratório de Mecânica das Rochas – Ensaios não destrutivos

LTM – Laboratório de Tecnologia Mineral

MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	13
1.1 CONSIDERAÇÕES E IMPORTÂNCIA DO TEMA	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivos Gerais	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	16
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR DE AGREGADOS E SEUS IMPACTOS	16
2.2 FERTILIZANTES CONVENCIONAIS	18
2.2.1 Fertilizantes no Brasil	19
2.3 ROCHAGEM	21
2.4 NORMAS REGULARIZADORAS	23
2.4.1 Instrução Normativa Nº 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento	23
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	26
3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	26
3.2 PLANO DE AMOSTRAGEM PARA O PÓ DE BRITA	27
3.2.1 Retirada de incrementos da correia	28
3.2.2. Homogeneização de amostra	29
3.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	31
3.3.1 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)	32
3.3.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X	33
3.3.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	34
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	34
4.3 PEDREIRA DO ESTADO DE PERNAMBUCO (PPE)	34
4.4 PEDREIRA DO ESTADO DE ALAGOAS (PAL)	36
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	38
5.3 PEDREIRA DO ESTADO DE PERNAMBUCO (PPE)	38
5.4 PEDREIRA DO ESTADO DO ALAGOAS (PAL)	38
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	40
<b>ANEXOS</b>	42

# 1 INTRODUÇÃO

A presente seção tem como foco apresentar as considerações e importância do tema, visando elucidar a importância do estudo para o mercado da agricultura e mineração, bem como os objetivos gerais e específicos.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES E IMPORTÂNCIA DO TEMA

A economia é dividida em 3 setores: setor primário que se refere à extração de matérias primas; setor secundário que se refere à indústria e por fim, o setor terciário que se refere à venda de serviços e bens materiais. Portanto, as atividades de mineração e a agricultura são atividades que constitui o setor primário e são essenciais para sobrevivência do homem. A mineração, singularmente, é a atividade responsável pela extração e beneficiamento dos minérios, fornecendo elementos como: fosfato, potássio ferro, níquel, cobre, que são essenciais para a existência humana, Enquanto a agricultura é a atividade responsável pelo cultivo de alimentos para a população mundial, gerando um comércio interno, exportador e até mesmo na agricultura familiar. Ambas são setores de extrema importância para a economia brasileira, geram diversos empregos diretos e indiretamente, e que provocam impactos positivos e negativos. Por serem atividades do setor primário, sempre buscam novas tecnologias visando à otimização de suas atividades e o seu desenvolvimento econômico e sustentável.

A Mineração, em 2022, faturou R\$ 250 bilhões (sem considerar petróleo e gás), que corresponde há 40% do saldo Brasil, entretanto registra uma queda de 26% em relação a 2021 (IBRAM, 2022). Apesar desta queda, o setor contribui com 5% do PIB brasileiro.

Os principais minérios extraídos no Brasil são minério de Ferro, Ouro e Cobre, porém não podemos deixar de destacar o setor de agregados (areia e brita). O setor de agregados tem uma relevância para a sociedade por estar diretamente ligada ao seu desenvolvimento urbano, além de ser abundante na natureza e não necessitar de alto custo de investimento. O setor de agregados ainda tem muito a se desenvolver quando comparado com outros setores minerais. Boa parte dos empreendimentos estão localizados próximo aos centros urbanos, que geram diversos impactos ambientais,

como a poluição do ar, que pode afetar a qualidade da saúde respiratória das pessoas que vivem nas proximidades.

Quando falamos exclusivamente do beneficiamento das rochas, temos a geração de resíduos que na maioria das vezes não possuem uma aplicação definida, assim ficando estocadas em pilhas nos pátios do empreendimento gerando diversos problemas ambientais tais como geração de poeiras, assoreamento de rios e ocupação de áreas.

Em relação à agricultura, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) em seus resumos executivos publicados entre 12 e 26 de dezembro de 2022, o setor agropecuário contribuiu com 3,05% do PIB brasileiro e acumulou US\$ 132,4 bilhões, que equivale aproximadamente R\$ 695 bilhões. O setor é responsável por metade das exportações, e dentre dez produtos exportados oito são oriundos do setor agrícola (SAE-PE, 2020).

Quando observados os dados relacionados a consumo de fertilizante no Brasil, podemos perceber que é um país extremamente dependente desse produto, tendo em vista que, a longo prazo, os solos, ao decorrer das lavouras, se tornam cada vez mais empobrecidos de nutrientes, sendo necessário o uso contínuo de fertilizantes. Porém, o excesso de nutrientes no solo fornecidos por esses fertilizantes também gera diversos problemas ambientais entre eles a contaminação de solos e a eutrofização dos rios. O Brasil é o quarto consumidor de fertilizantes do mundo e participa com o consumo de 8% da produção mundial desse insumo, ficando atrás de China, Índia e Estados Unidos, sendo esta dependência um dos principais gargalos vivenciados no setor agropecuário (ANDA, 2023). Em janeiro de 2023 houve um aumento de 6,3% nas entregas de fertilizantes ao mercado quando comparado ao mesmo mês do ano anterior que equivale a 3.425 mil toneladas e um aumento de 5,5% de exportação dessas substâncias. Contudo, grande parte dos fertilizantes consumidos no Brasil é oriunda de outros países, em 2020 o percentual exportado foi de aproximadamente 69,5% sendo que em 2022 o percentual foi de aproximadamente 78% (ANDA,2023).

O pó de rocha é um material fino oriundo do beneficiamento das rochas, e que na agricultura, pode ser utilizado como remineralizador de solos, com o objetivo de repor nutrientes e melhorar a qualidade do solo, está técnica e denominada rochagem.

Diante do exposto, a rochagem surge como uma alternativa sustentável para mineração e agricultura, uma vez que possibilita a aplicação do pó do brita como

remineralizador de solo. Contudo, para que o material seja utilizado como remineralizador deve atender a especificações e requisitos previstas na legislação.

Em relação às especificações, temos adequação da granulometria, percentual da soma de bases igual ou superior a 9%, o teor de óxido de potássio acima 1%. Além disso, é importante que o pó de rocha seja livre de contaminantes como metais pesados, e que o percentual de sílica livre não ultrapasse 25%, conforme observado instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste projeto é caracterizar os pós de brita proveniente de duas pedreiras da Região Metropolitana do Recife, a fim de caracterizá-lo e verificar seu potencial de fornecer nutrientes minerais ao solo de acordo com as exigências estabelecidas na instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016 (MAPA), Art. 4º.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

a) Realização de atividades de amostragem de resíduos na Central de Britagem das pedreiras;

b) Determinar seu potencial de fornecer nutrientes minerais ao solo, utilizando os métodos descritos as exigências estabelecidas nas instruções normativas nº 5 do MAPA, de 10 de março de 2016, Art. 4º;

c) Caracterização petrográfica e mineralógica do maciço rochoso;

d) Caracterização química e física dos pós de brita;

e) Composição de elementos potencialmente tóxicos: As, Cd, Pb, Cr, Hg (em ppm);

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

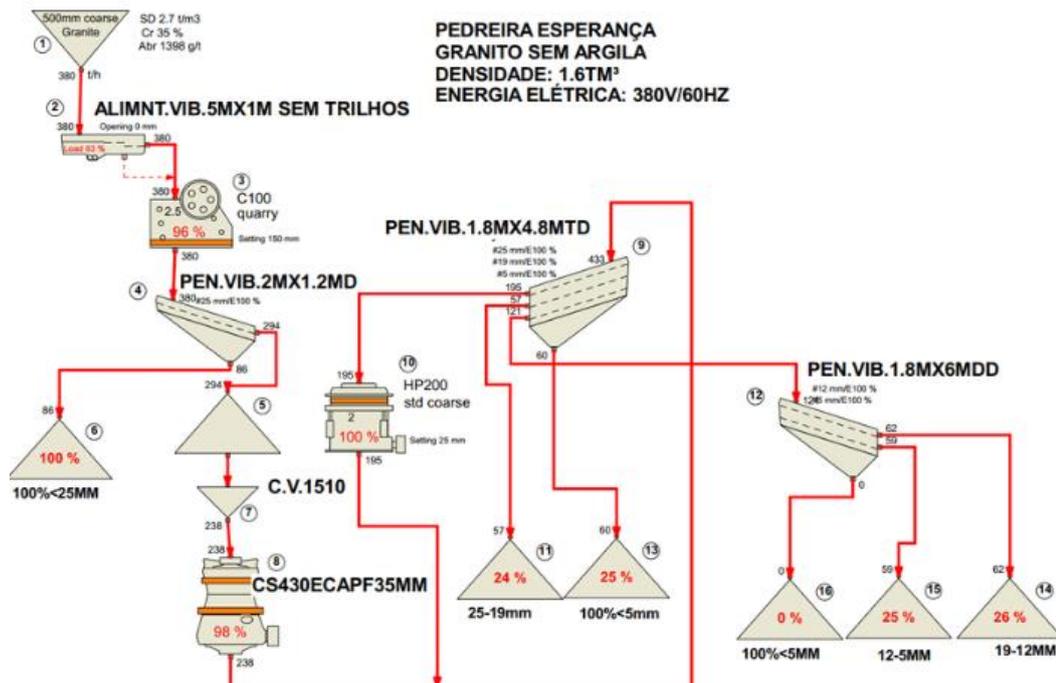
Nesta seção tem como objetivo apresentar fundamentação teórica relacionada ao tema. Para a realização dessa etapa foram consultados livros, artigos e sites oficiais para ampla revisão acerca do tema. Antes de entender sobre o uso do pó de brita como remineralizador de solo, é importante entender os impactos ambientais vivenciados no setor minerário.

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO SETOR DE AGREGADOS E SEUS IMPACTOS

O setor de agregados é de suma importância para a sociedade, tendo em vista que é responsável pelo fornecimento de insumos para a construção civil, como brita, areia e argila. Um dos problemas vivenciado pelo setor é o da estocagem dos finos oriundos do processo de beneficiamento. Nas pedreiras, após o circuito de britagem e/ou moagem, podemos obter basicamente quatro diferentes produtos que são classificados de acordo com a sua granulometria, temos:

- Pó de rocha (granulometria  $\leq 4,8\text{mm}$ )
- Brita 0 (granulometria entre 12,5 a 4,8 mm)
- Brita 1 (granulometria entre 25 a 12,5 mm)
- Brita 2 (granulometria entre 50 a 25 mm)
- Brita 3 (granulometria (70 a 50 mm))

Na figura 1 é possível observa-se o fluxograma de uma planta de britagem de uma pedreira e pode-se observar que o material passa por britadores mais de uma vez, a depender da classificação granulométrica, e esse ciclo pode gerar o pó de rocha. Também pode ser observada a necessidade da formação de mais de uma pilha de material.



**Figura 1:** Fluxograma da planta de Britagem da Pedreira Esperança. **Fonte:** Cavalcante (2019)

O pó de rocha, oriundo do beneficiamento, muitas vezes não possui uma destinação definida, terminando ficando estocados em pátios formando grandes pilhas de material (Figura 2).

A estocagem desses finos em pátios pode gerar alguns impactos ambientais, tais como: alteração da paisagem, obstrução de canais de drenagem em virtude da deposição desses finos e geração de poeira. (Almeida e Sampaio, 2002).

Além dos impactos citados acima, há também a necessidade da destinação de um pátio para a instalação dessas pilhas, além de um monitoramento para acompanhar a estabilidade da pilha e evitar qualquer tipo de acidente.



**Figura 2:** Pilha de pó de brita localizada na planta de britagem. **Fonte:** Acervo LMR-End

## 2.2 FERTILIZANTES CONVENCIONAIS

Os fertilizantes são definidos como toda substância mineral ou orgânica, obtida de forma natural ou industrial, que forneça à planta nutrientes básicos necessários para o desenvolvimento (Costa, 2012). Porém, seu uso excessivo pode ter impactos negativos como a acidificação do solo e a eutrofização, ou seja, a poluição dos corpos de água devido ao excesso de metais pesados e a facilidade de lixiviação e volatilização. (Cirino, 2021)

Os fertilizantes podem ser divididos em dois grupos:

- Fertilizantes Orgânicos: que são produzidos a partir de substâncias de origem natural, como resíduos de plantas, matéria orgânica em decomposição, resíduos de animais, entre outros.
- Fertilizantes minerais ou fertilizantes convencionais, são oriundos industrialmente através de processos químicos e/ou físicos. Esses são mais utilizados devido à liberação mais rápida. Em sua composição contém um percentual elevado de como (Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K)), o que facilita o solo absorver

rapidamente os nutrientes, e em menor quantidade Enxofre (S), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). Devido as suas características são os fertilizantes mais utilizados na agricultura. (ISHERWOOD, 2003)

Nos fertilizantes podem ser encontrados macronutrientes e micronutrientes. Os principais elementos necessários para um solo ter um bom desenvolvimento, são: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), esses são elementos absorvidos em maior quantidade. Enquanto os micronutrientes, também denominados como elementos traços, são absorvidos em uma menor proporção, são estes: Boro (B), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Molibdênio (Mo), Cloro (Cl) e Manganês (Mn). Ambos os nutrientes são importantes para o desenvolvimento das plantas e aporte nutricional das culturas de alimentos. (Ronquim, 2010)

Os principais elementos fornecidos em maior quantidade pelos fertilizantes NPK, como a própria sigla diz são Nitrogênio, Fósforo e Potássio, apresentam as seguintes características na cultura:

- Nitrogênio (N): É importante no crescimento e contribui na formação de folhas verdes;
- Fósforo (P): É importante no desenvolvimento das raízes, flores, sementes e frutos, além de contribuir na maturação adequada;
- Potássio (K): Ajuda na resistência das plantas, e desenvolvimento das raízes, além da qualidade dos frutos e aumento do sabor.

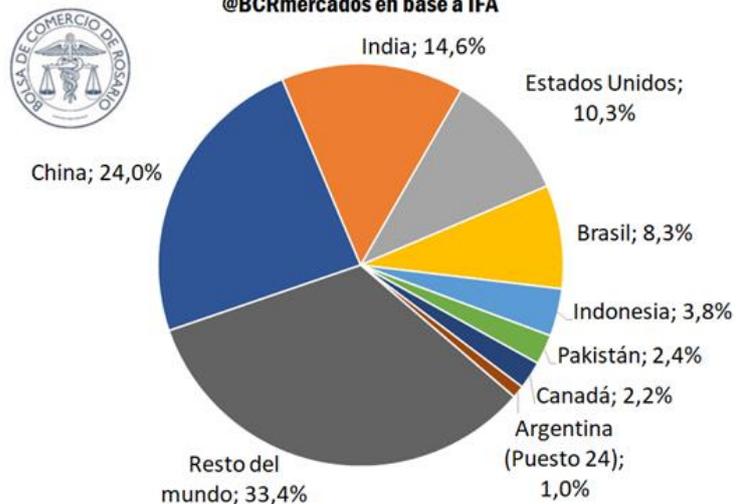
### 2.2.1 Fertilizantes no Brasil

A Figura 3 apresenta a demanda mundial de fertilizantes, mostrando o Brasil como o quarto consumidor desse insumo, com o consumo de 8% da produção mundial.

## Demanda mundial de fertilizantes

Año 2018

@BCRmercados en base a IFA



**Figura 3:** Demanda Mundial de Fertilizantes. **Fonte:** BCR

Analizando os dados do ANDA, também se pode observar que o Brasil, no período entre janeiro de 2022 e Janeiro de 2023, aumentou em pouco mais 6% o consumo de fertilizantes, e que a maior parte deles estar concentrado na exportações. Conforme analisado na figura abaixo:

Fertilizantes Entregues ao Mercado (em toneladas de produto)					
	2020	2021	2022	2023	2023/2022
Janeiro	3.046.746	3.397.952	3.222.516	3.425.291	6,3%
Total do Ano	40.564.138	45.855.071	41.077.519	3.425.291	
Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2020	2021	2022	2023	2023/2022
Janeiro	595.914	528.403	623.102	565.733	-9,2%
Total do Ano	7.182.751	7.210.334	7.450.697	565.733	
Importação de Fertilizantes Intermediários (em toneladas de produto)					
	2020	2021	2022	2023	2023/2022
Janeiro	2.183.773	2.881.171	3.277.848	2.532.442	-22,7%
Total do Ano	32.872.543	39.258.338	34.606.843	2.532.442	
Obs: Não inclui importações para uso não fertilizante					
Fonte: Siacesp/MDIC					
Principais Exportações de Fertilizantes e Formulações NPK (em tons. de produto)					
	2020	2021	2022	2023	2023/2022
Janeiro	45.199	49.814	69.211	73.040	5,5%
Total do Ano	584.118	683.830	524.788	73.040	
Estoques de Produtos Intermediários para Fertilizantes e Formulações NPK (em ton de produto)					
	2019	2020	2021	2022	2022/2021
31 de dezembro	6.788.848	6.199.703	7.273.637	8.441.102	16,1%
Obs: Estoques disponíveis na Indústria (SSP e TSP na forma granulada)					
11/04/2023					

**Figura 4:** Demanda de Fertilizantes no Brasil em janeiro 2023. **Fonte:** ANDA, 2023

Segundo dados publicados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) publicados em maio de 2022, mostra que o Brasil, em pouco mais de 2 décadas, saiu de um consumo de 4 milhões de toneladas em 1998 para quase 33 milhões em 2020, apresentando um crescimento de 445%. Ainda segundo o MAPA, a dependência se torna preocupante quando se verifica que o Brasil deverá se tornar responsável pela metade da produção de alimentos do mundo nos próximos anos.

### 2.3 ROCHAGEM

A rochagem é uma técnica que consiste na aplicação do pó de rocha no solo, com o objetivo de fornecer nutrientes para melhorar a fertilidade do solo, ou seja, promove a remineralização do solo. Sendo uma opção para substituir o elevado

percentual de fertilizantes químicos, além de contribui para a redução dos impactos ambientais causados por eles. (Ramos *et al*, 2014)

Quando o pó de rocha é aplicado no solo, este começa a sofrer o processo de intemperismo, que envolve a ação de agentes físicos, químicos e biológicos, levando à sua decomposição gradual. Esse processo resulta na liberação lenta e constante de nutrientes, como cálcio, magnésio, potássio, fósforo e micronutrientes, que são essenciais para o desenvolvimento saudável das plantas.

Os pós de rocha liberam macro e micronutrientes através de liberação lenta e contínua, o que dispensa a reaplicação a cada plantio, produzindo resultados satisfatórios ao longo de até 5 anos. (Bergmann *et al*. 2011).

A rochagem é uma técnica sustentável, de menor risco financeiro e reduz a dependência das importações de fertilizantes convencionais (Bergmann *et al*. 2011). Além de trazer benefícios na redução dos custos produtivos, aumento da produção agrícola e inibi a poluição dos solos e dos recursos hídricos (Silva *et al*.,2020). Além disso, o uso do pó de rocha favorece para destinação econômica do rejeito que estariam armazenados em pilha, gerando a liberação da área para outra atividade e reduzindo o passivo ambiental. (CPRM, 2020).

Segundo Theodoro (2020) podemos destacar que a rochagem apresenta as seguintes vantagens: custo de aquisição e seu efeito prolongado devido à lenta disponibilização de nutrientes; maior produtividade até 30% em culturas de longo ciclo; maior teor de umidade devido os argilominerais apresentarem maior capacidade de retenção de água; raízes em maior quantidade; culturas de ciclo longo apresentam maior desempenho devido disponibilidade de nutrientes por mais tempo e culturas de ciclo curtos apresentam resultados semelhantes a culturas de longos ciclos; transporte e manejo dos pós de rochas e contribui para o sequestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) contribuindo para a inibição das mudanças climáticas;

Entre as desvantagens, segundo Theodoro (2020) temos a solubilidade e disponibilidade dos nutrientes de maneira mais lenta, custos com transportes, a ausência de crédito e políticas públicas no incentivo para uso dos remineralizadores.

## 2.4 NORMAS REGULARIZADORAS

Desde 2013 os pós de rochas foram adicionados na Lei Nº 12.890/2013 e que passaram a ter normatização específica na instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016 (MAPA) para uso na agricultura como remineralizadores de solos.

### 2.4.1 Lei 12.890 de 10 de dezembro de 2013

A Lei Nº 12.890 de 10 de dezembro de 2013 altera a Lei Nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980 e inclui os remineralizadores como uma categoria de insumo agrícola. E classifica em seu art. 3 os remineralizadores 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 da 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 (BRASIL, 2013).

### 2.4.1 Instrução Normativa Nº 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

A Instrução Normativa Nº 5, de 10 de março de 2016, estabelece as regras sobre definições, classificações, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propagando dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados para a agricultura. Sendo no Art. 4. em sua seção III, apresenta as especificações e garantias mínimas que o produto deve ter para uso como remineralizadores, sendo:

1. Análise granulométrica, os remineralizadores devem ser classificados quando a sua natureza física (filler, pó ou farelo), conforme apresentado na tabela 1.

**Tabela 1:** Especificações de natureza física dos remineralizadores

ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
	Peneira	Partículas Passantes (peso/peso)
Filler	0,3 mm (ABNT nº 50)	100%
Pó	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: MAPA (2016)

2. Soma das bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) superior a 9% em peso/peso;
3. Teor de óxido de potássio (K<sub>2</sub>O) superior a 1% em peso/peso;
4. Potencial Hidrogeniônico (pH) de abrasão, valor declarado pelo registrante;
5. Os remineralizadores que contiverem naturalmente macronutrientes fósforo e micronutrientes, só poderem ser declarados se os teores forem iguais ou superiores aos valores descritos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Teores mínimos do macronutrientes fósforo e de micronutrientes que podem ser declarados nos remineralizadores conforme IN N°5/2016.

NUTRIENTE	TEOR TOTAL MÍNIMO (% peso/peso)
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1
Boro (B)	0,03
Cloro (Cl)	0,1
Cobalto (Co)	0,005
Cobre (Cu)	0,05
Ferro (Fe)	0,1
Manganês (Mn)	0,1
Molibdênio (Mo)	0,005
Níquel (Ni)	0,005
Selênio (Se)	0,03
Silício (Si)	0,05

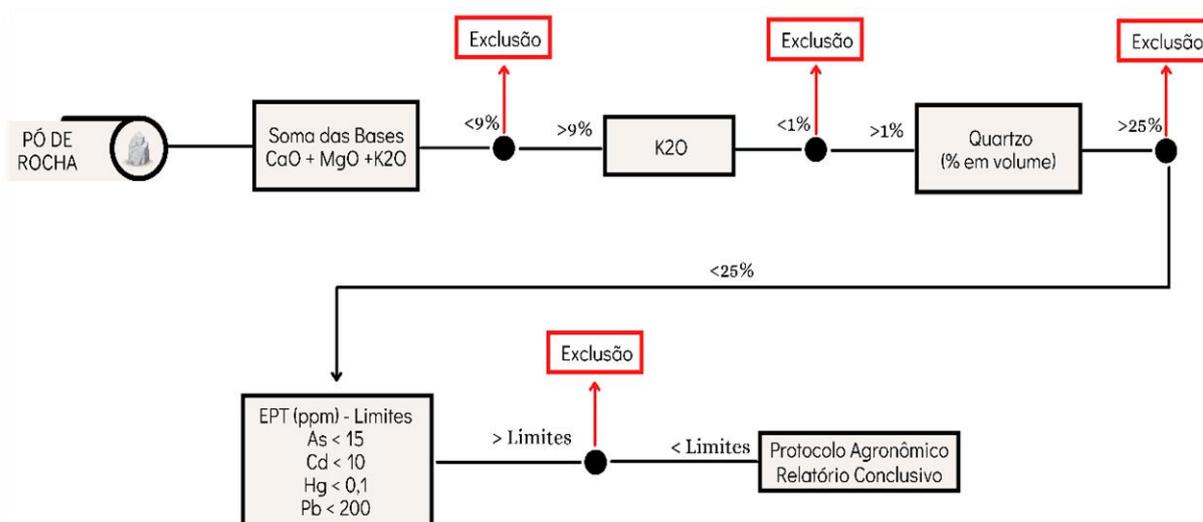
Zinco (Zn)	0,1
------------	-----

Fonte: IN Nº 5/2016 do MAPA

Não poderá ser registrado no MAPA como remineralizador, assim como vedado a produção, importação e comercialização no país, o produto que apresente os seguintes percentuais:

- Teor de Sílica (SiO<sub>2</sub>) Livre superior a 25% em volume/volume;
- Teores de Elementos Potencialmente tóxicos superiores a:
  - Arsênio (As): 15 ppm;
  - Cádmio (Cd): 10 ppm;
  - Mercúrio (Hg): 0,1 ppm; e
  - Chumbo (Pb): 200 ppm.

Abaixo o Fluxograma apresentando as etapas necessárias para caracterização de um remineralizador (Figura 5).



**Figura 5:** Fluxograma das etapas necessárias para caracterização de remineralizador de acordo com mapa 05/2016. Fonte: Acervo LMR-End

Em seu capítulo II, no Art.6 da Instrução Normativa Nº 5, de 10 de março de 2016, estabelece as tolerâncias em relação às granulometrias do produto (Tabela 3), temos que para remineralizador:

1. Em relação à Soma dos Óxidos: até 10% (dez por cento) para menos, sem ultrapassar 1,5 (uma e meia) unidade;

2. Em relação aos nutrientes garantidos ou declarados: até 25% (vinte e cinco por cento) para menos, sem ultrapassar 1 (uma) unidade; e

3. Em relação ao potencial Hidrogeniônico (pH) de abrasão: até 1 (uma) unidade para menos; e

4. Em relação à especificação de natureza física, temos as tolerâncias especificadas na tabela 4.

**Tabela 3:** Tolerâncias admitidas para remineralizadores com relação à especificação de natureza.

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:** Anexo III da Instrução Normativa N° 5, de 10 de março de 2016

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção apresentam-se a metodologia aplicada em três focos principais, o primeiro enfoque foi a revisão bibliográfica, o segundo abrangeu a estratégia, os procedimentos de coleta e preparação de amostras, o terceiro e último está relacionado à caracterização dos materiais coletados.

#### 3.1 COLETA E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostragens das rochas e do pó de brita foram obtidas na Central de Britagem de duas pedreiras, que ficam respectivamente nos Estados de Pernambuco (PE) e Alagoas (AL). Foram coletadas amostras de rocha para laminação e descrição petrográfica (Figura 6), assim como o pó de brita, rejeito derivado da estação de britagem, para a caracterização mineralógica, física e química do material.



**Figura 6:** Amostra de Rocha coletada para laminação e descrição petrógrfica. **Fonte:** Acervo LMR-End

As amostras coletadas para as análises foram classificadas em I (Pedreira do Estado de Pernambuco (PPE) e II (Pedreira de Alagoas (PAL).

### 3.2 PLANO DE AMOSTRAGEM PARA O PÓ DE BRITA

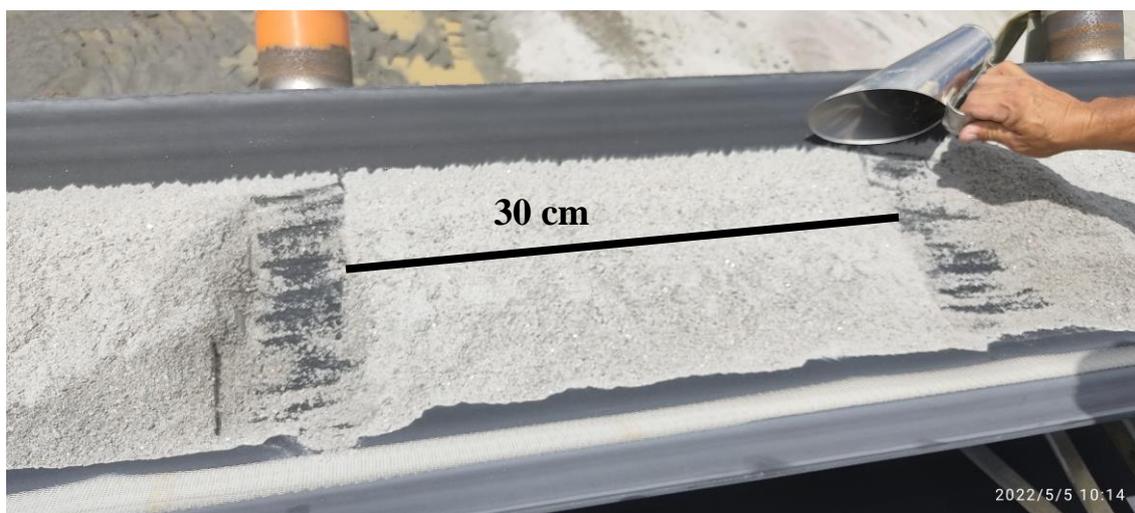
O plano de amostragem para o pó de brita foi estabelecido a partir da NBR NM 26:2009 – Amostragem para ensaios físico-químicos. Esta Norma estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua coleta e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados destinadas aos ensaios físico-químicos de laboratório. Foi estabelecida que a granulometria das amostras a serem analisadas apresentam valor inferior a 9,5 mm. Desta forma, a partir da norma, foi necessário retirar no mínimo 40 kg de amostra da correia transportadora. A amostragem foi realizada em três dias distintos e não consecutivos, a fim de avaliar possíveis variações mineroquímicas do material. A Tabela 4 apresenta os valores mássicos de retirada conforme a normativa empregada.

**Tabela 4:** Valores dos incrementos estabelecidos pela normativa NBR NM 26:2009.

Tamanho nominal do agregado (mm)	Número mínimo de amostras parciais	Quantidade total da amostra de campo	
		Massa (kg)	Volume (dm <sup>3</sup> )
125 x 75	3	225	150
75 x 37,5		150	100
37,5 x 19		75	50
19 x 9,5		40	25
-9,5		40	25

### 3.2.1 Retirada de incrementos da correia

Para obter os incrementos amostrais, foram realizadas duas pausas na correia transportadora do material fino (< 9,5 mm). Essas pausas ocorreram às 9:00 da manhã e às 12:00 da tarde. Em cada pausa foi coletado cerca de 30 cm de material da correia, i.e., cerca de 15 L de amostra, o que corresponde a aproximadamente 40 kg por retirada. Desta forma foram retiradas aproximadamente 80 kg por dia de amostragem. A Figura 7 apresenta a imagem da correia após o material ter sido retirado. Para este procedimento foram necessários os seguintes instrumentos: (i) balde; e (ii) espátula.



**Figura 7:** Correia transportadora após a remoção do incremento amostral. **Fonte:** Acervo LMR-End

### 3.2.2. Homogeneização de amostra

A etapa da homogeneização é imprescindível para a obtenção de alíquotas de análise. É sabido que não será utilizado todo o material coletado na amostragem para realizar as análises minero-química, sendo fundamental realizar os procedimentos de homogeneização e quarteramento de forma adequada, para garantir a melhor representatividade amostral. A Figura 8 apresenta pilhas cônicas e triangulares realizadas no local.

Para a realização das pilhas de homogeneização foram realizadas as seguintes etapas:

(i) Definiu-se um local plano e limpo para a produção das pilhas. Foi utilizada uma lona grande para minimizar a contaminação com o solo;

(ii) Inicialmente foi confeccionada uma pilha cônica. Para isso, fixou-se um ponto em uma superfície e o material foi depositado neste ponto. Para auxiliar foi utilizado uma caneca de cereais;

(iii) Em seguida, foi produzida uma outra pilha cônica a partir da anterior. Para isso, o material da pilha cônica 1 foi retirado de baixo para cima de forma que o recipiente percorra toda a lateral da pilha, ou seja, da base ao topo. A pilha cônica 2 foi confeccionada seguindo o passo (ii);

(iv) Em seguida foi produzida a pilha triangular. O material deve ser retirado da pilha cônica 2 seguindo o procedimento apresentando no item (iii). Essa deposição foi realizada de forma padronizada, ou seja, o material coletado da pilha cônica foi inteiramente depositado no comprimento da pilha triangular, i.e., do ponto inicial até o final da pilha;

(v) Após finalizar a pilha triangular, suas extremidades foram retiradas e redistribuídas;

(vi) Após esse procedimento deve-se retirar as alíquotas de aproximadamente 5 kg. Essa retirada foi realizada com uma espátula seccionando a pilha de forma ortogonal ao seu comprimento.



**Figura 8:** Pilhas de homogeneização de amostras produzidas com o granito <math><9,5\text{ mm}</math>: pilhas cônicas (a) e pilha alongada/triangular (b). **Fonte:** Acervo LMR-End

Foram retiradas da pilha triangular 5 alíquotas (Figura 9) por dia de amostragem. Dessas alíquotas 1 foi enviada para a análise mineralógica e química e 1 foi encaminhada para análise de solo. As outras 3 alíquotas foram mantidas na empresa como testemunho da amostragem realizada. Esse procedimento foi adotado nos três dias de amostragem.



**Figura 9:** Alíquotas representativas de granito com aproximadamente 5 kg acomodada em sacos plásticos reforçados e amostras de rochas. **Fonte:** Acervo LMR-End

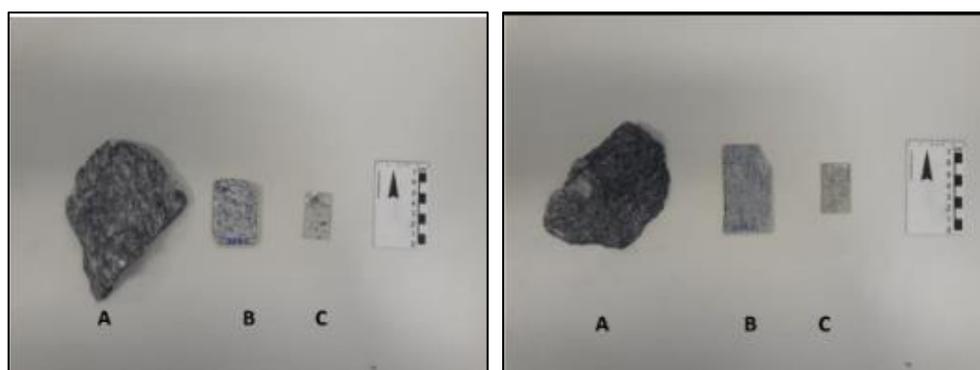
As amostras posteriormente foram submetidas às análises para determinação de parâmetros químicos, físicos, físico-químicos e mineralógicos, visando determinar as principais propriedades das partículas para uso em técnicas de rochagem.

Após quarteamento, foram retiradas da pilha alongada 3 alíquotas de 1 kg que foram acondicionadas em sacos plásticos para evitar a contaminação cruzada das amostras e manter um ambiente adequado, identificado com etiqueta e foi enviada para o Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM) / Departamento de Engenharia de Minas / CTG /UFPE, para a preparação final e distribuição das amostras para a execução das etapas de caracterização do material.

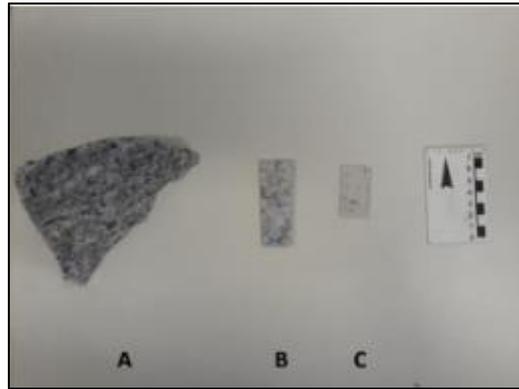
### 3.3 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

Nesta etapa houve uma descrição visual do objeto, assim como os minerais presentes e suas respectivas porcentagens.

A confecção da lâmina de rocha (Figuras 10 e 11) foi realizada pelo Laboratório de Mecânica das Rochas – Ensaio não Destrutivos (LMR–EnD) da UFPE / DEMINAS, para caracterização mineralógica e textural. A preparação de lâminas delgadas se dá em um corte de uma chapa de 2mm de espessura, aproximadamente, que é colada numa lâmina de vidro. Após faz-se o lixamento e polimento da lâmina até a espessura de 0,03 mm. Para cada pedreira foram elaboradas 2 lâminas.



**Figura 10:** Fases para as finalizações das lâminas delgadas da amostra de PPE. A- Serragem, B- Fatia de rocha (0,5 cm de espessura) e C – lâmina delgada finalizada, com espessura de aproximadamente 3µm para análise petrográfica. **Fonte:** Acervo LMR-End



**Figura 11:** fases para a finalização da lâmina delgada da amostra de PAL. A- Serragem, B- Fatia de rocha (0,5 cm de espessura) e C – lâmina delgada finalizada, com espessura de aproximadamente 3 $\mu$ m para análise petrográfica. **Fonte:** Acervo LMR-End

### 3.3.1 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

A Difratometria de Raios-X (DRX) também foi utilizada para identificação da composição mineralógica da areia artificial. As análises foram realizadas no laboratório de Difratometria de Raios-X do Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM).

Para a análise de mineralogia através do DRX foi utilizada uma alíquota de aproximadamente 5 gramas de amostra, e pulverizada em moinho McCrone (ágata) por 10 minutos, 10 ml de água deionizada. Após a moagem, a suspensão foi seca em estufa a 105°C. Depois de seca, a mostra foi recuperada com auxílio de espátula, suavemente desagregada por moagem manual num gral de ágata, e montada em porta amostras do tipo *backload* e levada ao equipamento para a coleta do difratograma.

As medidas de DRX foram realizadas em um difratômetro *Bruker D8 Discover*. Utilizou-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador *Johansson* pra  $K\alpha_1$  operando em 40kV e 40mA, configurações Bragg-Brentano  $\theta$ - $2\theta$ , detector unidimensional *Lynxeye*<sup>®</sup>,  $2\theta$  de 5° a 100° e passo de 0,02°. As amostras foram mantidas em rotação de 15 rpm. A composição e proporção modal foi obtida pelo método de Rietveld, utilizando o software *TOPAS*<sup>®</sup> Versão 4.2, em que se baseia no ajuste de uma composição calculada ao difratograma experimental.

### 3.3.2 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

A Fluorescência de Raios x (FRX) foi a técnica analítica utilizada na determinação dos elementos maiores e traços das amostras do pó de rocha aplicado para a fertilização e os solos. Consiste em uma técnica versátil na determinação de elementos maiores e menores, com baixa detecção (partes por milhão).

Essas análises foram realizadas no Núcleo de Estudos Geoquímicos (NEG) e Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) pertencente ao Departamento de Geologia da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), disponíveis no anexo C deste trabalho.

Para a análise de elementos maiores por FRX uma alíquota de aproximadamente 5 gramas de amostra, foi separada por quarteamento manual, e pulverizada em moinho planetário de bolas (ágata) por 40 minutos. Após a moagem, a amostra foi seca em estufa a 105°C por 12 horas, e destinadas à determinação da perda na ignição (LOI) ou ganho na ignição (GOI). Para a determinação do LOI e GOI, a amostra calcinada 1000°C por 5 horas. Uma alíquota de 1 grama de amostra previamente calcinada foi fundida com 9 gramas de tetraborato de lítio.

Para análise de elementos menores por FRX, uma alíquota de aproximadamente 15 gramas de amostra, foi separada por quarteamento manual, e pulverizada em moinho planetário de bolas (ágata) por 40 minutos. Após a moagem, a amostra foi seca em estufa a 105°C por 12 horas, e destinada a confecção da pastilha prensada. A confecção da pastilha foi realizada por mistura e homogeneização na proporção de 3 gramas do aglutinante e 9 gramas de amostra previamente seca, e em seguida prensada com uma força de 15 toneladas. As medidas de FRX foram realizadas em um espectrômetro WDS *Bruker S8 Tiger*, equipado com tubo de Rh. Para a análise dos elementos maiores, a calibração foi realizada com o pacote *GeoQuant M<sup>®</sup>* da *Bruker* composto por padrões de rochas e minerais naturais. Os valores obtidos para os óxidos maiores estão representados em percentagem (%) de massa, em base úmida. Para análise dos elementos menores, os resultados foram obtidos, por pacote de curvas *GeoQuant M<sup>®</sup>* da *Bruker*. Os elementos menores estão representados em partes por milhão (ppm).

Para determinação dos elementos potencialmente tóxicos (metais pesados): Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cromo (Cr) e Mercúrio (Hg) (em ppm) foram realizadas análises de FRX no Laboratório de solos.

### 3.3.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica é técnica utilizada para observar a distribuição do tamanho dos grãos da amostra analisada. E a partir da distribuição dos nossos grãos é possível atribuir usos ao material. Essa análise pode acontecer via úmida ou seca, a depender das amostradas trabalhadas, e é dividida em etapas, sendo classificação e peneiramento as principais.

A classificação granulométrica foi realizada no Laboratório de solos da Universidade Federal de Pernambuco, e os resultados estão disponíveis no anexo E do trabalho.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados obtidos da caracterização (física, química e mineralógica) para os pós de britas, provenientes das duas pedreiras, verificando seu potencial de fornecer nutrientes minerais ao solo.

### 4.3 PEDREIRA DO ESTADO DE PERNAMBUCO (PPE)

A Tabela 5 apresenta o resumo dos resultados, comparando os parâmetros limitantes para uso agrícola (segundo estabelecido na Instrução Normativa nº 05/2016, do MAPA), com as diferentes análises realizadas nas amostras dos pós de britas e rochas para seleção ou corte do remineralizador.

**Tabela 5:** Apresenta os resultados apenas com os critérios para seleção/corte do remineralizador (PPE).

Amostra	SB (%)	K <sub>2</sub> O (%)	SiO <sub>2</sub> (% peso)	SiO <sub>2</sub> (% vol.)	Elementos potencialmente tóxicos				OBS.: problema
					As (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	
Cód.	<b>&gt; 9</b> (t>8)*	<b>≥ 1</b> (t>0,75) *	<b>≤ 25</b> (t20-30) *	<b>≤ 25</b> (t20-30) *	<b>&lt; 15</b> (t<18,75) *	<b>&lt; 10</b> (t<12,5) *	<b>&lt; 0,1</b> (t<0,125) *	<b>&lt; 200</b> (t<250) *	
PPE1	10,48	4,31	23,18	± 20	<1,5	< 0,25	< 0,001	1,6	NA
PPE2	10,51	4,34	24,32	± 15 - 20	<1,5	< 0,25	< 0,001	2,2	NA
PPE3	10,56	4,33	23,09	-	<2,6	< 0,24	< 0,001	2,1	NA

\* t = refere-se à tolerância \*NA:Não Apresentou

Fonte: Autor

Como visto anteriormente, de acordo com a normativa, os remineralizadores deverão apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas:

- Natureza física do produto (Filler ≤0,3 mm; Pó 0,3-2 mm; Farelado 0,84-4,8 mm);
- Soma de bases (por FRX) (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) – SB% ≥ 9% (tolerância > 7,5%);
- Teor de óxido de potássio (por FRX) (K<sub>2</sub>O) ≥ 1% (tolerância > 0,75%);
- Ph de abrasão, valor conforme declarado pelo registrante (resultados do laboratório de solos);
- Sílica livre (quartzo) – teor (%v/v) SiO<sub>2</sub> ≤ 25% (20-30%);

Elementos potencialmente tóxicos:

a) para Arsênio (As): valor até 15 ppm (tolerância até 18,75);

b) para Cádmio (Cd): valor até 10 ppm (tolerância até 12,5);

c) para Mercúrio (Hg): valor até 0,1 ppm (tolerância até 0,125);

d) para Chumbo (Pb): valor até 200 ppm (tolerância até 250).

Com base nos resultados apresentados na Tabela 6, foram observados os resultados obtidos, podem-se fazer as seguintes observações:

a) Com base nos resultados da soma de bases na Tabela 3, a soma das bases (SB) (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) apresenta valores que estão dentro dos limites desejados;

b) Os valores de K<sub>2</sub>O apresentaram resultados positivos, para a faixa de valores admissíveis;

c) Os valores de SiO<sub>2</sub> em (% peso) e SiO<sub>2</sub> em (% vol.) indicam a presença do mineral quartzo conforme foi detectado nas análises análise petrográfica Estes valores estão dentro das faixas de concentração desejáveis;

d) Os elementos assinalados na tabela acima em cinza, referem-se aos Elementos Potencialmente Tóxicos (Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo e Mercúrio), que estão dentro da faixa de teores máximos permitidos.

#### 4.4 PEDREIRA DO ESTADO DE ALAGOAS (PAL)

A Tabela 6 apresenta o resumo dos resultados, comparando os parâmetros limitantes para uso agrícola (segundo estabelecido na Instrução Normativa n° 05/2016, do MAPA), com as diferentes análises realizadas nas amostras dos pós de britas e rochas para seleção ou corte do remineralizador.

**Tabela 6:** Apresenta os resultados apenas com os critérios para seleção/corte do remineralizador (PAL).

Amostra	SB (%)	K <sub>2</sub> O (%)	SiO <sub>2</sub> (% peso)	SiO <sub>2</sub> (% vol.)	Elementos potencialmente tóxicos				OBS.: problema
					As (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	
Cód.	<b>&gt; 9</b> (t>8)*	<b>≥ 1</b> (t>0,75) *	<b>≤ 25</b> (t20-30) *	<b>≤ 25</b> (t20-30) *	<b>&lt; 15</b> (t<18,75) *	<b>&lt; 10</b> (t<12,5) *	<b>&lt; 0,1</b> (t<0,125) *	<b>&lt; 200</b> (t<250) *	
<b>PAL1</b>	6,63	4,77	22,88	± 25	<1,5	< 0,25	< 0,001	7,4	SB
<b>PAL2</b>	6,57	4,76	22,52	± 25	<1,5	< 0,25	< 0,001	6,1	SB
<b>PAL3</b>	6,65	4,78	21,51	-	<1,5	< 0,25	< 0,001	6,5	SB

\* t = refere-se à tolerância

Fonte: Autor

De acordo com a normativa, os remineralizadores deverão apresentar as seguintes especificações e garantias mínimas:

- Natureza física do produto (Filler  $\leq 0,3$  mm; Pó 0,3-2 mm; Farelado 0,84-4,8 mm);
- Soma de bases (por FRX) (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) – SB%  $\geq 9\%$  (tolerância > 7,5%);
- Teor de óxido de potássio (por FRX) (K<sub>2</sub>O)  $\geq 1\%$  (tolerância > 0,75%);
- ph de abrasão, valor conforme declarado pelo registrante (resultados do laboratório de solos);
- Sílica livre (quartzo) – teor (%v/v) SiO<sub>2</sub>  $\leq 25\%$  (20-30%);

Elementos potencialmente tóxicos:

- a) para Arsênio (As): valor até 15 ppm (tolerância até 18,75);
- b) para Cádmio (Cd): valor até 10 ppm (tolerância até 12,5);
- c) para Mercúrio (Hg): valor até 0,1 ppm (tolerância até 0,125); e
- d) para Chumbo (Pb): valor até 200 ppm (tolerância até 250).

Com base nos resultados apresentados na Tabela 7, foram observados os resultados obtidos, podem-se fazer as seguintes observações:

a) Com base nos resultados da soma de bases (SB) (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O), pode-se verificar na Tabela Síntese, que os valores da SB, encontram-se fora da faixa de valores desejáveis, pois os valores desejáveis de SB são maiores que ( $t > 8$ );

b) Os valores de K<sub>2</sub>O apresentaram resultados positivos, ou seja, estão dentro da faixa de valores admissíveis;

c) Os valores de SiO<sub>2</sub> em (% peso) e SiO<sub>2</sub> em (% vol.) indicam a presença do mineral quartzo conforme foi detectado nas análises petrográfica. Estes valores estão acima da faixa de valores desejáveis;

d) Os elementos assinalados na tabela acima em cinza, referem-se aos Elementos Potencialmente Tóxicos (Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cromo e Mercúrio), que estão dentro da faixa de teores máximos permitidos.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dentre as duas Pedreiras estudadas para avaliar potencial como remineralizador para as plantas é possível concluir que:

### 5.3 PEDREIRA DO ESTADO DE PERNAMBUCO (PPE)

Pela análise global dos resultados conclui-se que, o pó de brita produzida na unidade da PPE, possui um potencial para ser um remineralizador de solos.

Recomenda-se a continuidade da pesquisa com a realização de testes agrícolas para garantir a eficiência agrônômica deste material, testando em diferentes tipos de solos (arenosos e argilosos), por meio de experimentos realizados em casa de vegetação com duas culturas (milho e da soja), além da análise econômica para estudo do lucro previsto com a reutilização do pó de brita.

A validação da eficiência agrônômica deve ser realizada por meio de instituições públicas de pesquisa (Embrapa, universidades e outras instituições de ensino e pesquisa) e / ou entidades credenciadas pelo Mapa.

Este fato apresenta grande importância para o setor industrial da mineração que poderá contar com uma nova alternativa de disposição de rejeitos que poderão ser transformados em produtos. Além disto, produtores rurais da região poderão contar com uma alternativa economicamente viável de um produto fertilizante natural e, portanto, ambientalmente seguro.

### 5.4 PEDREIRA DO ESTADO DO ALAGOAS (PAL)

A partir das diferentes análises realizadas no pó de brita produzida na unidade da PAL, pode-se concluir que esse material não atende a um dos parâmetros (soma de bases), estabelecido na Instrução Normativa nº 05 e 06/2016, do MAPA, não sendo adequado para uso como remineralizador.

Recomenda-se o seu uso após as devidas caracterizações na construção civil, podendo ser aplicado em: Obras de terraplenagem como material para sub-base, e estabilizador de base. Calçamentos de pisos pré-moldados e paralelos, principalmente calçadas. Fabricação de massa asfáltica para recapeamento de estradas, avenidas e estabilizador do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.L.M; SAMPAIO, J.A. **Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras.** XIX ENTMMME – Recife, 2002. Disponível em: < <https://www.cetem.gov.br/antigo/images/congressos/2002/ENTMMME2002-25.pdf>>. Acesso em 29 junho 2023.

ANDA. **Pesquisa Setorial: Macros Indicadores.** Disponível em < [https://anda.org.br/pesquisa\\_setorial/](https://anda.org.br/pesquisa_setorial/)>. Acesso em 03 maio 2023.

BCR, Bolsa de Comércio De Rosário. **Importadores e Exportadores de fertilizantes em todo o mundo.** Disponível em: < <https://maissoja.com.br/importadores-e-exportadores-de-fertilizantes-em-todo-o-mundo/>>. Acesso em 01 agosto 2023.

Bergmann, M., Theodoro, S. M de C. H. & Hoff, R. (2011). **Rochagem: uma alternativa sustentável na remineralização de solos.** Disponível em < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/904127/1/132972011p.3435.pdf>>. Acesso em 15 maio 2023.

BRASIL. Lei nº 12.890, de dezembro de 2013. Altera a **Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 de dezembro de 2013.

CIRINO, Ednaldo et al. **O uso de fertilizantes e seus impactos ambientais.** ETEC Benedito Storani.Trabalho de Conclusão de Curso, 2021. Disponível em < [http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/6770/1/tecnicoemqu%c3%admica\\_2021\\_2\\_ednaldocirino\\_ousodefertilizanteseseusimpactosambientais.pdf](http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/6770/1/tecnicoemqu%c3%admica_2021_2_ednaldocirino_ousodefertilizanteseseusimpactosambientais.pdf)>. Acesso em 29 de junho 2023.

CONAB. **Resumo de 12 de dezembro de 2022.** Disponível em < [file:///C:/Users/cecil/Downloads/Resumo\\_Executivo\\_12.12.pdf](file:///C:/Users/cecil/Downloads/Resumo_Executivo_12.12.pdf)>. Acesso em 03 fev 2023.

CONAB. **Resumo de 26 de dezembro de 2022.** Disponível em < [file:///C:/Users/cecil/Downloads/Resumo\\_Executivo\\_26-12Z%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/cecil/Downloads/Resumo_Executivo_26-12Z%20(1).pdf)>. Acesso em 03 maio 2023.

CAVALCANTE, MARILIA SILVA et al. **Influência do porte da escavadeira na viabilidade econômica convencional e probabilística de uma mineração de agregados.** IX Fórum de Mineração, p.267- 284, maio 2019.

**INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5 DE 10 DE MARÇO DE 2016.** 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/view>>. Acesso em 02 março 2023.

MAPA. **Estatísticas do Setor.** Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor>>. Acesso em 27 maio 2023.

RAMOS, G. C; SILVA; S. G; MELLO, G. A; LEÃO, B. F; KAUTZMAN, M.R; **Caracterização de rocha vulcânica ácida para aplicação em rochagem.** Comunicações Geológicas, Especial III, 2014. Disponível em < [https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2020/03/15\\_1798\\_ART\\_CG14\\_ESPECIAL\\_III.pdf](https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2020/03/15_1798_ART_CG14_ESPECIAL_III.pdf)>. Acesso em: 18 maio 2023.

SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. **Produção de Fertilizantes: Estudo Estratégico.** Disponível em: < [https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae\\_publicacao\\_fertilizantes\\_v10.pdf](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf)>. Acesso em: 04 maio 2023.

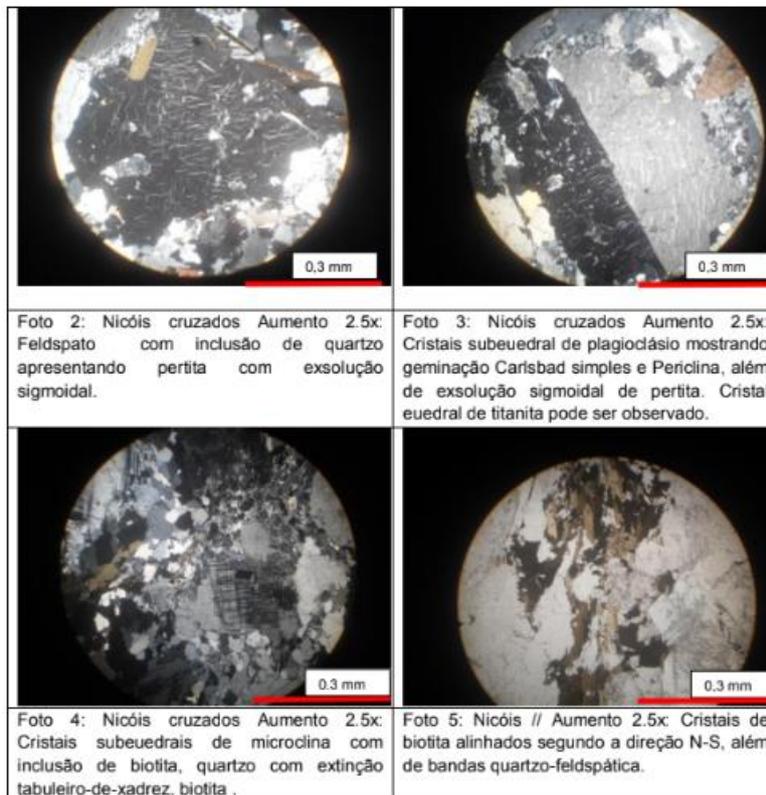
THEODORO, Suzi Huff. **Cartilha de Rochagem.** Grafica e editora Ideal. 2ed revisada (online), Brasília, 2020. Disponível em< [https://sgbeduca.cprm.gov.br/media/adultos/cartilha\\_rochagem.pdf](https://sgbeduca.cprm.gov.br/media/adultos/cartilha_rochagem.pdf)>. Acesso em 16 maio 2023.

## ANEXOS

**ANEXO A** - A descrição dos minerais e suas porcentagens, presentes nos materiais das Pedreiras de Pernambuco (PPE) e Alagoas (PAL), obtidos a partir da análise petrográfica em suas respectivas lâminas estão detalhadas nas tabelas de 7 a 12 e nas figuras de 12 a 15.

**Tabela 7:** Composição Inferida da Amostra 01 da Pedreira de Pernambuco (PPE)

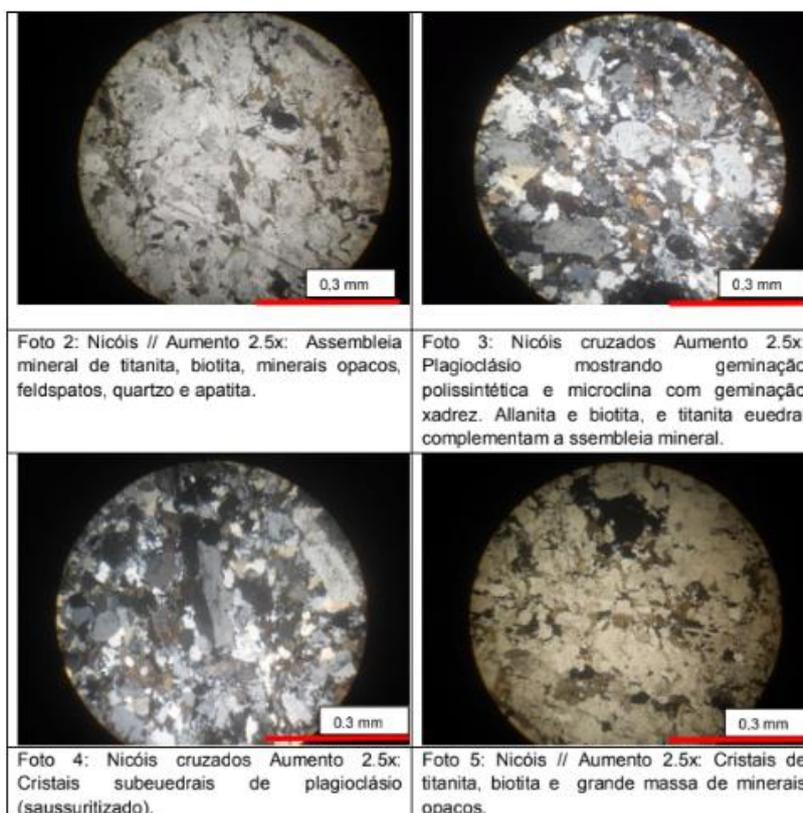
Composição Inferida – Amostra 01 - PPE	
Mineral	%
Plagioclásio	± 35 - 40 %
Feldspato potássico	± 20 - 25%
Quartzo	± 20%
Biotita	± 10 - 15%
Minerais opacos	< 2%
Titanita + Apatite + Zircão	< 2%
Apatita+ Zircão	< 2%



**Figura 12:** Fotografias das lâminas da Amostra 01 da PPE. **Fonte:** Acervo LMR-End

**Tabela 8:** Composição Inferida da Amostra 02 da Pedreira de Pernambuco (PPE)

Composição Inferida – Amostra 02 - PPE	
Mineral	%
Plagioclásio	± 30 - 35 %
Feldspato potássico	± 25 - 30%
Quartzo	± 15 - 20%
Biotita	± 15 - 20%
Minerais opacos	< 3%
Titanita	< 3%
Apatita+ Zircão + Albanita	< 2%

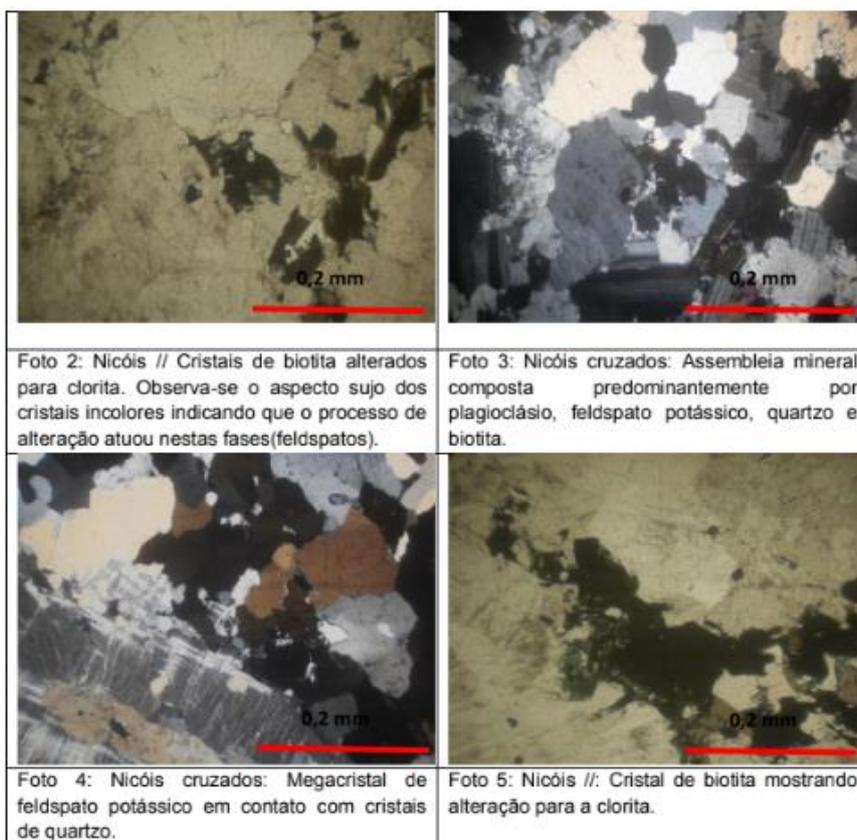


**Figura 13:** Fotografias das Lâminas da Amostra 02 da PPE. Fonte: Acervo LMR-End

**Tabela 9:** Composição Inferida da Amostra 01 da Pedreira de Alagoas (PAL)

Composição Inferida – Amostra 01 - PAL	
Mineral	%
Feldspato potássico	± 35%

Quartzo	± 25%
Plagioclásio	± 25%
Biotita	± 10 %
Anfibólio	± 1%
Titanita	< 2%
Minerais Opacos +Albanita +Apatita +Zircão	< 2%

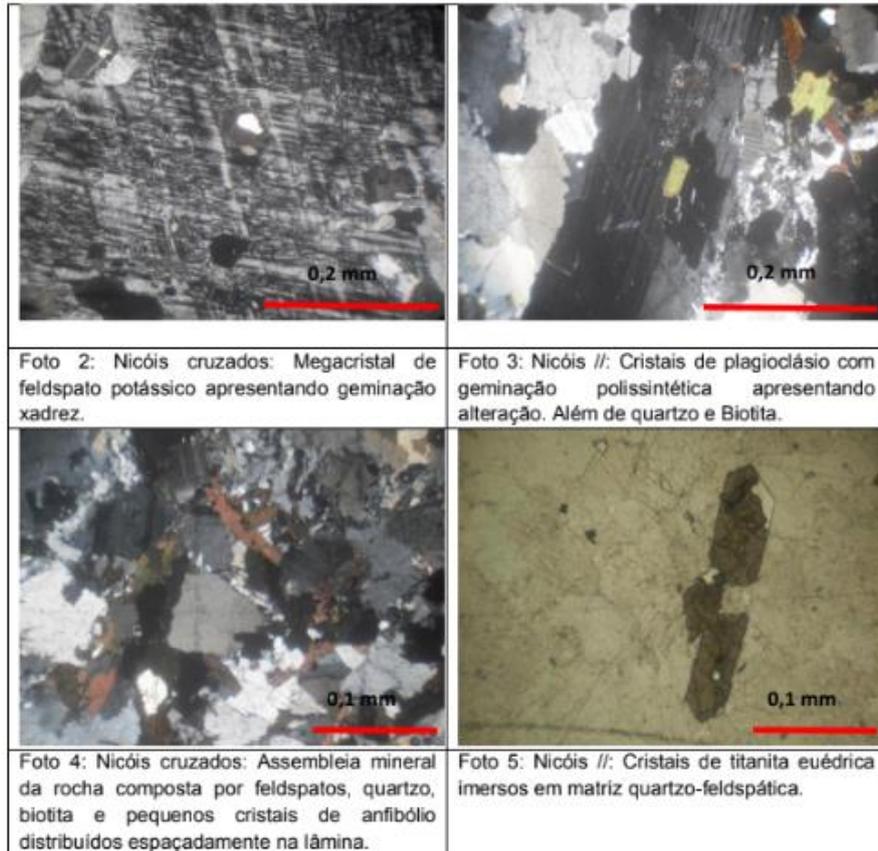


**Figura 14:** Fotografias das Lâmina da Amostra 01 da PAL. Fonte: Acervo LMR-End

**Tabela 10:** Composição Inferida da Amostra 01 da Pedreira de Alagoas (PAL)

Composição Inferida – Amostra 02 - PAL	
Mineral	%
Feldspato potássico	± 36 %
Quartzo	± 25%
Plagioclásio	± 25%
Biotita	± 10%

Titanita	< 2%
Opacos +Albanita +Epidoto + Apatita + Zircão	< 2%



**Figura 15:** Fotografia da lâmina da Amostra 02 da PAL.

**Tabela 11:** Determinação das proporções modal das fases minerais cristalinas pelo método de Rietveld das Amostras da Pedreira de Pernambuco (PPE).

Análise Quantitativa pelo Método de Rietveld			
AMOSTRAS – PPE			
Mineral	Amostra 01 (%)	Amostra 02 (%)	Amostra 03 (%)
Ilmenita	<LQ	<LQ	<LQ
Goethita	<LQ	<LQ	<LQ
Hematita	0,54	<LQ	<LQ
Magnetita	<LQ	<LQ	<LQ
Microclínio	15,31	14,66	14,27

Anatásio	<LQ	<LQ	<LQ
Rutilo	<LQ	<LQ	<LQ
Muscovita	<LQ	<LQ	<LQ
Clorita Clinocloro	<LQ	<LQ	<LQ
Biotita	13,19	13,03	13,77
<b>Quartzo</b>	<b>23,18</b>	<b>24,32</b>	<b>23,09</b>
Oligoclásio	46,08	46,44	46,96
Calcita	<LQ	<LQ	<LQ
Dolomita	<LQ	<LQ	<LQ
Apatita	<LQ	<LQ	0,74

**Tabela 12:** Tabela XX: Determinação das proporções modal das fases minerais cristalinas pelo método de Rietveld da Pedreira de Alagoas (PAL)

Análise Quantitativa pelo Método de Rietveld			
AMOSTRAS – PAL			
Mineral	Amostra 01 (%)	Amostra 02 (%)	Amostra 03 (%)
Ilmenita	<LQ	<LQ	<LQ
Goethita	<LQ	<LQ	<LQ
Hematita	<LQ	<LQ	<LQ
Magnetita	<LQ	<LQ	<LQ
Microclínio	30,3	30,08	30,51
Anatásio	<LQ	<LQ	<LQ
Rutilo	<LQ	<LQ	<LQ
Muscovita	<LQ	<LQ	<LQ
Biotita	0,71	0,82	0,89
<b>Quartzo</b>	<b>22,88</b>	<b>22,52</b>	<b>21,51</b>
Oligoclásio	42,96	43,16	43,47
Actinolita	2,43	2,65	2,78
Apatita	<LQ	<LQ	<LQ

(<LQ = Proporções abaixo do limite quantificável)

**ANEXO B** – Os resultados dos óxidos obtidos a partir das análises por fluorescência de raios x, nas Pedreiras de Pernambuco (PPE) e Alagoas (PAL) estão descritos nas tabelas 13 e 14.

**Tabela 13:** Análise química dos óxidos maiores analisados da Pedreira PPE.

Óxidos Analisados (%)	AMOSTRADAS ANÁLISADAS		
	BASE ÚMIDA		
	Amostra 01 - PPE	Amostra 02 – PPE	Amostra 03 - PPE
<b>SiO<sub>2</sub></b>	60,60	61,10	60,98
<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,42	1,42	1,42
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	15,04	15,12	15,11
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6,84	6,68	6,85
<b>MnO</b>	<LQ	<LQ	<LQ
<b>MgO</b>	2,26	2,21	2,26
<b>CaO</b>	3,91	3,96	3,97
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3,35	3,41	3,39
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,31	4,34	4,33
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,68	0,68	0,68
<b>SO<sub>3</sub></b>	<LQ	<LQ	<LQ
<b>LOI(%)</b>	0,67	0,67	0,65
<b>Soma(%)</b>	99,08	99,58	99,63

(<LQ = Abaixo do limite quantificável)

**Tabela 14:** Análise química dos óxidos maiores analisados da PAL

Óxidos Analisados (%)	AMOSTRADAS ANALISADAS		
	BASE ÚMIDA		
	Amostra 01 - PAL	Amostra 02 –PAL	Amostra 03 - PAL
<b>SiO<sub>2</sub></b>	71,44	71,22	71,75
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,22	0,22	0,22

<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	15,19	15,17	15,28
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,57	1,53	1,59
<b>MnO</b>	<LQ	<LQ	<LQ
<b>MgO</b>	0,37	0,34	0,37
<b>CaO</b>	1,49	1,47	1,50
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	4,80	4,77	4,79
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,77	4,76	4,78
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<LQ	<PQ	<LQ
<b>SO<sub>3</sub></b>	<LQ	<LQ	<LQ
<b>LOI(%)</b>	0,42	0,38	0,40
<b>Soma(%)</b>	100,27	99,87	100,68

**ANEXO C** – A Determinação dos elementos potencialmente tóxicos (metais pesados) por fluorescência de raios x, nas Pedreiras de Pernambuco (PPE) e Alagoas (PAL) está detalhada nas tabelas 15 e 16.

**Tabela 15:** Análise química dos elementos menores analisados das amostras de PPE.

<b>Limite Min. Detecção (ppm)</b>	<b>Elementos Analisados</b>	<b>Amostra 1 – PPE</b>	<b>Amostra 2 – PPE</b>	<b>Amostra 3 – PPE</b>
5	Sc	10	11	12
15	V	107	105	107
20	Cr	21	18	21
10	Co	11	10	10
10	Ni	22	22	25
15	Cu	34	37	36
20	Zn	98	94	97
5	Ga	24	23	24
10	As	<LQ	<LQ	<LQ
10	Rb	171	169	169
20	Sr	512	518	508
15	Y	25	25	24
20	Zr	366	370	370

5	Nb	28	28	27
20	Mo	<LQ	<LQ	<LQ
10	Sn	<LQ	<LQ	<LQ
10	Sb	<LQ	<LQ	<LQ
50	Ba	1616	1636	1618
15	La	87	87	89
20	Ce	149	153	156
15	Pb	21	21	20
10	Th	21	21	21
10	U	<LQ	<LQ	<LQ
10	Cd	<LQ	<LQ	<LQ

(<LQ = abaixo do limite de quantificação)

**Tabela 16:** Análise química dos elementos menores analisados das amostras de PAL.

<b>Limite Min. Detecção (ppm)</b>	<b>Elementos Analisados</b>	<b>Amostra 1 – PAL</b>	<b>Amostra 2 – PAL</b>	<b>Amostra 3 – PAL</b>
5	Sc	10	11	12
15	V	107	105	107
20	Cr	21	18	21
10	Co	11	10	10
10	Ni	22	22	25
15	Cu	34	37	36
20	Zn	98	94	97
5	Ga	24	23	24
10	As	<LQ	<LQ	<LQ
10	Rb	171	169	169
20	Sr	512	518	508
15	Y	25	25	24
20	Zr	366	370	370
5	Nb	28	28	27
20	Mo	<LQ	<LQ	<LQ
10	Sn	<LQ	<LQ	<LQ

10	Sb	<LQ	<LQ	<LQ
50	Ba	1616	1636	1618
15	La	87	87	89
20	Ce	149	153	156
15	Pb	21	21	20
10	Th	21	21	21
10	U	<LQ	<LQ	<LQ
10	Cd	<LQ	<LQ	<LQ

(<LQ = abaixo do limite de quantificação)

**ANEXO D** – A classificação granulométrica das Pedreiras de Pernambuco (PPE) e Alagoas (PAL) está descrita nas tabelas 17 e 18.

**Tabela 17:** Análise Granulométrica da Pedreira de Pernambuco.

Amostra	Horiz	Profund cm	Frações da amostra total g.kg <sup>-1</sup>			Composição granulométrica da terra fina g.kg <sup>-1</sup>				Aroila dispersa em água a.kg <sup>-1</sup>	Grau de flocu lação %	Relação Silte/ Aroila	Classifi cação textural	Densidade kg.dm <sup>-3</sup>		Porosid. m . m <sup>-3</sup>
			Calhaus > 20 mm	Cas- calho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2 - 0.2 mm	Areia fina 0.2-0.05 mm	Silte 0.05- 0.002 mm	Aroila <0.002 mm					Solo	Parti culas	
17745	01#01		0	280	720	473	371	60	96	20	79	0.62	ARF	1.80	2.57	0.30
17746	02#01		0	350	650	493	345	66	96	20	79	0.69	ARF	1.79	2.54	0.29
17747	03#01		0	310	690	480	349	75	96	20	79	0.78	ARF	1.81	2.60	0.30

Fonte: LMR-EnD – Deminas/UFPE

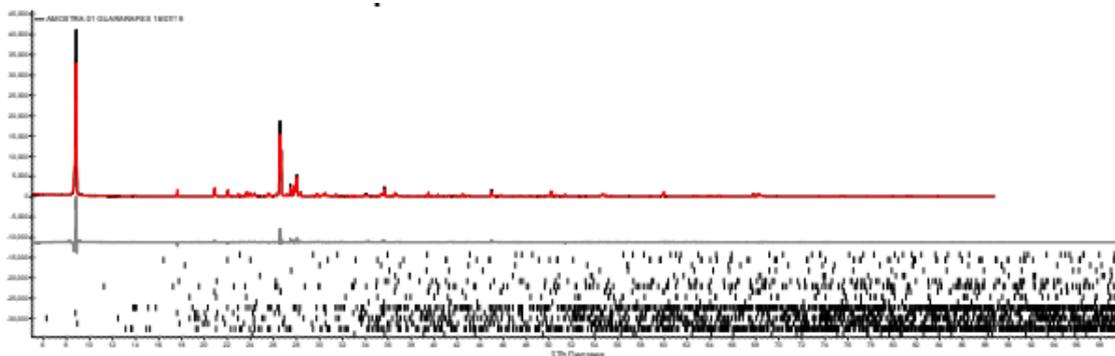
**Tabela 18:** Análise Granulométrica da Pedreira de Alagoas.

Amostra	Horiz	Profund cm	Frações da amostra total g.kg <sup>-1</sup>			Composição granulométrica da terra fina g.kg <sup>-1</sup>				Aroila dispersa em água a.kg <sup>-1</sup>	Grau de flocu lação %	Relação Silte/ Aroila	Classifi cação textural	Densidade kg.dm <sup>-3</sup>		Porosid. m . m <sup>-3</sup>
			Calhaus > 20 mm	Cas- calho 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2 - 0.2 mm	Areia fina 0.2-0.05 mm	Silte 0.05- 0.002 mm	Aroila <0.002 mm					Solo	Parti culas	
17736	01#01		0	360	640	579	260	105	56	20	64	1.87	ARF	1.78	2.50	0.29
17737	02#01		0	320	680	560	270	74	96	20	79	0.77	ARF	1.80	2.57	0.30
17738	03#01		0	300	700	557	259	88	96	20	79	0.92	ARF	1.72	2.64	0.35

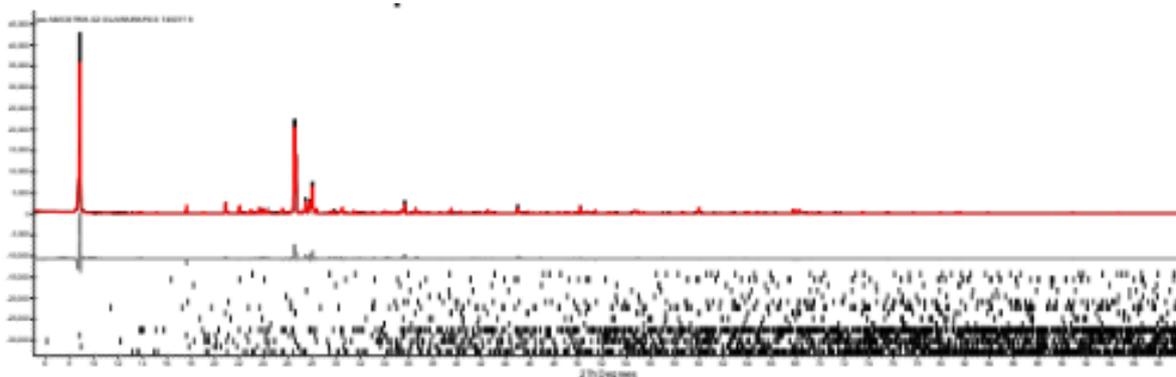
Fonte: LMR-EnD – Deminas/UFPE

**ANEXO E** – Os resultados da Mineralogia por DRX das Pedreiras de Pernambuco (PPE) e Alagoas (PAL) estão apresentados nas figuras de 16 a 21.

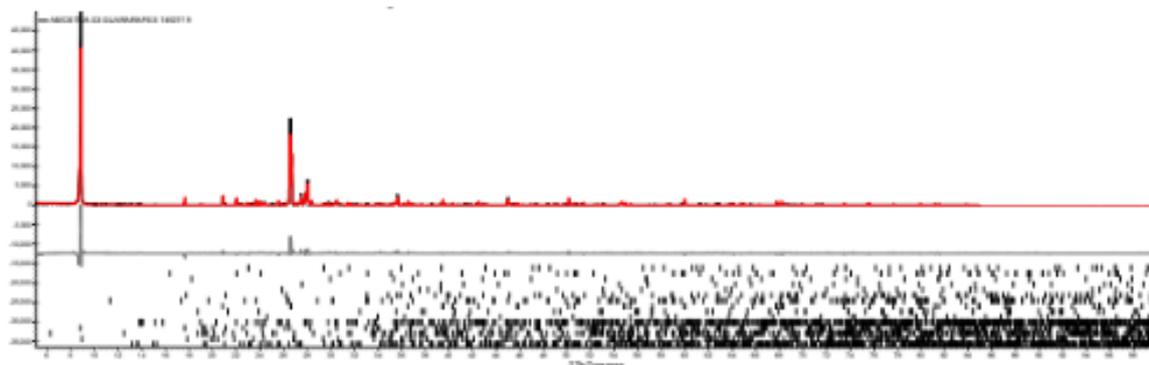
## Amostras – PPE



**Figura 16:** Difratoograma da Amostra 01 – PPE , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso nesse caso foi  $GOF=3,87$ . Fonte: LTM *f*

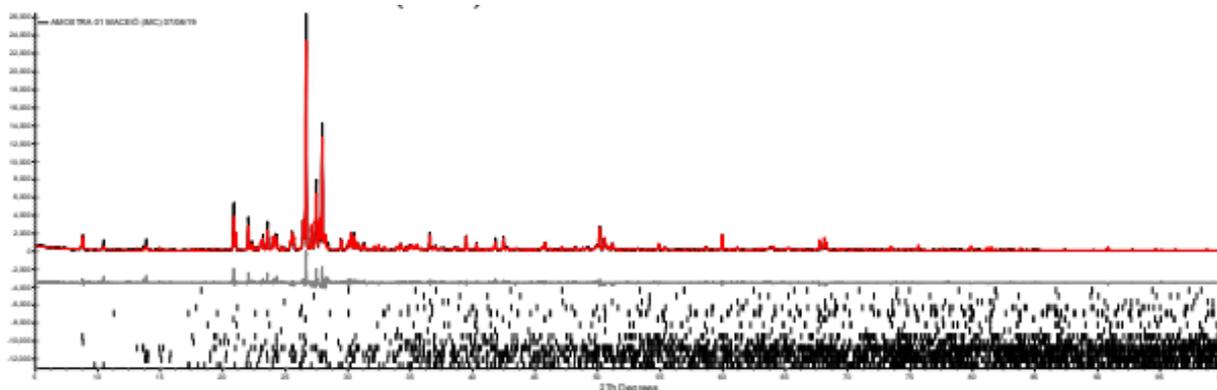


**Figura 17:** Difratoograma da Amostra 02 – PPE , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, Foi  $GOF=3,99$ . Fonte: LTM

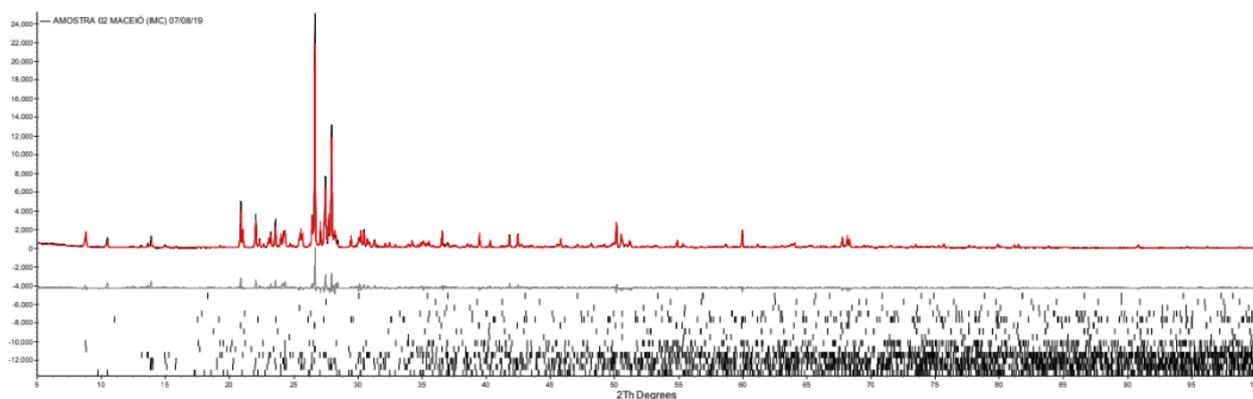


**Figura 18:** Difratoograma da Amostra 03 – PPE , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi  $GOF=4,22$ . Fonte: LTM

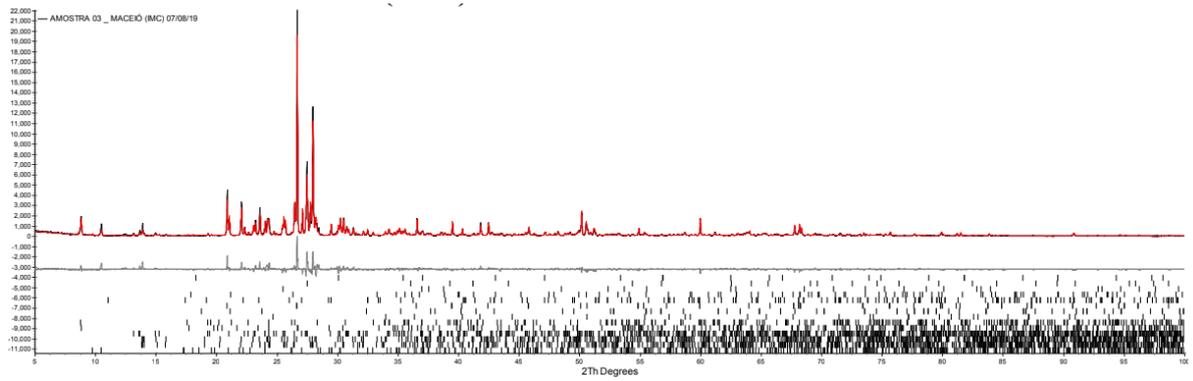
### Amostras – PAL



**Figura 19:** Difratoograma da Amostra 01 – PAL , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi  $GOF = 3,32$ . Fonte: LTM



**Figura 20:** Difratoograma da Amostra 02 – PAL , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi  $GOF=3,32$ . Fonte: LTM



**Figura 21:** Difratoograma da Amostra 03 – PAL , com o refinamento Rietveld, usando o programa Topas 4.2. A curva pontilhada em preto corresponde ao difratograma medido, a curva em vermelho ao difratograma calculado. O parâmetro de qualidade de ajuste, nesse caso, foi  $GOF=3,32$ . Fonte:LTM