



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE MINERAÇÃO E GEOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS**



Trabalho Final de Curso

JAHY BARROS NETO

**APROVEITAMENTO DO PÓ DE ROCHA BASÁLTICA PROVENIENTE DA
ATIVIDADE MINERAL NA FORMA DE RESÍDUO PARA A APLICAÇÃO
NA TÉCNICA DE ROCHAGEM UTILIZADA NA AGRICULTURA**

**Campina Grande,
Março de 2018**

JAHY BARROS NETO

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Campina Grande como requisito para a obtenção do Título em Engenheiro de Minas.

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ AVELINO FREIRE

Campina Grande

Março de 2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

JAHY BARROS NETO

**APROVEITAMENTO DO PÓ DE ROCHA BASÁLTICA PROVENIENTE DA
ATIVIDADE MINERAL NA FORMA DE RESÍDUO PARA A APLICAÇÃO
NA TÉCNICA DE ROCHAGEM UTILIZADA NA AGRICULTURA**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Campina Grande como requisito para a obtenção do Título em Engenheiro de Minas.

Orientador: Prof. Dr. José Avelino Freire

TFC defendido e aprovado em, _____ de _____ de _____, pela comissão Examinadora pelos Professores.

Examinador 1 (Orientador)

Examinador 2

Examinador 3

Dedico este trabalho aos meus pais, Janilson e Maria do Socorro , à minha avó Eunice (*In memoriam*), aos meus avós maternos e ao meu irmão Raphael.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e do conhecimento, assim como, por me permitir a superação dos momentos difíceis e dos desafios encontrados ao longo dessa jornada chamada vida;

Aos meus pais, Janilson Barbosa Barros e Maria do Socorro Maciel Barros, por sempre estarem ao meu lado me incentivando e construindo a realização desse sonho, bem como, pelo afeto e apoio incondicional em todos os momentos; ao meu pai Janilson, a minha gratidão pelo exemplo que me deste, homem de um caráter e um coração cheio de amor. A minha mãe Maria Luiza, que sempre me apoiou com seu amor, carinho e afeto me fazendo acreditar sempre na capacidade de realizar este sonho;

À Vovó, Eunice Barbosa Barros, pelo seu amor e o afeto com o qual cuidou de mim, sendo como uma segunda mãe. Que pena não podermos compartilhar esse momento de imensa alegria. Sempre te amarei!

Ao meu irmão e melhor amigo, Raphael Maciel Barbosa Barros, por seu amor e paciência, por sempre estar ao meu lado nos dias de tristezas e nos momentos mais difíceis aos quais enfrentei. Por todas as vezes que eu estive desanimado, e ele sempre segurou a minha mão para eu não cair e me incentivou a seguir adiante;

A minha avó, Maria do Carmo Maciel, por ser o maior incentivo, que mesmo em sua inocência e ingenuidade de uma senhora de avançada idade e leiguice sobre os assuntos da Universidade, soube ser um incentivo através do seu amor, principalmente nos momentos que estive mais triste;

Aos meus primos queridos, João Marcos Pobbe e Anne Priscilla Pobbe, que mesmo distantes me deram muito apoio com orações;

Aos meus melhores amigos nessa árdua jornada, Thális Felipe, Mayara Carvalho, Camila Coutinho, Otaciana Neta, Jaquelyne Cássia, Charles Lemos, Raíssa Queiroga, Heitor Moreira e Kaio Eustáquio, pelos os momentos de maiores risadas e brincadeiras, que me ajudaram a esquecer das dificuldades mesmo que por alguns momentos;

Ao meu orientador, Dr. José Avelino Freire por todas as suas orientações e enriquecimento intelectual proporcionado, além da sua dedicação para construção e concretização deste trabalho;

A todos os professores da unidade acadêmica que ao longo desses anos contribuíram para a minha formação profissional e intelectual, servindo de exemplo de profissionalismo e dedicação;

Aos demais colegas de curso, por tornarem as dificuldade vivenciadas ao longo do curso, mais superáveis, com os momentos de conversa e distração, assim como, pela alegria e irreverência com a qual transformava os dias de tristeza em instantes menos dolorosos;

A todos os membros da família, em especial a meu tio Marcos, pelas palavras de incentivo;

A melhor vizinha de todas, Margarete, grato pela sua amizade;

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a concretização deste sonho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Britador de Mandíbulas.....	
Figura 2 Britador Giratório	
Figura 3 Circuito clássico normalmente aplicado em pedreiras	
Figura 4 Variação da disponibilidade dos minerais em termos percentuais	
Figura 5 Nutrientes liberados ao solo pela rochagem	
Figura 6 CTC.....	
Figura 7 Histogramas da distribuição de tamanho de partículas (in situ).....	
Figura 8 Curvas de distribuição granulométrica do <500 - μm	
Figura 9 Diferença de altura em 10 dias: feijão com e sem o pó de basalto.....	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Eventos importantes no desenvolvimento da Rochagem.....
Tabela 2	Macro e micronutrientes em alguns tipos de rochas.....
Tabela 3	Minerais predominantes nas amostras de rochas basálticas.....
Tabela 4	Potencial (%) de reatividade (climatização) de minerais
Tabela 5	Concentrações de nutrientes nas amostras.....
Tabela 6	Principais óxidos (%) nas amostras.....
Tabela 7	Nutrientes disponíveis em meio aquoso nas amostras.....
Tabela 8	Características agrônômicas identificadas nas amostras.....
Tabela 9	Teor de nutrientes nas amostras.....

LISTA DE SIGLAS

CTC- Capacidade de Troca Catiônica

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEPAM- Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

LAPROM- Laboratório de Processamento Mineral

NPKs - Compostos por Nitrogênio, Fósforo e potássio

UNILASALLE- Laboratório de Solos do Centro de Estudos Ambientais do Centro
Universitário La Salle

UFRGS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1. Geologia do urânio no Brasil: síntese histórica e métodos prospectivos	14
2. Geologia	21
2.1 Principais minérios que contém urânio... ..	21
3. Mineralização do urânio nas principais jazidas do Brasil	22
3.1 Mineralização do urânio na jazida de Poço de Caldas	24
3.2 Mineralização do urânio na jazida de lagoa real	24
3.3 Mineralização do urânio na jazida de Itataia	25
4. Ocorrências do urânio na Paraíba	25
4.1 Outros Tipos de depósitos	26
5. Equipamentos utilizados na pesquisa do urânio	27
6. Processo de extração do urânio	28
6.1 Processo de extração do urânio jazida de Caetité	29
6.1.2 Ciclo urânio destinado a geração de combustível nuclear	32
7. Aspectos legais para a exploração do urânio no Brasil	37
8. Considerações finais	41
9. Referências Bibliográficas	42

RESUMO

O pó de rocha é o principal resíduo dos processos de britagem e corte de rochas na exploração mineral. E a busca por alternativas tecnológicas viáveis para o aproveitamento de resíduos vem aumentando, sendo a rochagem uma saída para a utilização dos resíduos da britagem na agricultura. O objetivo do trabalho é estudar as caracterizações químicas e mineralógicas, a disponibilidade de nutrientes minerais e analisar o desempenho visto em testes com a técnica de rochagem. Para a realização deste estudo foram utilizados livros, revistas e periódicos científicos numa ampla revisão bibliográfica sobre a técnica, sua aplicação e resultados já obtidos, nos baseando em estudos de caracterização física, físico-química, química e mineralógica, de estimativa de disponibilidade de nutrientes em meio aquoso e de aplicação da rochagem de partículas de basaltos provenientes de quatro empresas localizadas no Distrito Mineiro do município de Nova Prata, no Rio Grande do Sul. Foi observado que os basaltos apresentam taxas de liberação de elementos minerais mais rápidas do que outros tipos de rocha, como as plutônicas. Foram constatadas algumas vantagens do pó de rocha basáltica como a baixa solubilidade, permitindo uma recomposição nutricional mais constante por um longo período de tempo, não necessitando de adubação frequente, devido ao efeito residual prolongado; reequilibra o pH do solo; aumenta a capacidade de troca catiônica, combate a salinização do solo, evitando com que a planta absorva potássio em excesso e o nitrogênio, ao contrário do que acontece com a utilização de adubos solúveis; diminui a fixação do fósforo solúvel, pela baixa presença de sílica, óxido de ferro e alumínio; promove o crescimento da atividade de micro-organismos, aumentando a reserva nutricional; aumenta a umidade do solo e os níveis de cálcio e magnésio em solos ácidos. Portanto existe um indicativo da presença de um potencial positivo para o uso da técnica.

Palavras chaves: Rochagem, basalto, aproveitamento, caracterizações.

ABSTRACT

The rock dust is the main residue of rock crushing and cutting processes in mineral exploration. And the search for viable technological alternatives for the use of waste is increasing, and the rock is an outlet for the use of crusher residues in agriculture. The objective of the work is to study the chemical and mineralogical characterization, the availability of mineral nutrients and analyze the performance seen in tests with the rock technique. In order to carry out this study, we used books, journals and scientific journals in a wide bibliographic review about the technique, its application and already obtained results, based on studies of physical, physicochemical, chemical and mineralogical characterization, nutrient availability estimation in aqueous media and the application of basalt particle rocks from four companies located in the Mineiro District of the municipality of Nova Prata, Rio Grande do Sul. It was observed that basalts have rates of release of mineral elements faster than other types of rock, such as plutonics. There were some advantages of basaltic rock powder as low solubility, allowing a more constant nutritional recomposition over a long period of time, not requiring frequent fertilization due to the prolonged residual effect; rebalances soil pH; increases the capacity of cation exchange, combats salinization of the soil, avoiding that the plant absorbs excess potassium and nitrogen, unlike what happens with the use of soluble fertilizers; decreases the fixation of the soluble phosphorus, by the low presence of silica, iron oxide and aluminum; promotes the growth of the activity of microorganisms, increasing the nutritional reserve; increases soil moisture and calcium and magnesium levels in acid soils. Therefore there is an indication of the presence of a positive potential for the use of the technique.

Keywords: Rock, basalt, use, characterizations.

1. INTRODUÇÃO

A rochagem consiste numa técnica de fertilização de solos para facilitar a recomposição de alguns macronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, enxofre e magnésio, e outros micronutrientes como ferro, manganês, cobre, zinco e sódio, através da adição de partículas de determinados tipos de rochas, denominados agrominerais. A calagem é um exemplo comum desta prática, onde se aplica o calcário ao solo para aumentar o pH do meio. Desta forma, a adição de rochas cominuídas viabiliza a remineralização do solo pobre, recuperando a grande quantidade de nutrientes que foram perdidos através de diferentes culturas desenvolvidas ao longo do tempo (THEODORO, 2000).

Vêm sendo feitos estudos para redução dos fertilizantes químicos convencionais, chamados NPKs (compostos por nitrogênio, fósforo e potássio), devido aos problemas ambientais gerados por estes produtos quando as frações não absorvidas pelas plantas são transportadas poluindo as águas superficiais e subterrâneas, gerando eutroficação das águas e, conseqüentemente, a diminuição no teor de oxigênio afetando organismos aquáticos (LINHARES e GEWANDSZNAJDER, 2008).

Existe também uma demanda na mineração de partículas minerais que poderiam ser transformadas de resíduos para produtos, onde o setor de beneficiamento da mineração, principalmente nas pedreiras, enfrentam problemas relacionados às partículas minerais que quando fora das especificações de mercado, acabam se tornando resíduos e necessitam de disposições ambientalmente corretas.

As leis de controle ambiental na mineração têm se tornado mais rígidas, principalmente a partir da década de 90, com a criação de órgãos de fiscalização ambiental como a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), que começou a investigar o descarte de resíduos provenientes de processos produtivos. Por isso, a busca de alternativas tecnológicas viáveis para o aproveitamento de resíduos vem aumentando, sendo a rochagem uma saída para a utilização dos resíduos da britagem na agricultura.

O pó de rocha é o principal resíduo dos processos de britagem e corte de rochas na exploração mineral. No Brasil, tem se intensificado o estudo e

aproveitamento deste resíduo fertilizante ou remineralizador do solo como alternativa para reduzir os custos da produção agrícola sem ser necessária a compra de outros insumos (THEODORO, DUBOIS e LEONARDOS, 2002).

No Brasil, aproximadamente metade das propriedades agrícolas têm menos de 10 ha, 89% menos de 100 ha e mais dos 60% dos agricultores não fazem uso de qualquer tipo de fertilizante. Por outro lado, mais de 50% dos fertilizantes consumidos são importados, elevando assim o custo no setor. Por meio disto, o estudo da técnica de rochagem é de grande ajuda e possui vantagens em relação a custos, pois os resíduos passam a ter valor agregado não sendo descartados no ambiente, bem como a ampliação de mercado para novos produtos de pedreiras (LOUREIRO, MELAMED E NETO, 2009).

De acordo com Theodoro (2000), essa forma de correção induz o processo natural de formação e fertilização, já que, a disponibilização dos nutrientes, gerados pela alteração dos minerais se dá de forma lenta e por períodos mais longos, o que garante a manutenção e o equilíbrio dos solos, com um custo de produto significativamente menor que os corretivos industriais.

Segundo Theodoro e Rocha (2006), a rochagem possui vários conceitos agroecológicos, como o desenvolvimento de uma agricultura de baixo impacto ao ambiente; minimização ou abolição do uso de fertilizantes químicos na forma de insumos; utilização de práticas que conservem o solo; a água e a biodiversidade, pois diminui a lixiviação; favorecimento no ciclo dos nutrientes.

Em experimentos realizados com o solo do Cerrado em casa de vegetação, pode-se verificar que a técnica mostrou efeitos positivos sobre a qualidade química do subsolo (SILVA et al., 2008). Os estudos de Fyfe et al. (1983) mostraram que a aplicação de pó de rocha, aproximadamente 1 t/ha/ano, com o potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e fósforo (P^{5+}) podem restaurar a fertilidade em solos esgotados, como algumas áreas do Cerrado.

A rocha basáltica está entre as rochas mais estudadas, por terem a maior possibilidade de fornecimento de nutrientes ao solo, especialmente fósforo, cálcio, magnésio e micronutrientes, com um teor de sílica baixo (THEODORO, 2011). Estas rochas pulverizadas podem fornecer ao solo os macronutrientes Ca^{2+} Mg^{2+} e micronutrientes ou elementos traços como Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} e V^{4+} (LAPIDO; RIBEIRO, 2009).

A aplicação desta técnica é um tipo de fertilização sustentável, pois permite o rejuvenescimento do solo sem afetar o equilíbrio químico natural. O

uso destas rochas basálticas oferece benefícios ao solo motivando o aumento da capacidade da troca catiônica (CTC), devido a formação de novos minerais de argila durante o processo de desgaste de rochas (MELAMED et al., 2009).

Esta pesquisa tomou como base os estudos já realizados no sul do Brasil com rochas basálticas, no nordeste do Rio Grande do Sul, na região de Nova Prata, formação Serra Geral. A mineração local é de pequeno porte, são apenas pedreiras que produzem agregados utilizados na construção civil. Nova Prata e sua região além de suas pedreiras também são conhecidas pela produção intensiva de cereais, vinhas, frutas e legumes, e atividade de silvicultura, todos exigindo aplicação periódica de insumos para a fertilização e correção de solos.

Serão apresentados os primeiros resultados da caracterização química e mineralógica de quatro amostras de rochas basálticas extraídas das Pedreiras Concresul Britagem, Sindicato da Indústria de Extração de Pedreiras de Nova Prata e Zilli e Britagem de Basalto, de Nova Prata no estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

2. JUSTIFICATIVA

Atualmente, a produção de alimentos é um dos grandes problemas para a sustentabilidade da vida humana e do ecossistema no planeta, pois com a degradação contínua do solo, os cultivos das terras ficam limitados, diminuindo a produtividade e ampliando as áreas cultivadas. Sendo o solo um recurso de extrema importância para a sobrevivência humana, torna-se necessário buscar alternativas que possam proporcionar o melhor aproveitamento desse recurso, em especial na produção de alimentos.

Existe também uma demanda na mineração de partículas minerais que poderiam ser transformadas de resíduos para produtos, gerando uma maior arrecadação para o setor.

A rochagem é uma técnica de revitalização dos solos, mostrando-se como uma alternativa promissora para o setor agrícola, sendo uma saída para a utilização dos resíduos da britagem na agricultura, além de ser ecologicamente correta.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral e específico do presente trabalho são os seguintes:

3.1. Objetivo geral

Estudar e avaliar a eficiência de aplicação da técnica de Rochagem por rochas basálticas na agricultura.

3.2. Objetivo específico

O presente trabalho tem como objetivo estudar as caracterizações químicas e mineralógicas, a disponibilidade de nutrientes minerais e estimar o desempenho agrônômico das rochas, após pulverização, para a sua aplicação como fertilizante para o solo, usando uma técnica conhecida como rochagem. O estudo foi realizado em quatro amostras de rochas basálticas da Formação Serra Geral no nordeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil, extraídas no município de Nova Prata. Esse estudo tem o intuito de através da utilização da técnica denominada Rochagem, buscar alternativas para a solução de dois problemas: o de como efetuar o descarte adequado das sobras das mineradoras de basalto (pedreiras), e o de como recuperar ou melhorar a fertilidade do solo com baixo custo, sem utilizar fertilizantes industrializados.

4. ROCHAGEM DO BASALTO

4.1. Produtos e resíduos gerados na mineração de basaltos

Desde o início da colonização brasileira a atividade de mineração vem contribuindo com o desenvolvimento econômico e social do país inicialmente com os ciclos do ouro e pedras preciosas das “Minas Gerais” que se estenderam por todo o território brasileiro. Ao longo do tempo, foram descobertas e exploradas as grandes jazidas de ferro e manganês para exportação e de carvão para siderurgia, que configuraram fortes marcos da mineração no país. Atualmente, o Brasil tem se destacado mundialmente com a produção de minério de ferro, ouro, bauxita, manganês, caulim, gemas, estanho e tântalo e está entre os dez primeiros produtores de rochas basálticas, fosfáticas, cromo, ilmenita, grafita, diamante, níquel, terras raras, fluorita, rochas ornamentais, asbestos, quartzo (BARBOSA e GURMENDI, 2002).

No que diz respeito às rochas basálticas deve-se destacar sua participação como grande fornecedora de materiais de construção, a partir da importante atividade de pedreiras distribuídas em diversas regiões. Neste sentido, ao longo da história do país podemos verificar as grandes construções de pedras de talhe, os calçamentos de paralelepípedos, as pedras e cascalhos das fundações, a areia, a argila, entre diversos outros materiais para este setor (BARBOSA e GURMENDI, 2002).

Nesta área industrial, 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 giratórios. Nos britadores de mandíbulas os blocos de rocha, extraídos na lavra, são introduzidos no espaço entre as duas mandíbulas e, durante o movimento de aproximação são esmagados. Os fragmentos resultantes escoam para baixo, durante o movimento de afastamento das mandíbulas e são novamente esmagados quando a mandíbula móvel se aproxima. No momento em que as partículas de rocha atingem o tamanho desejado, elas escoam pela parte inferior do britador, conforme ilustra a Figura 1 (CHAVES e PERES, 2003).

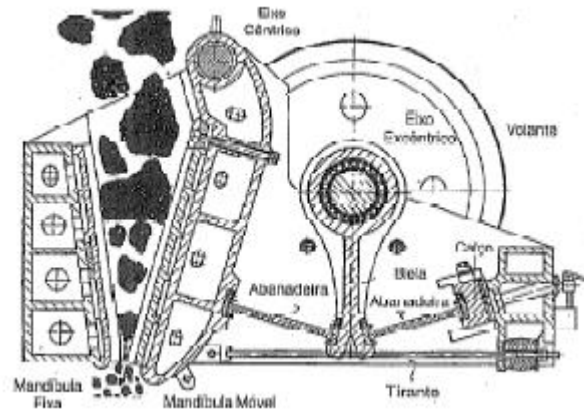


Figura 1: Britador de Mandíbulas. Fonte: CHAVES e PERES, 2003

Já nos britadores giratórios os blocos de rocha são alimentados na seção de entrada, localizada na parte superior do equipamento. Estes britadores são compostos por um cone móvel interno e um manto fixo. O cone gira, se aproximando e se afastando das paredes internas do manto, durante o movimento de aproximação as partículas de rocha são esmagadas e, quando o cone se afasta elas caem para partes mais inferiores do equipamento, onde são novamente esmagadas pelo movimento giratório do cone móvel. Este processo é realizado até que as partículas de rocha atinjam a granulometria desejada. Um esquema de um britador giratório é ilustrado na Figura 2 (CHAVES e PERES, 2003).

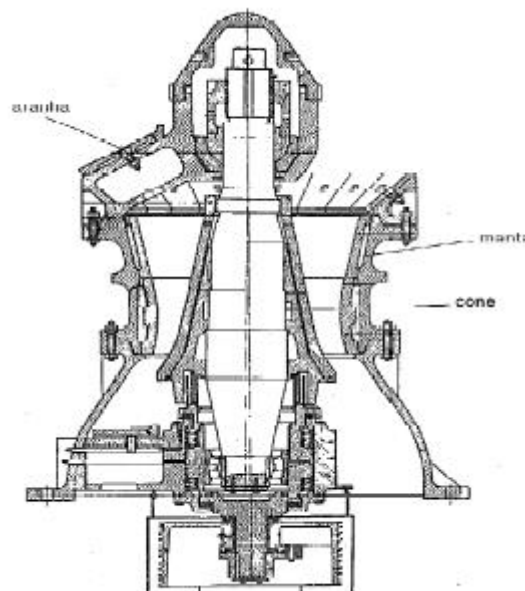


Figura 2: Britador Giratório. Fonte: CHAVES e PERES, 2003

O número de estágios de britagem depende do tamanho da alimentação e da qualidade do produto final, na Figura 3 é demonstrado um circuito clássico de cominuição em uma pedreira.

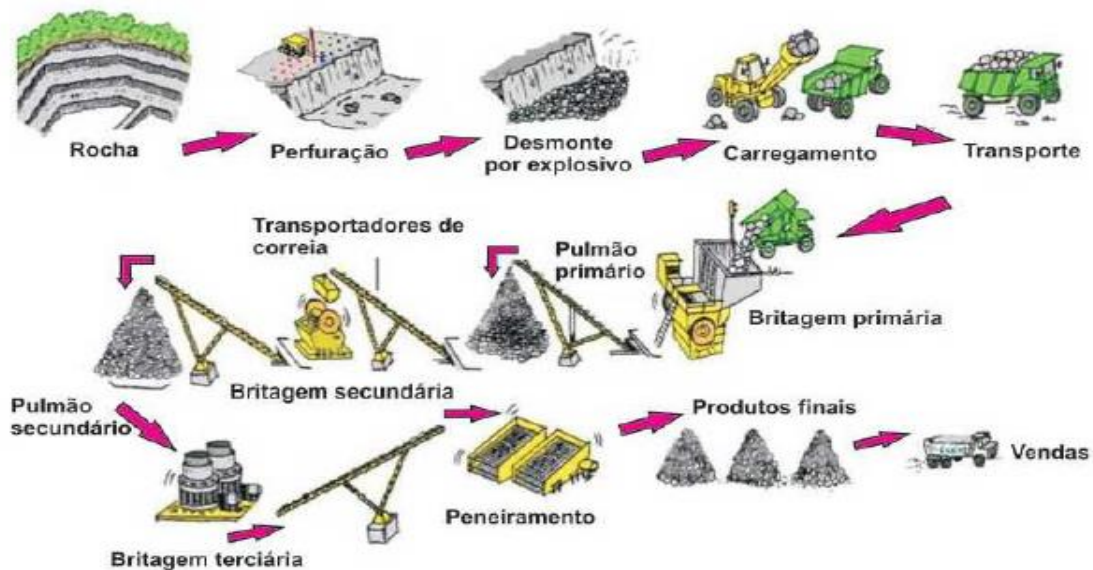


Figura 3: Circuito clássico de britagem, normalmente aplicado em pedreiras. Fonte: Iramina et al, 2009.

O controle da granulometria e formato da brita passam a ficar mais preciso de acordo com as etapas secundária, terciária e quaternária (fabricação de areia). As aplicações mais comuns para as pedras britadas números 1 (de dimensões entre 4,8 mm e 12,5 mm) e 2 (entre 12,5 mm e 25 mm) são concreto estrutural e não estrutural. Já a classificação número zero (entre 0,05 mm e 4,8 mm) e o pó de pedra (<0,075 mm) são aplicados em blocos de concreto e pré-moldado, pavimentação e massa asfáltica. No entanto, apenas uma fração das partículas menores que 0,075 mm são utilizadas na construção civil, de modo que em algumas pedreiras esse material se torna resíduo, ocupando espaço e podendo ser fonte de poluição ambiental (PEDREIRA SARGON, 2012).

Atualmente com o conceito de desenvolvimento sustentável disseminado por toda a sociedade, é importante que a atividade mantenha o equilíbrio entre o crescimento econômico, a conservação do meio ambiente e a qualidade de vida. Por isso, a pesquisa para utilização dos rejeitos gerados durante a exploração mineral, como por exemplo, aqueles provenientes das operações em pedreiras como pedriscos, pó de rocha, entre outros se torna pertinente na busca de uma sustentabilidade para o setor mineral (BARBOSA e GURMENDI, 2002).

O potencial de uso de rochas basálticas como fertilizantes naturais provém das alterações que este mineral primário de origem magmática pode sofrer, quando aplicado ao solo, à ação de intemperismo químico, resultando

em minerais secundários, como aluminossilicatos, óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos, que dão origem ao solo (BARBOSA e GURMENDI, 2002).

4.2. Técnicas de rochagem

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. 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 (MACHADO et al., 2009).

Neste caso, 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. Assim, 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 (MACHADO et al., 2009).

Segundo Khatounain (2001), a utilização de rochas naturais cominuídas na fertilização dos solos é uma das técnicas mais antigas utilizadas na agricultura. Em comparação com os fertilizantes químicos, os NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), que são altamente solúveis e concentrados, as partículas minerais liberam de forma gradativa uma variedade de nutrientes em uma concentração dependente da composição mineral da rocha (STRAATEN, 2006).

Dentro deste contexto, podemos afirmar que as três últimas décadas do século XX e os primeiros anos do século XXI, foram marcados por importantes esforços no desenvolvimento científico para aplicação da rochagem por importantes autores da área, sendo alguns destacados na Tabela 1.

Tabela 1: Eventos importantes no desenvolvimento da rochagem.

Ano	Fato
1970	Edição do livro <i>The Survival of Civilization</i> , de John Hamaker Don Weaver
1985	Desenvolvimento do primeiro projeto de agroecologia efetuado no Canadá e na Tanzânia, financiado pelo <i>International Development Research Centre</i>
1991	Surgimento da revista <i>Remineralize the Earth</i>
1994	Realização do Fórum <i>Soil Mineralization na Sustainable Agriculture</i> , nos Estados Unidos
1998	Início de um programa de pesquisas sobre aproveitamento de pó de rocha na fertilização de solos agricultados, coordenado pela Universidade de Brasília juntamente com a Embrapa Cerrados e financiado pelo CNPq
2002	Apresentação, por Van Straaten, do relatório <i>Rocks for Crops: Agromineral of sub-Saharan Africa</i>
2004	Realização do 1 st <i>International Workshop 'Rocks for Crops'</i> , em Brasília e Patos de Minas
2007	Edição, no Canadá, do livro <i>Agroecology: the use of rocks for crops</i> de Peter Van Straaten

Fonte: Loureiro et al, 2009.

Conforme 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). Adicionalmente, deve-se salientar a importância de ser uma matéria-

prima nacional, fácil de ser explorada e que se encontram distribuídas em todas as regiões do país.

A redescoberta e readaptação da prática de rochagem, com a utilização de rejeitos da mineração é uma técnica alternativa capaz de auxiliar na recuperação e na conservação dos solos, além de reduzir o uso de produtos químicos, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso das formulações NPK de adubos agrícolas (STRAATEN, 2002).

O uso de rochas trituradas, visando à melhoria da fertilidade do solo, tem sido objetivo de diversos estudos (NOVELINO et al., 1995; ESCOSTEGUY; KLANT,1998). Quando se trata de resíduos da produção de britas e pó de brita (partículas menores que 0,075 mm), as opções para uso em atividades agropecuárias se tornam ainda maiores. Estes materiais apresentam potencialidades no fornecimento de alguns nutrientes tais como cálcio, magnésio, fósforo e alguns micronutrientes (com destaque para o ferro, manganês e cobre). Esses teores consideráveis de nutrientes são devido a sua origem proveniente de rochas máficas, também conhecidas como ferromagnesianas, classificadas como básicas, pelo fato de apresentarem concentrações menores de sílica total. Estudos realizados por Press et al. (2006) revela que as rochas máficas, como o basalto, são geralmente mais ricas em cálcio, magnésio e ferro e deficientes em potássio, sódio e sílica.

Dentre as rochas ígneas de natureza ferromagnesiana, o basalto é a mais abundante (MADUREIRA FILHO et al., 2003) ocorrendo com muita frequência em diversos estados brasileiros da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Autores como Theodoro *et al.* (2010), indicam o basalto para a prática da rochagem devido sua composição apresentar macronutrientes, micronutrientes e elementos benéficos que podem contribuir com o efeito residual por um longo período (HARLEY; GILKES, 2000).

Embora outros autores (BOLLAND; BAKER, 2000), questionam a eficiência das partículas de rocha como fonte de nutrientes devido à baixa solubilidade, uma série de estudos comprovam os efeitos positivos do uso de rochas cominuídas como fonte de nutrientes para o solo. Neste sentido, Knapik (2005) avaliou o desenvolvimento de *Prunus sellowii Koehne* (pessegueiro bravo) e observaram que o melhor crescimento das mudas foi nos tratamentos com a utilização de fertilizantes a base de NPK, constituídos por sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio. As mudas produzidas com partículas de basalto não apresentaram crescimento similar àquelas adubadas

com fertilizantes convencionais, constituídos por nitrogênio, fósforo e potássio, entretanto, no tratamento com partículas de rocha foi observado maior teor de nitrogênio ($15,7\text{g. Kg}^{-1}$), fósforo ($2,3\text{ g.Kg}^{-1}$), cálcio ($22,9\text{ g.Kg}^{-1}$), magnésio ($5,6\text{ g.Kg}^{-1}$), boro ($52,2\text{ mg.Kg}^{-1}$), manganês ($1001,0\text{ mg.Kg}^{-1}$), e ferro ($477,0\text{ mg.Kg}^{-1}$), nas folhas, em comparação com os resultados dos mesmos nutrientes analisados nas plantas adubadas com fertilizantes a base de NPK: nitrogênio ($13,9\text{ g.Kg}^{-1}$), fósforo ($2,2\text{ g.Kg}^{-1}$), cálcio ($18,4\text{ g.Kg}^{-1}$), magnésio ($4,4\text{ g.Kg}^{-1}$), boro ($45,2\text{ mg.Kg}^{-1}$), manganês ($976,0\text{ mg.Kg}^{-1}$), e ferro ($331,0\text{ mg.Kg}^{-1}$).

Theodoro e Leonardos (2006) avaliaram o potencial de partículas de basalto em um solo arenoso e verificaram aumento do pH e dos teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio após o primeiro ano, permanecendo com teores maiores do que aqueles que não receberam a rocha, mesmo após cinco anos, demonstrando assim, que a utilização de partículas de rocha na agricultura pode ser uma alternativa viável para a recuperação da fertilidade do solo.

A Figura 4 apresenta resultados de análises de fertilidade de algumas rochas amplamente disponíveis em diferentes regiões do país, conforme pesquisas realizadas por Theodoro (2011). As rochas que demonstraram os melhores resultados são aquelas de origem vulcânica, especialmente as mais jovens, como é o caso dos basaltos que ocupam grande parte da região sul e ocorrem também no sudeste centro-oeste (Formação Serra Geral). Tais rochas estão entre as mais testadas e com maiores possibilidades de fornecerem os nutrientes para os solos (especialmente fósforo, cálcio e magnésio e pelo baixo conteúdo de sílica). Outros tipos de rochas também são interessantes para o uso como remineralizadores de solos como, por exemplo, as rochas metamórficas que tenham sofrido processos hidrotermais com acúmulo de fósforo e cálcio e alguns tipos de rochas sedimentares, como por exemplo, as rochas fosfáticas.

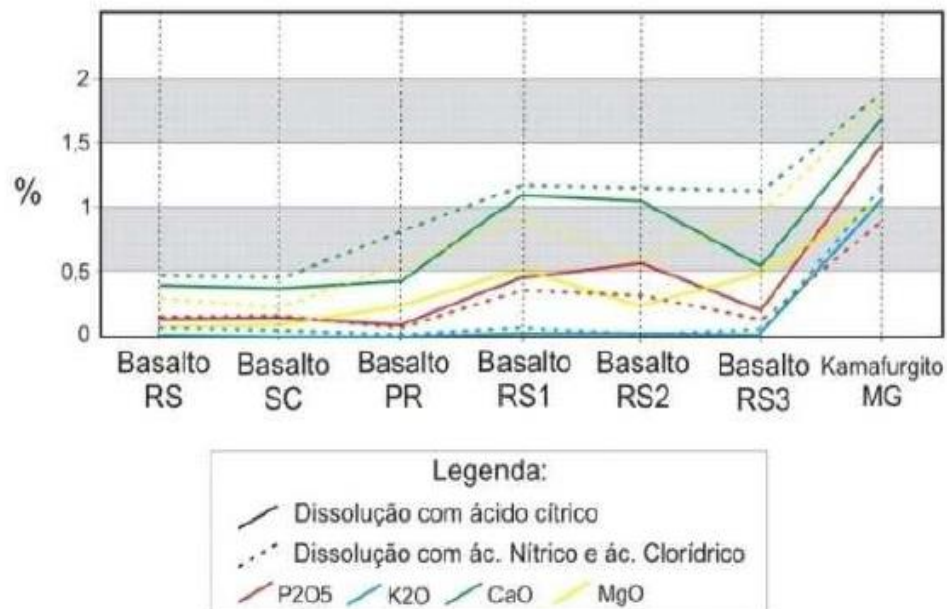


Figura 4: Variação da disponibilidade dos minerais em termos percentuais.

Fonte: Bergmann, 2011.

Apesar do grande potencial que certas rochas representam para remineralizar os solos, uma barreira ainda precisa ser vencida – a velocidade de disponibilização dos nutrientes. Alguns mecanismos podem acelerar o processo de dissolução, tais como o uso de bactérias inoculantes e fixadoras de nitrogênio, o uso de material orgânico compostado com a rocha e a adubação verde incorporada ao solo junto com as partículas de rocha (THEODORO e LEONARDOS, 2006).

4.3. Principais mecanismos envolvidos na rochagem

Uma alternativa notória ao uso de fertilizantes industriais é a utilização de partículas de rocha, por ter uma solubilidade mais lenta que os fertilizantes comerciais, as rochas se constituem em fonte de nutrientes para plantas cultivadas durante longos períodos, promovem o aumento da capacidade de troca catiônica dos solos, devido a formação de novos minerais de argila durante o processo de alteração das mesmas. O modelo de rochagem constitui uma alternativa viável em termos econômicos e ecológicos devido ao baixo custo de processo de beneficiamento, que envolve apenas moagem das rochas usadas na composição do produto, e devido à liberação gradual de nutrientes que diminui as perdas por lixiviação e favorece uma ação de longo prazo do insumo aplicado (MELAHMED et al., 2009).

Várias rochas podem ser utilizadas para a remineralização dos meios. Assim, Van Straaten (2007), citando A. A. Levinson (1974) apresentou os principais tipos de rochas com grande potencial de fornecimento de macro e micronutrientes, como é demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Macro e micronutrientes em alguns tipos de rochas

Tipos de rocha	Nutrientes
Rochas ígneas ultramáficas	Cr, Co, Ni, Fe, Mn
Basaltos	Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Ni, V
Granitos	Ba, Li, W, Rb, Mo, Cu, Zn, Cl, Si, K
Carbonatitos	F, Nb, K, P, Mg, Ca
Xisto negro	Cu, Zn, Cd, Se, Ni, Mo, V, Fe, B
Xisto vermelho/arenito	Se, As, Mo, Cu
Rochas ultramáficas	Mg, Ca
Rochas silicáticas alcalinas (sienitos e nefelinasienitos)	K
Gipsita e rejeitos industriais (principalmente fosfogesso)	S, Ca
Calcários (calcíticos e dolomíticos)	Ca, Mg

Fonte: Van Straaten apud Levison (2007)

De acordo com Loureiro (2009), os principais minerais utilizados para rochagem visando a calagem e a remineralização do solo são os calcários que liberam cálcio; os carbonatitos que liberam principalmente cálcio, magnésio e potássio; o gesso (natural e industrial) que disponibiliza cálcio e enxofre; as rochas fosfáticas que liberam cálcio e fósforo; os silicatos vulcânicos (basalto, ugandito, fonolitos, traquitos, etc) que possuem magnésio, cálcio, silício, ferro, entre outros possíveis de serem disponibilizados ao solo; os silicatos granulares (granitos, sienitos, nefelina, arenitos, etc), os minerais industriais como feldspatos, argilas, piroxênicos, anfibólios, vermiculita, biotita, zeólitas, entre outros e os rejeitos de resíduos de minas (de minerais não metálicos e de pedreiras), que podem liberar para o meio diversos tipos de macro e micronutrientes.

As rochas liberam seus nutrientes através de processos de decomposição, chamados de reações de climatização. A climatização envolve processos mecânicos e também reações químicas, como a expansão da água ao congelar ou inchação de minerais devido à hidratação. Nutrientes como sódio, cálcio e magnésio são liberados mais rapidamente pelas rochas, outros

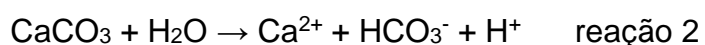
nutrientes, como o potássio e o silício tem uma liberação mais lenta, já o alumínio e ferro possuem uma liberação mais lenta ainda, isto se deve a oxidação destes minerais e formação de óxidos insolúveis, fazendo com que eles permaneçam na rocha, ao invés de serem retirados para a solução (KÄMPF et al., 2009).

A decomposição das rochas e conseqüente liberação dos nutrientes para o solo se deve a processos de dissolução, hidratação, ataque com ácidos, oxidação e complexação. Estes processos são ocasionados por agentes como o oxigênio livre, que é responsável pela formação de óxidos, particularmente de enxofre e ferro, gás carbônico e água que penetra nos poros, clivagens e fissuras das rochas, que dissolve os constituintes mais solúveis da rocha e os transfere para o meio, originando novas fases minerais com os constituintes menos solúveis que permanecem na rocha (KÄMPF et al., 2009). A água, com o oxigênio dissolvido nela, acelera as reações de oxidação dos minerais, pois dissolve pequenas quantidades dos mesmos. O dióxido de carbono dissolvido na água forma ácido carbônico, outro agente responsável pela decomposição das rochas. Esta leve acidez faz da água um solvente que auxilia na dissolução dos minerais presentes nas rochas. Outros materiais também aumentam a acidez da água como, por exemplo, os ácidos húmicos provenientes da decomposição do húmus do solo e os ácidos nítrico e nitroso, originados na decomposição de materiais orgânicos e por ações bacterianas em solos. A água, além de proporcionar a dissolução dos minerais solúveis da rocha, pode participar diretamente de reações, como na formação de hidratos. Como pode ser observado, o intemperismo químico é essencialmente controlado pela presença de água, seja como agente, como solvente ou como meio de transporte. No intemperismo químico, há o predomínio de processos na fase aquosa do solo, como hidratação, hidrólise, oxidação e complexação. Desse modo, sem água as reações químicas de decomposição e liberação dos minerais das rochas são pouco intensas, como ocorre em regiões áridas (KÄMPF et al., 2009). Um exemplo de alteração de um mineral primário (feldspato microclínico) em mineral secundário (caulinita) que ocorre através de processos de intemperismo, com liberação de potássio para o meio, é descrito na reação 1.



reação 1

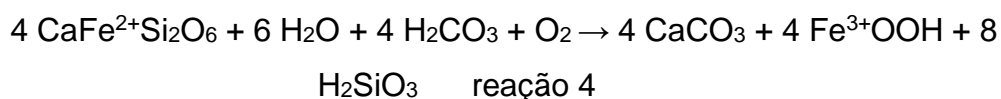
A hidratação e consequente dissolução dos minerais acontecem através da adsorção de moléculas de água a superfície dos minerais e associação de íons OH⁻ e H₂O na esfera de coordenação dos minerais (KÄMPF et al., 2009). Através desse processo de intemperismo a rocha libera nutrientes para o meio, como é mostrado na reação de dissolução da calcita em água e consequente liberação de cálcio (reação 2).



Outro processo importante de decomposição da rocha é a hidrólise, que consiste na reação de íons H⁺ e OH⁻ e as fases minerais, produzindo o rompimento das ligações dos íons metálicos, como alumínio, ferro, cálcio, magnésio, entre outros, e o silício nos silicatos e o carbono nos carbonatos. O resultado é a substituição dos íons das partículas minerais pelos íons H⁺, com consequente desintegração da estrutura cristalina do mineral e liberação de nutrientes para o meio (KÄMPF et al., 2009). A reação 3 demonstra o processo simplificado de hidrólise do feldspato monoclinico e liberação de potássio para o meio.



Segundo KÄMPF et al. (2009), a oxidação é outro processo importante de intemperização de minerais, ela ocorre em rochas bem aeradas e em solos onde há amplo suprimento e baixa demanda biológica de oxigênio. A oxidação acontece principalmente em minerais que possuem teores apreciáveis de ferro, como é o caso dos basaltos. O processo de intemperismo por oxidação é exemplificado pela reação 4 do piroxênio hedenbergita.



A complexação dos minerais da rocha é outro processo de intemperismo bioquímico. Ela ocorre quando há compostos orgânicos, como ácidos húmicos e fúlvico, substâncias orgânicas liberadas na decomposição de vegetais, substâncias sintetizadas por microrganismos e excretadas pelas

raízes das plantas, com capacidade de se ligar aos íons metálicos, formando complexos e aumentando a solubilidade desses íons. Os principais íons solubilizados por este processo são os de ferro e alumínio, os de elementos traços, como manganês, cobre e zinco, e de metais tóxicos, como mercúrio, cádmio e chumbo (KÄMPF et al., 2009). Um esquema dos principais nutrientes liberados na rochagem é mostrado na Figura 5.

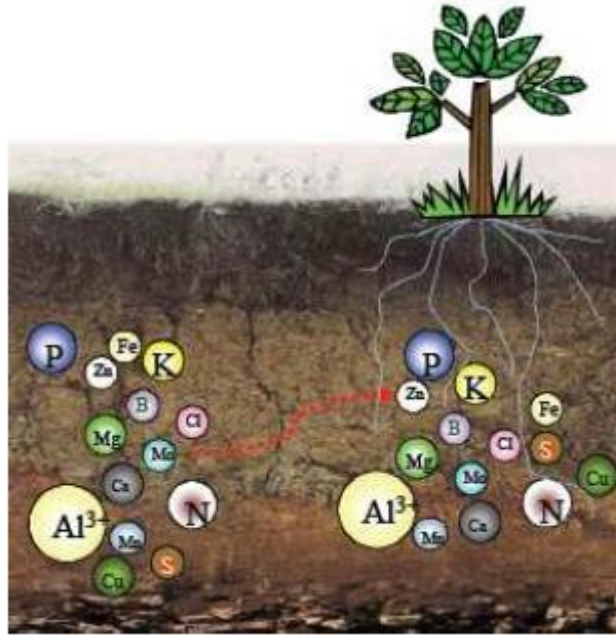


Figura 5: Nutrientes liberados ao solo pela rochagem.
Fonte: Reichert e Gulbiani, 2011.

Segundo Alleoni e Melo (2009), a deterioração das rochas se processa mais rapidamente e é mais acentuada em climas quentes e úmidos do que em climas áridos. Também é preciso salientar que os processos de decomposição não ocorrem somente na superfície, eles podem acontecer em qualquer profundidade, desde que haja a penetração de ar e água.

Os elementos são liberados dos minerais pelos processos de intemperismo, ou seja, as rochas são submetidas a processos que ocasionam a desintegração e decomposição da sua estrutura. Como a composição da rocha é bastante variada em espécies minerais, cada uma libera seus elementos em velocidades diferentes. Para que ocorra a liberação dos elementos que compõem as rochas, elas devem ser submetidas a alterações físicas e químicas. O intemperismo físico corresponde a uma desagregação da estrutura da rocha sem haver mudança na composição química, já a alteração química ocorre quando a estrutura dos minerais é quebrada (LUCHESE et al., 2002).

Os elementos minerais, macro e micronutrientes, ao lado de fatores tais como luz, água e gás carbônico constituem a matéria prima que as plantas utilizam para crescer e se desenvolver. Embora constituam apenas de 4 a 6% da matéria seca total, os elementos minerais além de serem componentes das moléculas essenciais, constituem estruturas como membranas e estão envolvidos com a ativação enzimática, controle osmótico, transporte de elétrons, sistema tampão do protoplasma e controle de permeabilidade. Devido a isto, é importante que os nutrientes sejam absorvidos e transportados para o interior das plantas, para que isso aconteça há a necessidade destes nutrientes estarem na solução do solo e em presença de água, para que os mecanismos de transporte por fluxo de massa e difusão ocorram naturalmente, evitando assim os sintomas de deficiência nutricional (LUCHESE et al., 2002).

Os nutrientes minerais podem ser absorvidos pelas plantas de três maneiras distintas, por interceptação radicular, pela qual as raízes crescem, explorando o solo em todas as direções e, assim, entram em contato direto com os nutrientes a serem absorvidos; por fluxo de massa, em que a água absorvida pelas plantas, flui ao longo de um gradiente de potencial hídrico, arrastando para próximo da superfície radicular os nutrientes dissolvidos na solução do solo, os quais ficam disponíveis para a absorção; e por último, por difusão, que é o estabelecimento de um gradiente, ao longo do qual os íons se movem para chegar até a superfície radicular da planta e possibilitar a absorção dos nutrientes pela mesma (BONATO, 1998).

Segundo Bonato (1998), a disponibilidade dos elementos minerais no solo depende de vários fatores como pH, umidade, concentração do elemento no solo, aeração, matéria orgânica, entre outros. Além desses itens citados, deve-se considerar que as raízes também possuem grande influência sobre a rizosfera, e assim, sobre a disponibilidade dos nutrientes, devido às modificações nas concentrações dos nutrientes e no pH da rizosfera.

4.4. Caracterização de partículas minerais para usos na agricultura

A caracterização das partículas de basalto para seu uso na rochagem é importante para determinar suas características físicas, químicas e mineralógicas, definindo características importantes como tamanho das partículas, o potencial de troca de cátions e os minerais presentes no material,

identificando assim, os macro e micronutrientes possíveis de ser disponibilizados ao solo (THEODORO e LEONARDOS, 2006).

4.4.1. Umidade e Massa específica

A estrutura química da água como molécula polar lhe permite agir como solvente universal e adsorver as superfícies minerais e em outras moléculas de água. A partir desta característica surgem as forças de coesão e adesão às quais irão originar uma interface sólido-líquido-gás, cujo fenômeno da capilaridade é responsável pelo poder de penetração/retenção de água em meios porosos (CICHOTA, 2003).

A umidade de partículas minerais pode ser determinada por métodos gravimétricos e se baseiam na pesagem de amostras de alíquotas de rocha úmida e depois de seca. A diferença entre as duas medidas representa a massa de água presente na amostra. Esta quantidade de água pode causar hidrólise nos minerais da rocha, sendo responsável por sua decomposição e consequente liberação de nutrientes para o solo (GARDNER, 1986).

A água também pode causar a hidratação da rocha, que consiste na adição da molécula completa de água à estrutura do mineral causando uma expansão das partículas. Esta água de hidratação pode ser retirada do mineral por aquecimento acima do ponto de ebulição da mesma. Alguns minerais podem se hidratar e desidratar dependendo da umidade presente, ou seja, após uma chuva intensa eles podem se dilatar e inchar oprimindo o solo ou as rochas e na seca podem se contrair e fragmentar (ALLEONI e MELO, 2009).

Diante destes fatos, é possível constatar a importância da determinação do teor de umidade das partículas minerais, pois valores elevados de água podem causar o intemperismo, acelerando a degradação de nutrientes importantes para a rochagem (ALLEONI e MELO, 2009).

A massa específica é um importante parâmetro para a determinação do teor de vazios na rocha. Em uma rocha sem poros (portanto sem fluidos), a massa específica total pode ser descrita como a soma das massas específicas de seus minerais constituintes, ponderada pelo volume total de cada fase mineral. É uma característica física dos materiais, que interfere na aeração, capacidade de retenção de umidade e agregação ao substrato (WENDLING; GATTO, 2002).

Segundo Bonnet et al. (1995), a massa específica se relaciona diretamente com o grau de compactação e agregação de partículas e com a

textura do material. Considerando a utilização das partículas de basalto na agricultura, quanto menor for a massa específica, menores serão as restrições para o crescimento de raízes e melhor será sua estrutura.

4.4.2. Classificação granulométrica

Os produtos e resíduos da cominuição em pedreiras possuem partículas de diferentes tamanhos em proporções variadas. A determinação do tamanho destas e suas respectivas porcentagens de ocorrência podem ser obtidas por técnicas de análise granulométrica, sendo as principais por peneiramento e por difração à Laser (CHAVES e PERES, 2003).

De acordo com Andreoli (1999), a partir das proporções entre as frações granulométricas de areia, silte e argila, obtém-se a textura do material, o qual afeta a movimentação da água no meio. Quanto mais fina for a textura, mais lenta será a dinâmica da água e maior será sua retenção. Sendo assim, quanto mais finas as partículas de basalto utilizadas, maior a dificuldade de infiltração da água.

A granulometria fina das partículas de basalto, também pode provocar um efeito cimentante, o que para Kämpf (2002), implica no fechamento dos poros do solo, causando uma maior compactação, influenciando também na densidade final do solo utilizado no plantio.

Inocêncio et al. (2009), avaliaram a distribuição granulométrica de pós de basaltos utilizados para rochagem em solos do Mato Grosso do Sul e concluíram que, com a aplicação de basalto triturado houve um aumento pouco expressivo nos teores de potássio trocável, e que os maiores incrementos de cálcio e magnésio trocáveis foram nos solos com menores concentrações destes nutrientes.

4.4.3. Área superficial

A área superficial ou área específica de superfície é um importante parâmetro para muitas utilizações de materiais dispersos em meio aquoso, tanto em aplicações científicas quanto industriais. No caso do basalto é importante determinar esta característica, pois quanto maior a área superficial das partículas de rocha, maior será seu potencial de troca iônica, devido a maior superfície exposta ao contato com o meio (solo/água/raízes). Diversos métodos descrevem procedimentos de determinação desta característica,

entretanto, diferentes metodologias podem fornecer valores distintos, principalmente, se o material for analisado em meio seco ou em meio aquoso (ALLEONI e MELO, 2009).

De acordo com Dekker (1997), a área superficial, S_w , é uma propriedade representada pela área superficial total de partículas contidas em uma unidade de massa e pode ser expressa em $m^2.kg^{-1}$. O método da adsorção de azul de metileno é o mais usual para determinação deste parâmetro devido à maior praticidade e menores custos envolvidos. Neste caso, a adsorção é proporcional à área interfacial sólido-líquido, de modo que as quantidades adsorvidas são significativas quando o sólido apresentar uma elevada superfície específica.

4.4.4. Composição química e mineralógica

O basalto estudado neste trabalho é proveniente do município de Nova Prata, no Rio Grande do Sul, localizado na Formação Serra Geral e faz parte da Província Magmática Paraná-Etendeka, uma estrutura com 1,2 milhões de km^2 , que se desenvolveu a partir do Paleozoico, há aproximadamente 400 milhões de anos (ALMEIDA, 1981; CORDANI et al, 1984; CONCEIÇÃO et al. 1988, ZALÁN et al. 1987,1990).

A caracterização química e mineralógica das partículas de basalto para seu uso na rochagem é importante para determinar e quantificar os minerais presentes nos materiais e principais elementos que poderão atuar como macro e micronutrientes no cultivo de vegetais (ALBERS et. al., 2002).

Dentre as várias técnicas de caracterização mineralógica, a difração de raios-X é a mais indicada na determinação das fases cristalinas presentes em rochas. Isto é possível, porque nos cristais os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios-X. (ALBERS et. al., 2002). Assim, ao incidir um feixe de raios-X em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, originando o fenômeno de difração. A difração de raios-X ocorre segundo a Lei de Bragg, a qual estabelece a relação entre o ângulo de difração e a distância entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina) (ALBERS et. al., 2002).

Dentre as vantagens desta técnica, pode-se destacar a simplicidade e rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos (pois

o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina), a possibilidade de análise de materiais compostos por uma mistura de fases e uma análise quantitativa destas fases (ALBERS et. al., 2002).

Teixeira (2010) estudou a aplicação da rocha serpentinito como corretivo de acidez do solo. No estudo aplicou a análise de difração de raios-X para caracterizar os minerais presentes nas partículas de rocha, concluindo que o aproveitamento dessa rocha como corretivo de solos ácidos é possível, viabilizando assim, a utilização do estéril de uma mina de cromita, minimizando o impacto ambiental causado pelo acúmulo desse resíduo.

Uma caracterização complementar pode ser obtida por técnicas que permitam identificar e quantificar a composição elementar das partículas. Dentre estas técnicas a fluorescência de raios-X e a espectroscopia de massas com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) são as mais utilizadas (ALBERS et. al., 2002).

A fluorescência de raios-X é uma técnica não-destrutiva que determina quantitativamente os elementos presentes, na forma de óxidos, em uma determinada amostra, através da aplicação de raios-X na superfície da amostra e a posterior análise dos raios-X emitidos (ALBERS et. al., 2002).

Toledo (2011) caracterizou através de difração de raios-X e fluorescência de raios-X, os nutrientes presentes em verdetes da região do Cedro de Abaeté em Minas Gerais. A partir dos teores de potássio obtidos nas amostras, concluiu que as partículas da rocha podem se tornar uma fonte alternativa para insumos agrícolas.

A espectroscopia de massa é uma técnica que determina os elementos químicos que compõem a amostra. Na espectrometria atômica de massa, as amostras são atomizadas, e os átomos gasosos são convertidos em íons positivos e separados com base em suas razões massa-carga (SKOOG et al., 2002). As vantagens desta técnica são seus baixos limites de detecção e alto grau de seletividade, razoável precisão e exatidão, rápida detecção das razões isotópicas, utilização de pequeno volume de amostra e também, capacidade multielementar, podendo determinar aproximadamente 90% dos elementos com limites de detecção na faixa de 0,1 a 0,001 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (ppb) em soluções aquosas (VEIGA, 2000).

Assim, estudos na área de rochagem utilizam esta técnica como ferramenta para caracterizar os minerais. Um exemplo desta aplicação são os estudos de Teixeira (2010) que utilizou a espectrometria de massas para

analisar a composição química da rocha serpentinito de um estéril de uma mina de cromita localizada na Bahia. Este autor demonstrou a possibilidade de aproveitamento da mesma como corretivo de solos ácidos (calagem), minimizando assim, o impacto ambiental causado pelo acúmulo desse resíduo.

4.4.5. Capacidade de troca catiônica

A capacidade de troca catiônica (CTC) é considerada uma propriedade importante para caracterizar agrominerais, pois expressa a habilidade do material em trocar cátions. Esta característica é fundamental para proporcionar a troca de nutrientes entre as partículas minerais e o meio solo/água/raízes (VEIGA, 2000).

A capacidade de troca de cátions (CTC) corresponde à soma das cargas negativas nas partículas microscópicas do solo (fração argila, e matéria orgânica) retendo os cátions, tais como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+). A importância da CTC refere-se não só a retenção de cátions, mas também de água, além de ter direta relação com a estruturação e consistência do solo (VEIGA, 2000).

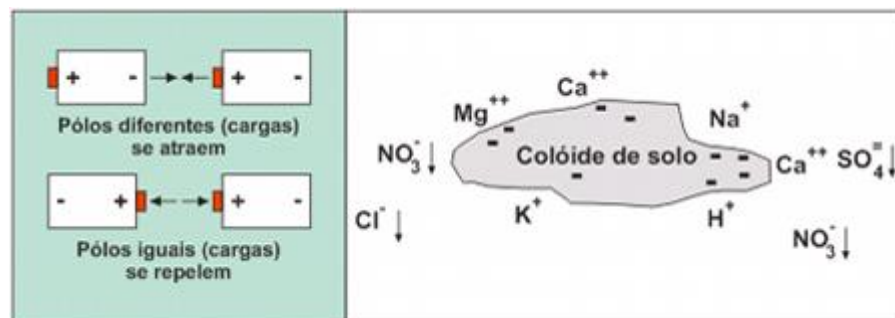


Figura 6: CTC. Fonte: VEIGA, 2000

A CTC pode ser determinada a partir de estudos laboratoriais em batelada em escala de bancada, visando a obtenção de avaliações empíricas desta propriedade. Segundo Metcalf e Eddy (2003), a capacidade de troca catiônica é medida através de modificação (ativação) do material para uma forma conhecida. Esta modificação pode ser realizada através do contato do material adsorvente com um ácido forte visando obter todos os sítios de troca na forma de H^+ ou comum à solução forte de NaCl para colocá-los na forma de Na^+ , de modo que, posterior à esta transformação, uma solução de concentração conhecida (sal de amônio) pode ser adicionada até que a troca seja estabelecida por completo e o valor da capacidade de troca pode ser

determinado, sendo que no caso da determinação ácida, o material é titulado com uma base forte (VEIGA, 2000).

Gillman (1980) e Gillman et al. (2001) na Austrália, ilustraram os efeitos positivos da aplicação de altas concentrações de rocha basáltica em solo com baixa fertilidade. No caso de Gillman (1980), após 12 meses de incubação foi observado um aumento significativo no pH e na capacidade de troca de cátions, constatando que o efeito foi mais pronunciado com a diminuição da granulometria e o aumento do tempo de contato entre o material e o solo. Gillman et al. (2001) avaliaram o comportamento de sete solos de Queensland, na Austrália, incubados com diferentes concentrações de partículas de basalto (0, 1, 5, 25 e 50 t.ha⁻¹), tendo observado aumentos expressivos no pH, na CTC e nos teores de cátions alcalinos.

4.4.6. Potencial zeta

O potencial zeta é função da carga superficial das partículas formada a partir da dupla camada elétrica (Hunter, 1981) quando estas são expostas a um meio aquoso. Esta característica é função principalmente do meio, da natureza e da composição das partículas. Esse potencial pode ser determinado experimentalmente e reflete a carga efetiva nas partículas, por isso, ele se correlaciona com a repulsão eletrostática entre elas e com a estabilidade da suspensão (BONATO et al, 1998).

Ânions como NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, originados na decomposição das rochas, se prendem fracamente às micelas do solo, enquanto H₂PO₄⁻ e outros são fortemente atraídos e retidos. A proporção dos diferentes íons no meio é determinada por vários fatores tais como: carga dos cátions adsorvidos, sua proporção no complexo de troca iônica e as propriedades dos íons trocados. Estes íons, e a determinação da sua mobilidade no meio são importantes para a os processos de absorção dos nutrientes pelas plantas (BONATO et al, 1998).

Os óxidos metálicos, que compõem a estrutura cristalina das rochas, apresentam superfícies eletricamente carregadas em meio aquoso, isto provoca uma distribuição iônica na região próxima à superfície, que dá origem a formação de uma dupla camada elétrica. Essa dupla camada é formada pela superfície carregada, os contra-íons e os co-íons em uma forma difusa no meio. Devido a isto, surge um potencial elétrico que inicia na superfície carregada e decai exponencialmente até tornar-se constante, este potencial é

chamado de potencial zeta, e se localiza entre a superfície carregada e a solução. Variando-se o pH do meio pode-se medir a propensão de uma superfície em tornar-se neutra, positiva ou negativamente carregada (LIMA e QUIRINO, 2003).

A determinação do potencial zeta é importante, pois através dela é possível prever em que valores de pH o processo de adsorção em meio aquoso é mais efetivo, ou seja, é possível prever e controlar prováveis interações físicas entre adsorvente e adsorvato. Neste sentido, Lima e Quirino (2003) determinaram a curva de potencial zeta da hematita e do quartzo, condicionados somente com água destilada e obtiveram valores de potencial zeta mais negativos para o quartzo. Assim, os autores concluíram que a atração de cátions pelo quartzo é bem maior que pela hematita.

4.4.7. Disponibilidade de íons nutrientes e modificadores de pH

As rochas contêm vários elementos químicos, mas nem todos são essenciais ao crescimento das plantas, e alguns podem ser tóxicos. Entretanto, o teor total desses elementos não reflete a disponibilidade para as plantas, pois grande parte dos nutrientes está em formas insolúveis ou de lenta dissolução (compostos de alta estabilidade) (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010).

No estudo de estimativa de disponibilidade de nutrientes são utilizados métodos de extração que apresentam alta correlação com a absorção de nutrientes pelas plantas. A intensidade de extração pode variar desde a fração solúvel em água até o teor total. Para os nutrientes minerais: fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e enxofre, em geral, são utilizados agentes extratores de intensidade média como sais diluídos e ácidos fortes diluídos (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010). Estudos de laboratório realizados por Blum et al. (1989) mostram que as taxas de liberação de nutrientes das rochas acontecem de forma muito lenta. Segundo Bolland e Baker (2000), a eficácia das partículas de rocha como fonte de nutrientes para o solo é questionada devido à baixa solubilidade e pela necessidade de aplicar grandes quantidades das mesmas no meio para se obter respostas positivas. De acordo com (OSTERROHT, 2003), este fato é devido a dissolução das partículas de rocha ser um processo muito lento e complexo, dependendo de fatores como a composição química, mineralógica e granulométrica das partículas, o pH e a atividade biológica dos solos e o tempo de exposição.

Von Fragstein et al. (1988) observaram que os basaltos apresentam taxas de liberação de elementos minerais mais rápidas quando comparadas ao granito. A granulometria da rocha tem grande influência, pois quanto maior a área superficial exposta ao ataque dos agentes químicos, físicos e biológicos do intemperismo, mais rápida é a alteração do material (OSTERROHT, 2003).

As partículas de rocha, geralmente, provocam o aumento nos valores de pH que é uma característica importante, pois a elevação do pH do solo, além de estimular a atividade microbiológica, pode diminuir as perdas de K por lixiviação, devido à criação de cargas negativas (QUAGGIO, 2000).

As partículas de rochas alcalinas têm como característica importante promover o aumento no pH do solo, como demonstrado por Gillman et al. (2001) pela aplicação de rochas basálticas em solo de baixa fertilidade química de floresta, como citado anteriormente.

4.5. Aplicação de minerais de basalto na rochagem

Os basaltos são rochas vulcânicas abundantes no planeta e formam derrames extensos de lava em muitas regiões. Pertencem à categoria das rochas ígneas, as quais são formadas pelo resfriamento e consequente solidificação do magma, que é constituído, principalmente, por óxidos de silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio. Assim, as rochas de basalto são constituídas por minerais de silício, alumínio e ferro, na forma de piroxênios, como a augita, plagioclásios, como a labradorita e magnetita. A composição química aproximada do basalto é de 43 – 47% de SiO₂, 11 – 13% de Al₂O₃, 10 – 12% de CaO e 8 – 10% de MgO, além de outros óxidos que estão presentes em percentagens inferiores a 5% (OSTERROHT, 2003).

No Rio Grande do Sul, a extração do basalto ocorre principalmente na região da serra. Nas pedreiras da região de Nova Prata, a extração iniciou em meados da década de 30, e as primeiras indústrias de beneficiamento surgiram em 1970, com a produção de pedra de talhe, agregados e blocos para produção de chapas. Essa produção, ainda hoje, é basicamente artesanal, empregando marretas, alavancas e talhadeiras. Anualmente são produzidos cerca de 60.000 m³ de produto acabado, como paralelepípedos, lajes, pedras para alicerces, entre outros. Um levantamento realizado pelo sindicato do setor, estima que sejam gerados anualmente 52.400 m³ de rejeitos na atividade de mineração de basalto no município. Uma

parte desse rejeito é coletada e transformada em brita e a outra permanece no local da pedreira, constituindo-se em passivo ambiental (KAUTZMANN, et al., 2007).

No cenário da produção e uso de fertilizantes, de acordo com dados divulgados pela Associação Nacional para a Difusão de Adubos (ANDA), o Brasil importou 22,4 milhões de toneladas de matérias primas para a produção de fertilizantes em 2009. Em 2010 foram importados 24,5 milhões de toneladas e em 2011 foram 28,3 milhões de toneladas, sendo um aumento de 15% em relação a 2010. Adicionalmente, o Brasil produz cerca de 1% e consome 2% do nitrogênio produzido no mundo, no caso do fósforo, produz 4% e consome 8%, já o potássio o país produz 1% do total mundial e consome 13%. Assim, o país ocupa o quarto lugar no *ranking* mundial do consumo de fertilizantes, porém não é formador de preços, pois participa com apenas 2% da produção mundial. Considerando este mercado consumidor, são previstos investimentos de cerca de 12,9 bilhões de dólares para o setor de fertilizantes brasileiros, sendo 5,7 bilhões para o setor de fósforo, 5,4 bilhões para o setor de nitrogênio e 1,8 bilhões para o de potássio, pois dados da ANDA (Associação Nacional para a Difusão de Adubos) mostram que as importações de nitrogênio, fósforo e potássio estão em torno de 75%, 50% e 90%, respectivamente (ANDA, 2012).

Segundo Theodoro (2000), o custo do pó do basalto é quase 20 vezes menor do que a aplicação de insumos convencionais (fertilizantes sintéticos), pois quase todas as regiões brasileiras possuem depósitos de rochas vulcânicas, ricas em nutrientes, como fósforo, cálcio e magnésio. Os efeitos gerados pela adubação utilizando partículas de rocha pode se estender por até quatro ou cinco anos consecutivos devido à disponibilização lenta dos nutrientes. Além disto, o teor de umidade é maior nas áreas onde se aplicam as partículas de rochas, demonstrando que as argilas presentes nas rochas possuem grande capacidade de retenção de água, favorecendo assim, o desenvolvimento das raízes das plantas.

A fertilização do solo com partículas de rocha, que muitas vezes são descartadas em pedreiras, pode ser responsável por um solo rico em nutrientes por mais tempo. No Brasil os experimentos começaram em 1997, no assentamento Fruta D'Anta em Minas Gerais, onde foram desenvolvidos estudos por Theodoro. Neste estudo foram comparadas duas parcelas de solo em vinte lotes do local. Em uma parte foi aplicada a fertilização convencional e

em outra a técnica de rochagem. Ao longo de quatro anos, o desenvolvimento das plantas e as modificações do meio foram monitoradas. Os resultados comprovaram que ocorreu maior produtividade nas culturas de ciclo longo, como a cana-de-açúcar e a mandioca. Para culturas de ciclo curto, como o milho e o arroz, o resultado igual ao obtido com os fertilizantes industriais. Com esse estudo foi possível concluir que a utilização da rochagem é viável e traz um ganho econômico significativo, pois ao final de quatro anos houve economia na compra de fertilizantes (THEODORO, LEONARDOS et al, 2006).

Nichele (2006), avaliando o potencial do pó de basalto, proveniente dos municípios de Ponte Alta e de São José do Cerrito, em Santa Catarina, como fonte de liberação de nutrientes para o cultivo de feijoeiro, verificou que após o primeiro ano todos os tratamentos com basalto proporcionaram produtividades similares as dos tratamentos com calcário e com calcário e adubo convencional, além do aumento nos teores de Ca e Mg do solo. Almeida et al. (2004), em experimentos com o mesmo pó de basalto, isolado e associado ao esterco bovino, em cultivo de feijão, observaram que os maiores rendimentos foram obtidos com 2 t.ha⁻¹ de basalto, seguido do tratamento com 4 t.ha⁻¹ de basalto associado ao esterco bovino.

Misturas de pó de rochas já são comercializadas no Brasil, como a farinha de rocha MB-4 (empresa MIBASA de Arapiraca, Alagoas), farinha de rochas da empresa Ipirá Fértil (Ipirá, Bahia) e Itáfertil de Bom Sucesso (Itararé, São Paulo). Resultados positivos com o emprego destes produtos foram observados em soja e em melão na região de Petrolina, em Pernambuco. Na cultura da cana-de-açúcar foi obtido aumento na produção agrícola de 43%. Com uva Itália relata-se aumento de produção de 33%. Em arroz irrigado foi obtido aumento de produção de 20%. No abacaxi, os frutos apresentaram peso médio maior, e maior percentual de frutos com peso acima de 1.400 gramas (BARRETO, 1998).

Kiehl (2002), afirma que a utilização de partículas de basalto como corretivo do solo trouxe resultados positivos, melhorando a nutrição das plantas, podendo ser uma boa alternativa aos agricultores. Segundo o autor, a maior vantagem é que o pó de basalto pode ser encontrado em várias pedreiras comerciais, onde, muitas vezes, é tratado como rejeito, o que torna o pó de rocha um recurso mais barato em comparação aos fertilizantes industrializados, na adubação de solos com baixos níveis de nutrientes.

Segundo Theodoro (2003), nas culturas pesquisadas pela autora, as raízes das plantas cultivadas com partículas de rocha se desenvolveram em maior quantidade, as folhas ficaram mais exuberantes e ocorreu um aumento na umidade do solo, devido à argila que compõe as rochas utilizadas no estudo. A rochagem também aumentou o pH e elevou os níveis de potássio, cálcio e magnésio no solo. A autora salienta que a utilização de rochas para recuperação do solo trás benefícios econômicos e ambientais, pois fertilizam sem degradar o meio, ao contrário do que ocorre com os fertilizantes industriais.

Diante de todas estas informações, acredita-se que o uso de partículas minerais de basalto produzidas no município de Nova Prata do estado do Rio Grande do Sul, apresenta grande potencial de aplicação nas atividades de agricultura desta região, proporcionando grandes benefícios aos pequenos e médios agricultores com conseqüente desenvolvimento do setor agroindustrial. Adicionalmente, problemas ambientais enfrentados por pedreiras localizadas nesta região serão resolvidos de modo que resíduos poderão ser transformados em produtos e demais produtos apresentarão maiores possibilidades de mercado ampliando a área econômica desta atividade de mineração. Ambos os fatos mostram o potencial da rochagem a partir da aplicação de basaltos para o alcance de um desenvolvimento sustentável para dois importantes setores da região sul do país (KAUTZMANN, et al., 2007).

4.6. Estudos dos resíduos da extração de basalto da região de Nova Prata- RS

Segundo Theodoro et al. (2010), foram coletadas amostras em Nova Prata para a caracterização do basalto. Essas amostras foram obtidas em 04 pedreiras diferentes: Basel Indústria e Comércio de Minerais (amostra B1), Coneresul Britagem (amostra C1), Sindicato da Indústria de Extração de Pedreiras de Nova Prata (amostra NP2) e Zilli Britagem de Basalto (amostra Z1).

4.6.1. Distribuição Granulométrica

Com base nos dados da Figura 6 foi possível observar, que os resíduos da extração de basalto da região de Nova Prata, possuem diferentes tamanhos de partículas, mas todos têm um tamanho de partícula predominante

na granulometria de areia fina e silte (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010).

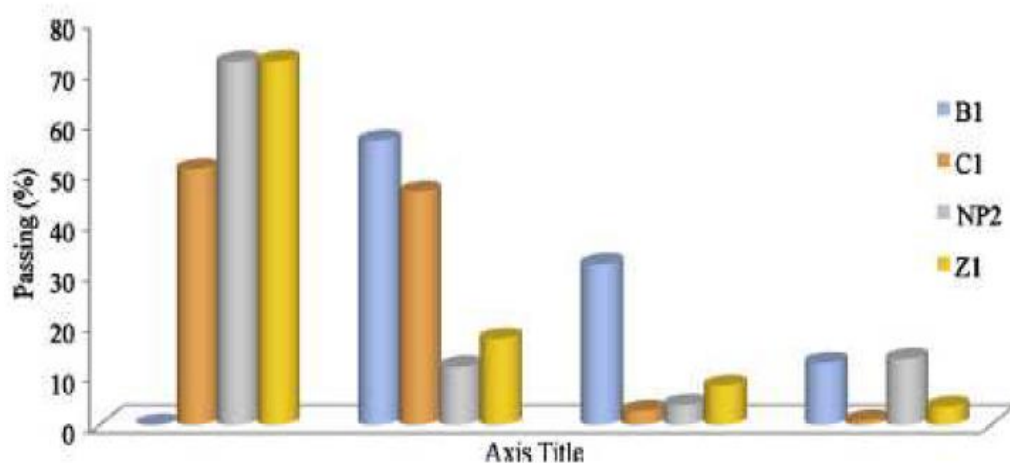


Figura 7: Histogramas da distribuição de tamanho de partículas (in situ) Fonte: THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, (2010).

A partir dos resultados da difração a laser montou-se o gráfico da Figura 7 que mostra as curvas de distribuição granulométrica <500-µm (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010).

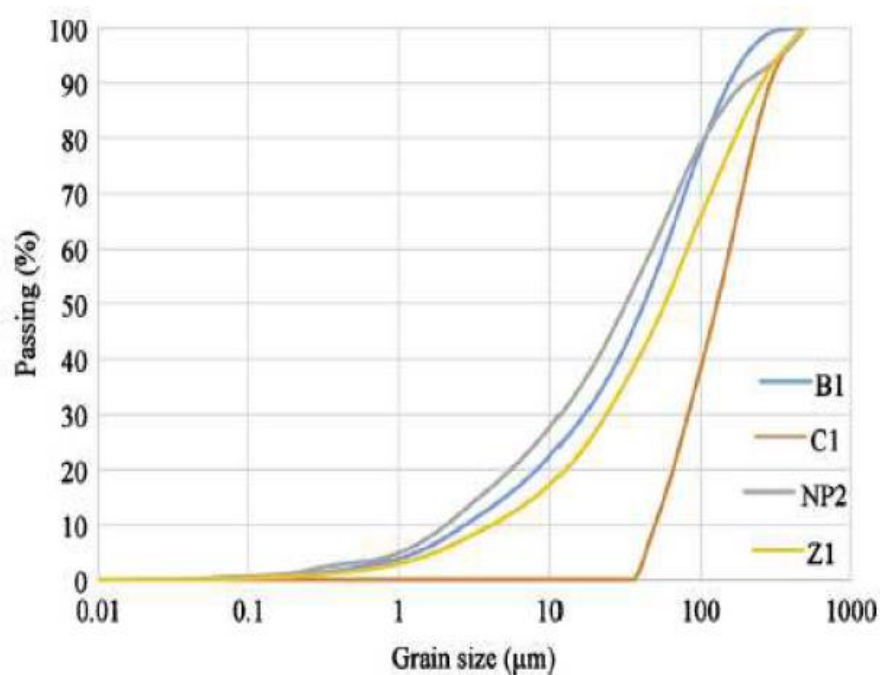


Figura 8: Curvas de distribuição granulométrica do <500 - µm. Fonte: THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, (2010).

4.6.2. Análise Mineralógica

A partir dos resultados obtidos na Difração de Raios - X (DRX) da fase cristalina da amostra montou-se a Tabela 3. A técnica utilizada não detecta o conteúdo amorfo presente na rocha. O conteúdo amorfo presente na

rocha do tipo Palmas é em torno de 63% (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010).

Tabela 3: Minerais predominantes nas amostras de rochas basálticas

Mineral	B1	C1	NP2	Z1
Labradorita	73,5	51	52	61
Quartzo	9	19	15	13
Augita	6		12	13
Feldspato alcalino	5	15		
Esmectita	3	7	10	
Barita	2	3	4	4
Hematita	1	1	2	2
Heulandita	0,5			
Gesso		4		
Caolinita			5	7

Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)

Segundo Theodoro et al. (2010) o potencial de reatividade dos minerais cristalinos nas amostras estão listados na Tabela 4. Nestes testes foram consideradas as seguintes categorias:

- minerais não-reativos (quartzo e hematita);
- ligeiramente reativo (barita e caulinita);
- reativo (labradorita, augita e feldspato alcalino);
- e muito reativo (esmetita e heulandita).

Tabela 4: Potencial (%) de reatividade (climatização) de minerais

Classe Mineral	B1 (%)	C1 (%)	NP2 (%)	Z1 (%)
Não-reativos	9	19	15	13
Ligeiramente reativo	3	4	11	13
Reativo	84,5	66	64	74
Muito reativo	3,5	11	10	0

Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)

4.6.3. Análise Química

Theodoro et al. (2010), com base nos resultados químicos obtidos no presente estudo pode considerar que as amostras consistem principalmente de ferro e alumínio. Estes resultados são consistentes com os dados obtidos a partir da mineralogia, indicando a presença de óxidos amorfos, labradorita, augita, feldspato, e esmectita em maiores quantidades. Além da presença dos óxidos amorfos, também apresenta alguns macro e micronutrientes que se sabe são importantes para o desenvolvimento e manutenção de plantas (MALAVOLTA, 2006). Mas, deve-se considerar que estes resultados indicam apenas a presença de nutrientes, a sua liberação e reatividade são variáveis independentes. As concentrações de macro e micronutrientes contidos nas amostras obtidas por análise de ICP-MS estão na Tabela 5.

Tabela 5: Concentrações de nutrientes nas amostras

Elemento	B1 (%)	C1 (%)	NP2 (%)	Z1 (%)
Al	1,25	0,83	1,93	0,52
Ca	1,1	0,7	0,6	0,8
Fe	2,9	3,05	3,67	2,62
P	0,1	0,1	0,1	0,1
Mg	0,3	0,3	0,3	0,3
Na	0,4	0,22	0,14	0,12
K	0,3	0,2	0,2	0,1
	B1 (mg/dm³)	C1 (mg/dm³)	NP2 (mg/dm³)	Z1 (mg/dm³)
B	4	3	3	2
Co	46	7	27	7
Cu	51	49	70	50
S	<200	<200	<200	<200
Mn	388	351	1076	381
Mo	0,4	1	0,7	1
Ni	3	4	6	3
Zn	48	49	57	44

Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)

Os conteúdos de composição são semelhantes para as quatro amostras, considerando que se tratam de amostras processadas e submetidas a separação de minerais (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010). Os óxidos são predominantes de SiO₂ (Tabela 6).

Tabela 6: Principais óxidos (%) nas amostras

Oxido	B1	C1	NP2	Z1
Al ₂ O ₃	13,2	13,1	13,7	13
BaO	0,1	0,1	0,1	0,1
CaO	3,9	3,5	2,7	3,9
Fe ₂ O ₃	7	6,9	7,5	7
K ₂ O	3,6	3,8	3,3	3,5
MgO	1,4	1,4	1,2	1,5
MnO	0,1	0,1	0,2	0,1
Na ₂ O	3,3	3,2	2,7	3,3
P ₂ O ₅	0,3	0,3	0,2	0,3
SiO ₂	65,1	66	63,8	65,1

Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)

4.6.4. Análise da disponibilidade de nutrientes

Os nutrientes disponíveis nas amostras de pó de rocha basáltica estão listados na Tabela 7.

Tabela 7: Nutrientes disponíveis em meio aquoso nas amostras

Nutriente	B1	C1	NP2	Z1
Al (cmole/dm ³)	Nd	Nd	Nd	Nd
Ca (cmole/dm ³)	6,7	7	8,1	7,8
Mg (cmole/dm ³)	1	1	2,2	0,9
Mn (mg/dm ³)	3	2	6	2
P (mg/dm ³)	>100	>100	>100	>100
K (mg/dm ³)	152	59	104	76
B (mg/dm ³)	0,2	0,2	0,2	0,2
Cu (mg/dm ³)	8	4	2	5
Zn (mg/dm ³)	2	2	2	2

Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)

Parâmetros físicos e químicos de qualidade agrônômica estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8: Características agronômicas identificadas nas amostras

Características Agronômicas	B1	C1	NP2	Z1
pH	7,7	8,6	6,7	8,6
CTC (cmol _e /dm ³)	8,8	8,9	11,6	9,5
(%) argila	12	6	51	6

Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)

Para avaliar a melhor capacidade destes materiais e para manter os níveis de disponibilidade de nutrientes no solo, devem-se realizar testes contínuos e em longos períodos. As rochas podem levar muitos anos para liberar seus nutrientes para o meio (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010).

Avaliou-se a disponibilidade de alguns macronutrientes e micronutrientes em condições próximas ao natural através da técnica de extração de nutrientes com solução de ácido cítrico diluído a 2% (THEODORO et al., 2010). A Tabela 9 apresenta os resultados desta extração para alguns elementos.

Tabela 9: Teor de nutrientes nas amostras

Elemento	B1 (mg/dm ³)	C1 (mg/dm ³)	NP2 (mg/dm ³)	Z1 (mg/dm ³)
Al	0,43	0,41	0,4	0,39
Ca	2,37	1,19	2,82	0,11
Mg	0,07	0,03	0,13	0,1
Cu	0,06	0,14	0,11	0,14
Fe	3,88	4,18	6,01	5,76
Mn	0,87	0,46	2	1,81
K	5,4	3,6	1,9	1,1
Zn	0,03	0,1	0,1	0,07

Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)



Figura 9: Diferença de altura em 10 dias: feijão com e sem o pó de basalto. Fonte: (THEODORO, LEONARDOS e ALMEIDA, 2010)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dessa etapa foram utilizados livros, revistas e periódicos científicos para uma ampla revisão bibliográfica sobre as técnicas de rochagem, suas aplicações e resultados já obtidos, nos baseando em estudos de caracterização física, físico-química, química e mineralógica, de estimativa de disponibilidade de nutrientes em meio aquoso e de aplicação na rochagem de partículas de basaltos provenientes de quatro empresas localizadas no Distrito Mineiro do município de Nova Prata, no Rio Grande do Sul, tomando como base principal os estudos recentes desenvolvidos por Theodoro, Leonardos e Almeida (2010).

Na metodologia realizada por Theodoro, Leonardos e Almeida (2010) foram feitos os estudos da área, o tratamento das amostras e os procedimentos de análise granulométrica, mineralógica e química.

5.1. Área de estudo e tratamento das amostras

O material em estudo foi coletado no distrito mineiro da região de Nova Prata, onde se encontram rochas vulcânicas básicas, intermediárias, basálticas e ácidas. As amostras foram obtidas em 04 pedreiras distintas denominadas, Basel Indústria e Comércio de Minerais (amostra B1), Concesul Britagem (amostra C1), Sindicato da Indústria de Extração de Pedreiras de Nova Prata (amostra NP2) e Zilli Britagem de Basalto (amostra Z1).

As amostras foram denominadas como B1, C1, Z1 e NP2 e foram preparadas conforme os seguintes procedimentos:

- Secagem: Seguiu os procedimentos da norma (ABNT 6457, 1986);
- Quarteamento para obter alíquotas: feito em um divisor do tipo Jones;
- Pulverização: foram pulverizados em moinho de bolas planetário Pulverisette 5;
- Triagem das alíquotas: peneiramento foi feito a <0,6 mm, com o material de passagem destinado para análise.

A amostra B1 apenas foi submetida ao peneiramento, porque já estava em estado de pó com um tamanho de partícula próximo ao 0,6 mm.

5.2. Procedimentos de análise granulométrica, química e mineralógica

As análises granulométricas foram realizadas em dois locais, no Laboratório de Solos do Centro de Estudos Ambientais do Centro Universitário

La Salle (UNILASALLE) e no Laboratório de Processamento Mineral (LAPROM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para a fração grosseira, foi montado um conjunto de peneiras com diferentes tamanhos de malhas em ordem decrescente sobre uma máquina de vibração. Para o material fino (tamanho de partícula inferior a 500 μM), foi utilizado um granulômetro da marca Silas por difração a laser. A análise mineralógica semi-quantitativa foi realizada no Laboratório de Difração de Raios -X da UFRGS, com um difratômetro Siemens, modelo Bruker - AXS D5000. Os dados foram processados usando DiffracPlus® Siemens - Bruker - AXS, versão de software 11.

As análises químicas foram realizadas utilizando o método de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), no Acme Analytical Laboratories Ltd. (Acmelabs), Vancouver, Canadá, e SGS Geosol Laboratórios Ltda., Belo Horizonte.

Parte das mesmas amostras enviadas para o Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia foi testada para a extração no Laboratório de Química UNILASALLE, que usa uma solução de ácido cítrico diluído para 2%, para a extração.

O ácido cítrico no estudo de liberação de nutrientes simula o ambiente do solo e raízes promovendo condições semelhantes às do ambiente natural. Ácidos orgânicos, especialmente o ácido cítrico, são comumente liberados pelas raízes das plantas e permanece em concentração elevada na rizosfera (Song e Huang, 1988). Estes tipos de ácidos possuem uma alta capacidade de interagir com metais para formar complexos metal-orgânicos na solução do solo, levando à liberação de nutrientes ao solo (MARTIN; SPARKS, 1983; MELO et al., 1995).

A extração com ácido cítrico foi realizada da seguinte forma: 1.0g de amostra foi transferida para um frasco de Erlenmeyer de 250 mL e 100 mL de solução de ácido cítrico diluído a 2% foi adicionado. A solução foi agitada durante 30 minutos, a cerca de 30-40 oscilações por minuto. Após este tempo, as amostras foram filtradas em vácuo com um filtro de membrana de 0,45 mm e acrescentado 2 gotas de HNO_3 para preservá-las e, em seguida, enviadas para o Centro Analítico da Embrapa Clima Temperado para a análise do cálcio, cobre, ferro, magnésio, manganês, potássio e zinco.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o que os outros autores defendem, pode-se concluir que existe um acervo de informações muito vasto sobre a técnica de rochagem e sua caracterização.

A aplicação do pó de rocha mostrou-se uma técnica promissora para o setor agrícola, sendo eficaz na reposição de macro e micronutrientes em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação ou pelo uso inadequado e intensivo pela agricultura. O pó de rocha é o principal resíduo dos processos de britagem e corte de rochas na exploração mineral. Logo, existe uma demanda da maioria das propriedades agrícolas no país, fazendo assim, com que o resíduo possa se transformar agora em produto e tenha uma disposição ambientalmente correta.

A rochagem tem um conceito agroecológico, pois põe em prática a substituição dos fertilizantes químicos industriais convencionais que são poluidores, além de ser uma técnica de baixo custo. Quantidades de 1 ton/ha/ano foi suficiente para apresentar bons resultados no rejuvenescimento do solo sem afetar o equilíbrio químico natural.

A rocha basáltica está entre as rochas mais estudadas, por terem a maior possibilidade de fornecimento de nutrientes ao solo, especialmente fósforo, cálcio, magnésio e micronutrientes, com um teor de sílica baixo. O potencial de uso de rochas basálticas como fertilizantes naturais provém das alterações que este mineral primário de origem magmática pode sofrer, quando aplicado ao solo, à ação de intemperismo químico, gerando nutrientes. Essas rochas máficas (menores concentrações de sílica), também conhecidas como ferromagnesianas apresentam potencialidades no fornecimento de alguns nutrientes e o basalto dentre as rochas ferromagnesianas, é o mais abundante. Os basaltos mais jovens das regiões sul, sudeste e centro-oeste responderam melhor aos testes quanto ao teor nutricional, pois a quantidade de sílica é mínima. A sílica diminui a fixação dos nutrientes como o fósforo.

A rochagem é uma técnica naturalmente sustentável, alternativa ou complementar de fertilização, mais indicada para pequenas propriedades como na agricultura familiar ou de subsistência.

Segundo os autores, as rochas (pó de rocha) liberam seus nutrientes através de reações de climatização. A decomposição das rochas para a liberação dos nutrientes ocorre por reações de dissolução, hidratação, ataque com ácidos, oxidação e complexação.

Para que ocorra a decomposição é necessário oxigênio, água, enxofre e ferro, gás carbônico. O intemperismo químico é controlado pela água, que vai atuar como solvente ou agente transportador.

No intemperismo químico ocorrem os seguintes processos, nos quais a rocha libera seus nutrientes: Hidratação através da adsorção de moléculas de água à superfície dos minerais; A hidrólise, onde ocorre o rompimento das ligações dos íons metálicos, desintegrando a estrutura cristalina e liberando os nutrientes; A oxidação com a formação de óxidos que elevarão a acidez e conseqüentemente a decomposição da rocha; A complexação dos minerais de rocha, quando os ácidos húmicos ou fúlvicos se ligam aos íons metálicos, solubilizando esses íons. Os ácidos húmicos aumentam a acidez da água.

As rochas liberam seus nutrientes através de reações de climatização. A decomposição das rochas para a liberação dos nutrientes, ocorre por meio das reações de dissolução, hidratação, ataque com ácidos, oxidação e complexação.

Para que ocorra a decomposição é necessário oxigênio, enxofre, ferro, gás carbônico e água. O intemperismo químico é controlado pela água, que vai atuar como solvente ou agente transportador. No intemperismo ocorrem os seguintes processos, nos quais a rocha libera seus nutrientes:

- A hidratação através da adsorção de moléculas de água à superfície dos minerais;
- A hidrólise onde ocorre o rompimento das ligações dos íons metálicos, desintegrando a estrutura cristalina e liberando os nutrientes;
- A oxidação com a formação de óxidos que elevarão a acidez, e conseqüentemente a de composição da rocha;
- A complexação dos minerais de rocha, quando os ácidos húmicos /fúlvicos se ligam aos íons metálicos, solubilizando esses íons. Os ácidos húmicos aumentam a acidez da água;

Na caracterização das partículas de basalto vários fatores são avaliados especificações devem se analisadas:

- Umidade: Valores elevados de água podem levar ao intemperismo, acelerando a perda de nutrientes na rochagem;
- Massa específica: Relaciona-se com a compactação. Quanto menor for a massa específica da rocha, melhor será o crescimento da estrutura radicular das plantas;

- Granulometria: Quanto mais finas as partículas de basalto, maior será a dificuldade de infiltração da água;
- Área superficial: Quanto maior a área superficial das partículas de rocha, maior será a capacidade de troca iônica (CTC), pois o contato com o meio torna-se maior;
- Composição química e mineralógica: Para a identificação e quantificação dos minerais que atuaram como nutrientes através de técnicas como difração de raios-X, fluorescência de raios-X e espectroscopia de massa;
- CTC (Capacidade de Troca Catiônica): Corresponde à soma das cargas negativas que retém os cátions. Aumentando a CTC, facilita-se a recomposição dos nutrientes. A rochagem aumenta a capacidade de trocas catiônicas consideravelmente;
- Potencial Zeta: Gerado pela carga superficial das partículas permite saber para quais valores de pH o processo de adsorção em meio aquoso é mais efetivo;
- Disponibilidade de íons nutrientes e modificadores de pH: Estudos mostraram que a liberação de nutrientes provocou a elevação do pH do solo, aumentando a atividade microbológica e diminuindo as perdas de potássio pela lixiviação, devido à criação de cargas negativas;

O efeito gerado pela rochagem pode se estender de 4 a 5 anos consecutivos, por conta da dissolução lenta dos nutrientes.

Experimentos feitos com culturas de ciclo longo, como a cana-de-açúcar e a mandioca apresentaram resultados mais satisfatórios.

O pó de rocha basáltica apresenta algumas vantagens como a baixa solubilidade, permitindo uma recomposição nutricional mais constante por um longo período de tempo, não necessitando de adubação frequente, devido ao efeito residual prolongado e reduzindo a dependência de fertilizantes industrializados; reequilibra e eleva o Ph; Aumenta a capacidade de troca catiônica; Combate a salinização do solo, evitando com que a planta absorva o potássio e o nitrogênio, ao contrário do que acontece com a utilização de adubos solúveis; Diminui a fixação do fósforo solúvel, pela baixa presença de sílica, óxido de ferro e alumínio; Promove o crescimento da atividade de micro-organismos e de minhocas, aumentando a reserva nutricional e tornando as folhas mais exuberantes; Aumenta a umidade do solo e os níveis de cálcio, magnésio e potássio em solos ácidos.

Observando os dados dos estudos de caracterização química e mineralógica das rochas basálticas no distrito mineral de Nova Prata- RS feitos por Theodoro, Leonardos e Almeida em 2010, pode-se constatar:

- No histograma da figura 7, vemos que o tamanho de partícula pode influenciar a área da superfície, a exposição de minerais, e, portanto, a liberação de nutrientes;

- No gráfico da figura 8 sobre as curvas de distribuição granulométrica, pode-se observar que apenas a amostra Z1, está sem fração de argila, e tem um comportamento diferente, e as outras amostras mostram comportamento semelhante. A formação de frações de argila está relacionada com o aumento da CTC. Quanto maior a CTC, maior a fração de argilas, aumentando conseqüentemente, a distribuição de nutrientes;

- Na análise mineralógica pode-se observar a presença dominante da labradorita em todas as amostras e com isto determinar a afinidade química cálcica das rochas estudadas. Além disso, determinada dosagem de potássio na amostra C1, pode ser devido à concentração relativamente elevada de feldspato alcalino. A baixa quantidade de quartzo na amostra B1 em relação as outras amostras, provavelmente, está relacionada com a segregação dos grãos minerais mais grosseiros durante o processo de beneficiamento, limitando sua ocorrência em resíduos <0,6mm. O gesso encontrado na amostra C1 pode ser contaminação da usina de concreto localizada próximo ao ponto de coleta. Caulinita e esmectita são derivados de argila minerais comuns de alteração dos plagioclásios;

- Na análise da disponibilidade de nutrientes Pode-se observar que mesmo que as amostras apresentem altos níveis de óxido de alumínio, como detectado no estudo FRX, o mesmo não é liberado para o meio aquoso, como mostra a Tabela 7. Este elemento é tóxico para as plantas e pode causar a redução do seu crescimento. Já os elementos fósforo, cálcio e zinco apresentaram valores disponíveis de concentrações considerados altos para os solos, de acordo com estudos de Malavolta em 2006. O potássio é considerado "alto" apenas para a amostra B1, em compensação o magnésio e boro apresentaram valores médios;

- Os resultados positivos obtidos foram o pH elevado das amostras (entre 6,7 e 8,6) como pode-se observar na Tabela 8, o que não agrava a condição normal da acidez do solo da área de estudo, e a ausência de alumínio (Al^{3+}), pois o elemento nesta forma é tóxico e dificulta a troca catiônica

de minerais de argila. Apesar dos valores nutricionais serem significativos nas amostras, os valores de CTC são baixos, inclusive na amostra NP2, que possui alto teor de argila (51%) e 11,6 cmol_c/dm³ de CTC. Ao contrário de solos argilosos, que têm cargas negativas da superfície, as amostras possuem minerais primários com baixa carga negativa na superfície. Os valores de CTC encontrados nas amostras de pó de rocha são devidos à presença de caulinita e esmectita conforme listado na Tabela 3.

- Na tabela 9: Através da extração, obtiveram-se resultados que mostraram um teor de potássio disponível menor do que os extraídos no processo de análise do solo, que utilizou ácidos fortes tais como HCl e H₂SO₄. Os melhores resultados na extração de fósforo foram das amostras NP2 e B1. Como já era suposto os testes com ácido cítrico diluído a 2%, não coincidem com os resultados obtidos nas análises agronômicas clássicas, segundo a teoria de Theodoro, Leonardos e Almeida em 2010. As extrações com solução de ácido cítrico a 2% de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ apresentaram uma redução de 10 - 1000 em comparação à extração por análises agronômicas, enquanto que para o Cu e Zn, os resultados foram semelhantes em ambas às extrações.

Com base nestas técnicas de análises foi possível identificar as seguintes características nas amostras:

- A presença de cálcio e magnésio, tal como carbonatos;
- Alta alcalinidade;
- Boa disponibilidade de fósforo;
- Média disponibilidade de potássio;
- Presença de micronutrientes tais como zinco, boro, cobre, ferro, e manganês.

Portanto os dados indicaram a presença de um potencial que poderá proporcionar nutrientes para o solo, confirmando os resultados de outros estudos baseados na técnica de Rochagem.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um estudo que explique as desvantagens da técnica de rochagem em culturas de curto prazo e de larga produção e buscar soluções, através do uso do pó de rocha como um complemento nutricional na adubação;
- Desenvolvimento de produtos à base de remineralizadores de solo;
- Normatização para o uso de remineralizadores;
- Desenvolvimento de novos remineralizadores regionalmente;
- Avançar em pesquisas relacionadas com a biomineralização. A biomineralização é a técnica de colocar diversos minerais que são ricos em nutrientes em contato com organismos como fungos e bactérias, que atuam na transformação desses minerais brutos em alimentos para as plantas. É feita uma mistura do pó de rocha com microorganismos, sendo uma técnica inovadora de fertilização e proteção contra pragas, pois fortifica a planta, além de ser totalmente livre de produtos agrotóxicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA. **Associação Nacional para Difusão de Adubos**. 2012. Disponível em: <http://www.anda.org.br>. Acesso em: 10 fev 2018.

ALBERS, A. P. F.; MELCHIADES, F. G.; MACHADO, R.; BALDO, J. B.; BOSCHI, A. O. **A simple method for the characterization of clay minerals by X-ray diffraction**, Universidade do Vale do Paraíba, UNIVAP, 2002.

ALLEONI, L. R. F.; MELO V. F. **Química e Mineralogia do Solo**. SBCS, Viçosa, 2009.

ALMEIDA, F. F. M. Síntese sobre a Tectônica da Bacia do Paraná. In: Simpósio Regional de Geologia. **Atas...**, São Paulo, SBG, 1981.

ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, K. A. de; MAFRA, A. L. Saprólito de basalto com zeólitas como fonte de nutrientes as plantas. In: Reunião de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 26., Lages, 2004. **Resumos...** Lages: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1 CD (Resumos/FSNP), 2004.

AMPARO, A. Farinha de rocha e biomassa. **Agroecologia Hoje**. Botucatu, n. 20, p.10-12, ago./set. 2003.

ANDREOLI, C.V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 278 p. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6457/86: amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.

BARBOSA, F.L.M.; GURMENDI, A.C. **Economia mineral do Brasil**. Brasília: DNPM. 278 p., 2002.

BARRETO, S. B. **A farinha de rochas MB-4 e o solo**. 1998. Disponível em: www.mibasa.com.br.x. Acesso em 5 fev 2018.

BERGMANN, M.; HOFF, R.; THEODORO, S. H. Rochagem: Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no Distrito Mineiro de Ametista do Sul (DMAS), RS. In: **I Congresso Brasileiro de Rochagem**, 2009, Planaltina: Anais..., EMBRAPA, 2011.

BLUM, W.E.H.; HERBINGER, B.; MENTLER, A.; OTTNER, F.; POLLAK, M.; UNGER, E.; WENZEL, W.W. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. In: **Chemisch-mineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Duengemittel**. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 152: 421-425, 1989.

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

- BONATO, C. M.; RUBIN FILHO, C. J.; MELGES, E.; SANTOS, V. D. Nutrição mineral de plantas. Material Didático. Engenharia Agrônômica. Universidade de Maringá. Maringá, Paraná, 103 p. 1998.
- BONNET, B. R. P.; ANDREOLI, C. V.; QUEIROZ, S. M. P.; FERNANDES, F. Reciclagem agrícola do lodo de esgotos: impactos ambientais potenciais e monitoramento no Estado do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente, 4, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Clube de Engenharia / UFRJ, v. 1. p. 63-72. 1995.
- 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.
- CHICOTA, R. **Avaliação no campo de um TDR segmento para determinação da umidade do solo.** Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 100 p. 2003.
- CONCEIÇÃO, J. C. J.; ZALAN, P. V.; WOLF, S. Mecanismo, evolução e cronologia do rift Sul-Atlântico. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, vol. 2, 1988.
- CORDANI, U. G.; NEVES, B. B. B.; FUCK, R. A.; PORTO, R.; THOMAZ FILHO, A.; CUNHA, F. M. B. Estudo Preliminar de integração do pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. **Ciências e Técnica do Petróleo**, Petrobrás/Cenpes/Sintep, Seção Exploração do Petróleo, Rio de Janeiro, n. 15, 1984.
- DEKKER, M. **Powder technology handbook.** 2nd ed. Edited by Keishi Goton, Hiroaki Masuda and Ko Higashitani, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1., 2009, Brasília. **Anais...**Brasília: Congresso Brasileiro de Rochagem, 2009, 1 v.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLANT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.1, p.11-20, 1998.
- FYFE, W.S. et al. Global tectonics agriculture: a geochemical perspective. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.9, n.4, p.383–399, 1983.
- GARDNER, W. H. Water content. In: KLUTE, A. (Ed). **Methods of soil analysis I: Physical and mineralogical methods.** Madison: Soil Science Society of America, cap. 21, p. 493-544, 1986.
- GILLMAN, G.P., BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects ion soil cation chemistry. **Australian Journal of Soil Research**, Montpellier, v.39, p. 799-811, 2001.
- 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.

- HARLEY, A. D.; GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. In: **Agroecosystems - Formerly Fertilizer Research**. No 56, p.: 11- 36, 2000.
- HUNTER, R. J. **Zeta potencial in colloid science: principles and applications**. London: Academic Press, 1981.
- INOCENCIO, M. F.; NOVELINO, J. O.; PAIM, L. R.; GUTIERREZ, R. S. Efeito da aplicação de basalto triturado nas características químicas de amostras de solo do estado de mato grosso do sul. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.4, p.145- 151, out.-dez. 2009.
- KÄMPF, N.; STRECK, E. V.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: EMATER/RS/UFRGS, 2002.
- KÄMPF, N. CURI, N., MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. **Química e Mineralogia do Solo**. SBCS, Viçosa, 2009.
- KAUTZMANN, R. M., TOSCAN, L., SABEDOT, S. O rejeito da mineração de basalto no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul: diagnóstico do problema. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 4, p.657-662, 2007.
- KHATOUNAIN, C. A., **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 348 p. 2001.
- KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**: maturação e qualidade do composto. 3. ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 171p. 2002.
- KNAPIK, J. G. Utilização do pó de basalto como alternativa a adubação convencional na produção de mudas de Mimosa scabrella e prumus sellowii. 2005. 163p. (Dissertação de mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; RIBEIRO, R.C.C. Fertilização Natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto: breve síntese conceitual. **Fertilizantes agroindustriais e sustentabilidade**. CETEM: Rio de Janeiro, 2009.
- LIMA, R. M. F.; QUIRINO, L. Efeito da adsorção de amina no potencial zeta da hematita e do quartzo. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 56(1): 45-49, jan. mar. 2003.
- LINHARES, S; GEWANDSZNAJDER, F. **Biologia**. 1ª ed. São Paulo. Editora Ática, v. único, 2008.
- LOUREIRO, F.E. L; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.
- LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo, teoria e prática**. 2ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182 p.

- 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.
- MADUREIRA FILHO, J.B.; ATENCIO, D.; McREATH, I. Minerais e rochas: Constituintes da Terra sólida. In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. São Paulo, Oficina de Textos, p.27-42. 2003.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: CERES, 631p. 2006.
- MARTIN, H.W. SPARKS, D.L. **Kinetics of nonexchangeable potassium release from two Costal Plain soils**. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:885-887, 1983.
- 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.
- MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. FONTES, M.P.F. **Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto**. R. Bras. Ci. Solo, 19:165-171, 1995.
- 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.
- NICHELE, E. R. **Utilização de pó de rochas no desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*)**. Dissertação de mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual do Estado de Santa Catarina - UDESC, Lages, 65p. 2006.
- NOVELINO, J.O. et al. Características químicas de dois latossolos de Dourados-MS, submetidos a aplicação de po de basalto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 25, **Anais...** Vicosa-MG, 1995.
- OSTERROHT, M. V. 2003. Rochagem Para Quê? **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, nº 20, p. 12-15. Ago/set 2003.
- PEDREIRA SARGON. Produtos. Disponível em: <http://www.pedreirasargon.com.br/produtos.htm>. Acesso: 20 dez 2017.
- PRESS, F. et al. **Para entender a Terra**. 4a ed. Tradução de MENEGAT, R. et al. Porto Alegre: Bookman, 656p. 2006.
- QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, v. 1, 111 p. 2000.
- SILVA, E.A. da et al. Efeitos da Rochagem e de Resíduos Orgânicos sobre Aspectos Químicos e Microbiológicos de um Subsolo Exposto e sobre o Crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p.323–333, 2008.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, Porto Alegre, Bookman, 628 p. 2002.

SONG, S.K. HUANG, P.M. Dynamics of potassium release from potassiumbearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. **Soil Science Society of America Journal**, n. 52, p. 383-390. 1988.

STRAATEN, P. V. Rocks for crops: **Agrominerals of Sub-Saharan Africa**. ICRAF, Nairobi, Kenya, 338 p. 2002.

STRAATEN, P. V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Brasilia, p. 732 747, 2006.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E.; Technological Characterization of Serpentine rock from Andorinha (Bahia/Brazil). **The Minerals, Metals & Materials Society – Extraction & Processing**, 1, 293 p. 2010.

THEODORO, S.C.H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. 2000. 225 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

THEODORO, S.H. LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Brasilia, v.78, p. 721-730, 2006.

THEODORO, V. C. de A.; ALVARENGA, M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; MOURÃO JUNIOR, M. Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 147-153. 2003.

THEODORO S.H.; LEONARDOS, O.H.; FONSECA, R. Rochagem: uma construção do link entre a mineração e a agricultura. **Congresso Brasileiro de Geologia**, Pará, 2010.

THEODORO, S.H. **Cartilha de Rochagem**. Brasília: Editora Ideal, 2011.

THEODORO, S. H. LEONARDOS, O. Rochagem: uma questão de soberania nacional. In: **XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica**. Gramado, RS, 2011.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; DE ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos; In: I Congresso Brasileiro de Rochagem, 2009, Planaltina: **Anais...** EMBRAPA, 2010.

TOLEDO, P. P.; BERTOLINO, L. C.; SILVA, A. A. S.; SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B. Verdete da região de cedro de Abaeté (mg) como fonte alternativa para potássio, **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 345-356, UNESP, São Paulo, 2011.

VAN STRAATEN, P., 2006. Farming with Rocks and Minerals: Challenges and Opportunities. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 78., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro, 2006.

VEIGA, M. A. M. S. **Determinação de Elementos Traços por AAS e ICP-MSn Após Extração no Ponto Nuvem, Usando Dietil-Ditiofosfato Como Agente Quelante**, Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2000.

von FRAGSTEIN, P.; PERTL, W. & VOGTMANN, H. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 151, p. 141-146, 1988.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Aprenda Fácil, Viçosa, 166 p. 2002.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Tectônica e Sedimentação da Bacia do Paraná. In: Simpósio Sul Brasileiro de Geologia. **Atas...** vol. 1, Curitiba: SBG, 1987.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. In: RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (eds): **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**, PETROBRÁS/SEREC/CEN-SUD, Rio de Janeiro, 1990.

