

POTENCIAL PARA ROCHAGEM DOS BASALTOS DA SUÍTE PARAPUÍ, NOROESTE DO CEARÁ

José Marcelo Silva da Luz Junior

Rosemery da Silva Nascimento

RESUMO

O Brasil é reconhecido por conter as maiores reservas minerais de elementos metálicos do mundo tais como: Ferro, Cobre e Manganês. Aliado a este aspecto, existem bacias petrolíferas por toda sua margem continental cuja capacidade poderia torná-lo autossuficiente em ambos recursos por décadas. No entanto, tais recursos geralmente são direcionados para o setor industrial para fins de manufatura, desde a indústria têxtil por meio dos minerais industriais até empresas de tecnologia que utilizam Elementos Terras Raras (ETR) para compor seus componentes eletrônicos. Em vista deste cenário o setor agrícola, cuja a importância é tão elevada quanto a Indústria e de base para a economia brasileira não faz uso extensivo dos bens minerais cujo o subsolo brasileiro pode oferecer. Atualmente, o Brasil importa 75% dos insumos agrícolas que são utilizados como fertilizantes pela agricultura, que em geral são constituídos por compostos ricos em Nitrogênio, Fósforo e principalmente Potássio, reconhecidos como: NPK. O país deve buscar outros mecanismos para reduzir essa dependência, com base em sua geodiversidade, rica em diversos nutrientes, principalmente fósforo, potássio, cálcio e outra série de outros micronutrientes, em todas as regiões do país. Uma rocha ou remineralização é uma nova rota tecnológica que utiliza diferentes tipos de pedras moídas para remineralização e fertilização do solo. Entre suas vantagens sobre os fertilizantes químicos estão destacadas ou baixas. O escopo deste trabalho é avaliar o potencial das rochas vulcânicas que compõem a suíte Parapuí, localizada no noroeste do Ceará.

Palavras-Chave: Remineralização, Rochas Vulcânicas, Suíte Parapuí

ABSTRACT

Brazil is recognized worldwide for containing the largest mineral reserves of metallic elements of the world, such as: iron, copper and manganese. In addition to this aspect, there are oil basins throughout its continentals' margin, which can be used in both resources for decades. However, these resources are generally directed to the industrial sector for the purpose of manufacturing, from an automobile industry to technology companies. Within this scenario the agricultural sector, whose importance is as high as industry and is the basis for the Brazilian economy, does not make extensive use of mineral goods that the Brazilian subsoil can offer. Currently, Brazil imports 75% of agricultural products that are used as fertilizers by agriculture, which are composed of compounds rich in nitrogen, phosphorus and mainly potassium, recognized as: NPK. The country should seek other mechanisms to reduce this dependence, based on its geodiversity, with rich in several nutrients, especially phosphorus, potassium, and calcium and another series of other micronutrients, in all regions of the country. A rock or remineralization is a new technological route that uses different types of ground stones for remineralization and soil fertilization. Among its advantages over chemical fertilizers included, highlighted or low. The scope of this work is to evaluate the potential of volcanic rocks that make up the Parapuí suite, located in northwestern Ceará.

Keywords: Remineralization, Vulcanic rocks, Parapuí Suite.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil importa grande parte da sua demanda por fertilizantes e enfrenta os impactos ambientais causados pela aplicação continuada de produtos à base de NPK. O País deverá buscar outros mecanismos para diminuir esta dependência, a partir da sua geodiversidade, com rochas ricas em diversos nutrientes, em especial o fósforo, o potássio, o cálcio e o magnésio e uma série de outros micronutrientes, em todas as regiões do País. A rochagem ou remineralização é uma nova rota tecnológica que emprega diferentes tipos de rochas moídas para remineralização e fertilização de solos. Entre suas vantagens em relação aos fertilizantes químicos convencionais, destacamos o baixo custo. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) vem realizando o levantamento dos principais minerais estratégicos para aplicação direta no agronegócio.

Dentro deste contexto, as rochas vulcânicas básicas se destacam na remineralização pelo quimismo e mineralogia. Desta forma este estudo se propõe avaliar o potencial para remineralização de solos da Suíte Magmática Parapuí, na região noroeste do Ceará. A Suíte Parapuí é uma unidade já estudada em termos de quimismo, mineralogia e caracterização magmática. De acordo com Nascimento & Gorayeb (2004), a suíte constitui uma unidade vulcânica, de idade Neoproterozóica, intercalada entre as rochas sedimentares da Formação Pacujá, as quais pertencem ao Grupo Jaibaras. A suíte compreende três grupos de rochas incluindo basaltos (basaltos, traquibasaltos e magnetita-ilmenitas basaltos), riolitos e rochas vulcanoclásticas que ocorrem intercaladas aos arenitos arcoseanos do Grupo Jaibaras. Todo o conjunto de rochas encontra-se afetado por metamorfismo de baixo grau. A continuidade desses derrames para as áreas adjacentes foi amplamente erodida, contudo, seus registros estão guardados nos depósitos sedimentares da Formação Aprazível, que cobrem, em discordância erosiva, todo o conjunto de rochas mais antigas. Nos conglomerados da Formação Aprazível estão presentes grandes quantidades de matacões e seixos dos vários tipos de rochas vulcânicas da Suíte Parapuí, demonstrando a amplitude desse vulcanismo do final do Proterozóico (Nascimento, 2005). Assim, este trabalho visa fundamentalmente, realizar um refinado levantamento bibliográfico sobre o histórico da rochagem e remineralização dos solos no Brasil, usando como exemplo a Suíte Vulcânicas Parapuí que ocorre no noroeste do Ceará, tema de pesquisas petrográficas, mineralógicas e geoquímicas realizadas pelo curso de geologia da UFPA, estes estudos relatam amígdalas que ocorrem nos basaltos com ocorrência de zeólita, e como os minerais do grupo das zeólita pela sua composição química são minerais importantes na remineralização de solos, poderemos avaliar o potencial do pó destas rochas para atuarem como remineralizadores.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os fertilizantes desempenham papel fundamental na economia nacional. O Brasil é um importante produtor de grãos no cenário mundial, daí justifica o avançar no conhecimento de rochas que ocorrem no território nacional com potencial para rochagem ou remineralização, como é o caso da Suíte Parapuí no noroeste do Ceará (Fig. 1).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Este trabalho revisa e refina o conhecimento e histórico da rochagem ou remineralização dos solos em território nacional, em especial em basaltos amigdaloidais que constituem a porção noroeste da Suíte Parapuí.

1.2.2. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos estão a análise o processo de formação das estruturas amigdaloidais e então, a partir destes dados, avaliar o potencial remineralizador destas rochas, comparando os resultados obtidos com os estudos já realizado por Theodoro & Leonardos (2011), Leonardos *et al.* (1976, 1999) e Almeida *et al.* (2006) em rochas magmáticas básicas de natureza semelhante aos basaltos da Suíte Parapuí e que demonstraram propensão a remineralização para o manejo de solos. Estudos de avaliação de materiais geológicos aplicados à rochagem são raros e necessitam de análises aprofundadas que assegurem a viabilidade destes recursos como substituto para os insumos agrícolas já estabelecidos no mercado.

1.3 ÁREA DE LOCALIZAÇÃO

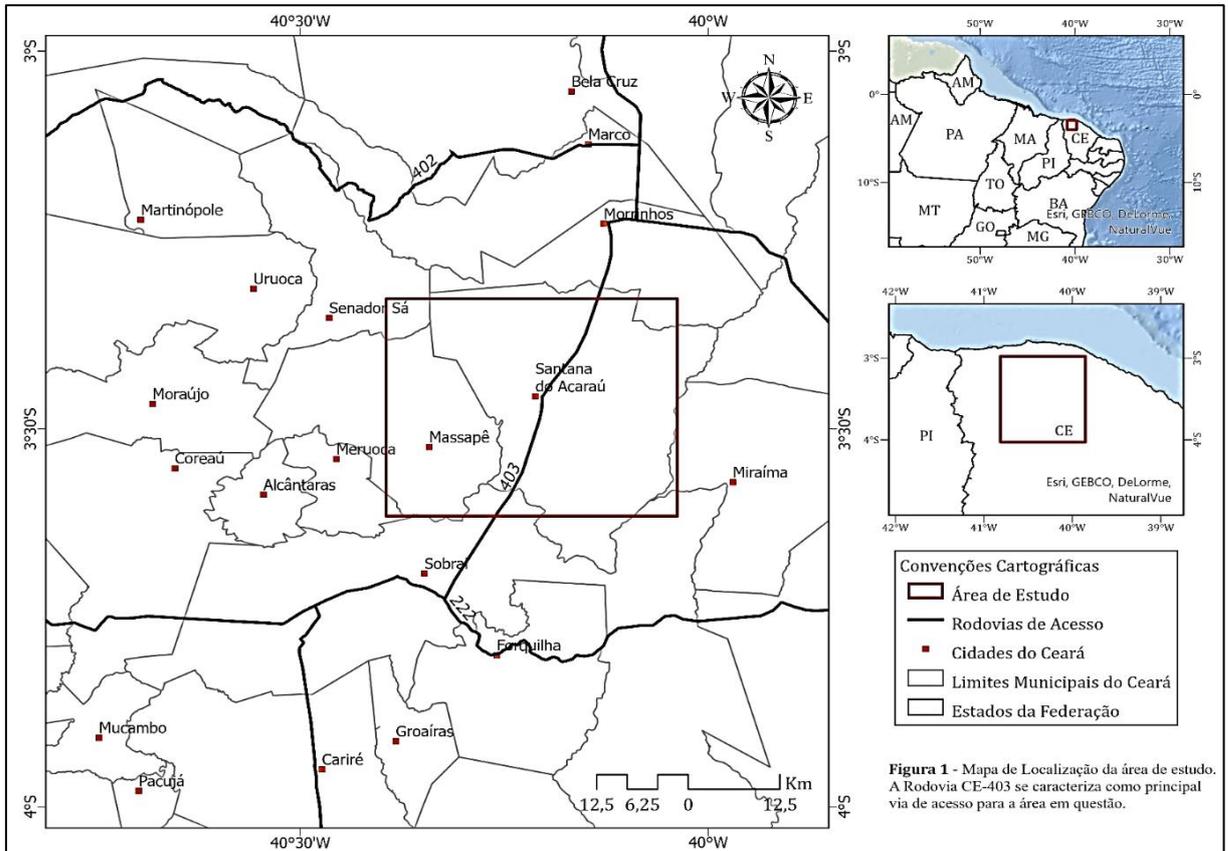


Figura 1: Mapa de localização da Suíte Vulcânica Parapuí no NW do Ceará. O principal acesso é pela rodovia CE – 403.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

3.1 BACIA JAIBARAS

A Bacia Jaibaras é uma unidade geológica de idade Neoproterozoica a Paleozoica Inferior, localizada na região noroeste do estado do Ceará (Fig. 02). É uma bacia do tipo rifte (Parente *et al.*, 2004), alongada em direção a NE-SW, com dimensões de 20 x 120 km e delimitada pelas zonas de cisalhamento Café-Ipueiras, Massapê e pelo Lineamento Transbrasiliano (zona de cisalhamento Sobral-Pedro II), ambos com orientação NE-SW. Geologicamente está inserida dentro do Domínio Médio Coreaú, o qual é separado, à sudeste, do Domínio Ceará Central pelo Lineamento Transbrasiliano (Garcia *et al.*, 2018).

A gênese da Bacia Jaibaras está ligada a uma inversão da tectônica predominantemente transpressiva para uma tectônica transtensiva, no final do Ciclo Brasileiro (entre 550 Ma e 540 Ma), com reativações de zonas de cisalhamento e falhamentos em porções com grandes anisotropias criadas durante os estágios iniciais do ciclo (Oliveira & Mohriak, 2003; Pedrosa Jr *et al.*, 2014; Cerri *et al.*, 2020). Esta bacia é correlacionada também a um sistema de bacias continentais do tipo rifte, de orientação NE-SW, desenvolvidos sobre rochas paleoproterozoicas a neoproterozoicas dos Domínios Médio Coreaú e Ceará Central e relacionados ao Lineamento Transbrasiliano (Oliveira & Mohriak, 2003; Cerri *et al.*, 2020).

O preenchimento da bacia é dado por rochas vulcanossedimentares do Grupo Jaibaras, o qual é dividido em duas sequências, Alfa Inferior e Superior, separadas entre si por uma superfície de erosão intrabacinal (Parente *et al.*, 2004). A **Sequência Alfa Inferior** apresenta idade Neoproterozoica Superior a Cambriana e é constituída pelas Formações Massapê e Pacujá (Parente *et al.*, 2004). A Formação Massapê repousa sobre as rochas do Grupo Ubajara (Fm. Frecheirinha), separados por uma discordância erosiva, e é composta por uma sequência de ortoconglomerados polimíticos, intercalados com arenitos finos e siltitos de coloração arroxeada, depositado em um sistema de leques aluviais (Gorayeb *et al.*, 1988. Oliveira & Mohriak, 2003). Logo acima, em contato gradacional, está a Formação Pacujá, o qual é constituída por arenitos arcoseanos, grauvacas, siltito e folhelhos depositados em um sistema fluvial gradando lateralmente para deltas em ambiente lacustre restrito e associado a rifte (Gorayeb *et al.*, 1988. Oliveira & Mohriak, 2003). Intercalado a esta unidade ocorrem ainda rochas vulcânicas, como riolitos, basaltos e rochas vulcanoclásticas, da Suíte Parapuú (Nascimento & Gorayeb 2004), o qual serão descritos com detalhe mais à frente.

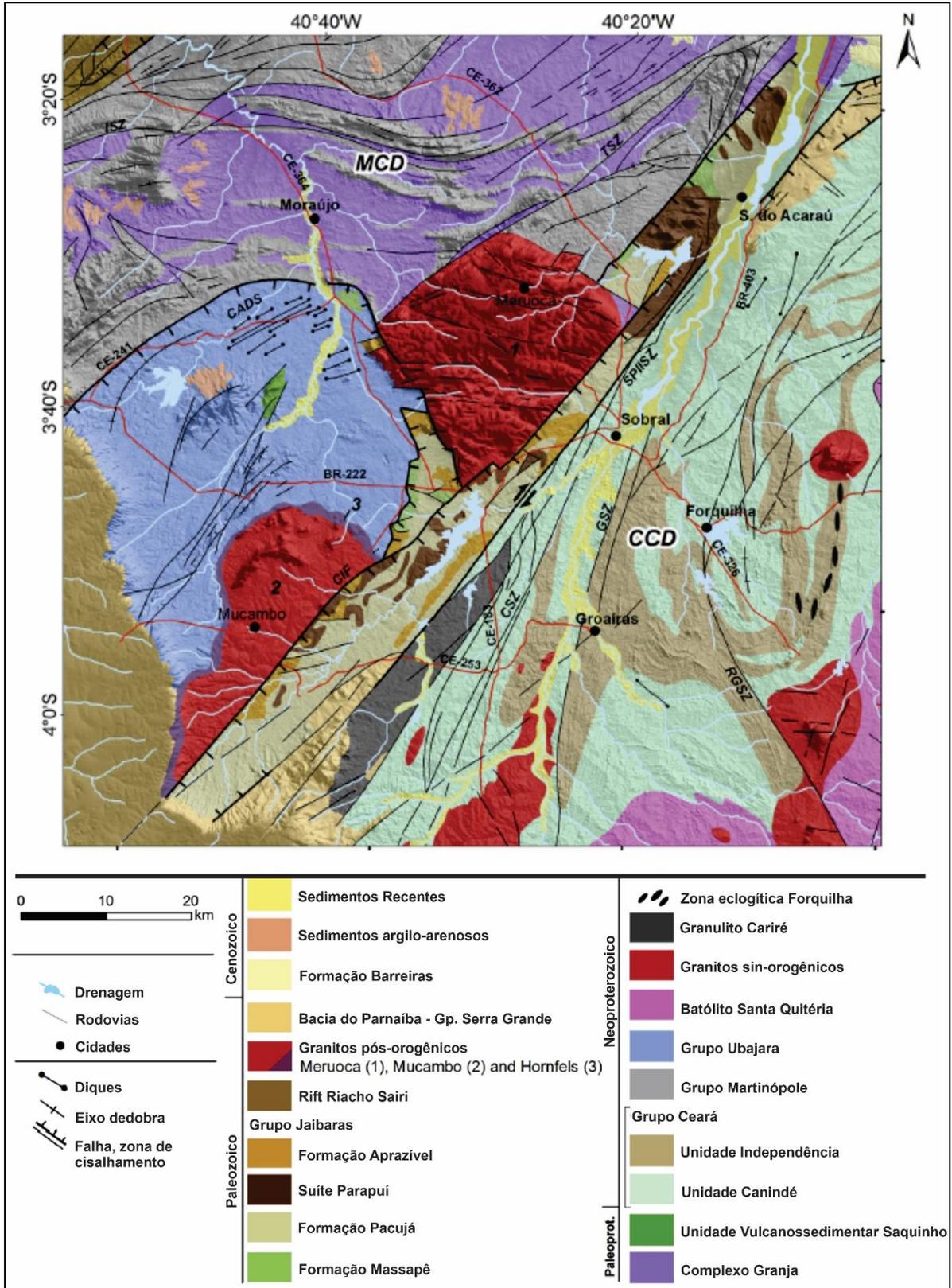


Figura 2: Mapa geológico simplificado da Bacia Jaibaras entre os domínios Médio Coreaú (MCD) e Ceará Central (CCD). Fonte: Modificado de Pedrosa *et al.* (2015).

Ressalta-se também a presença de um magmatismo plutônico intrusivo nas rochas da Sequência Alfa Inferior, alojadas na Zona de Cisalhamento Café-Apueiras, a leste da Bacia Jaibaras e representada pelas suítes Mucambo (532 ± 7 Ma.; Santos *et al.* 2008) e Meruoca (539 - 523 Ma.; Garcia *et al.* 2018), este último com o desenvolvimento local de auréolas de metamorfismo de contato e geração de hornfels (Gorayeb *et al.*, 1988) sobre as rochas da Sequência Alfa Inferior.

A **Sequência Alfa Superior** é constituída pela Formação Aprazível, de idade Cambriana, composta por ortoconglomerados polimíticos, de aspecto brechóide e constituídos por clastos angulares de rochas da Unidade Alfa Inferior, da Suíte Parapuí e do Granito Meruoca (Parente *et al.*, 2004, Gorayeb *et al.*, 1988).

3.2 SUÍTE PARAPUÍ

O primeiro registro sobre a Suíte Parapuí foi realizado por Costa *et al.*, (1973), que classificou as rochas ígneas aflorantes na vila de Parapuí como Formação Parapuí. Esta Formação englobaria uma suíte complexa, composta por membros vulcânicos, subvulcânicos e piroclásticos, descritas como basaltos, andesitos, dacitos e riolitos alterados parcialmente por metassomatismo, além de rochas plutônicas como gabros, dacitos e riolitos porfiríticos (Costa *et al.*, 1973).

Gorayeb *et al.* (1988) e Almeida & Andrade Filho (1999), por sua vez, restringiram a Suíte Parapuí às rochas vulcânicas aflorantes dentro dos limites da Bacia Jaibaras (entre os lineamentos Sobra-Pedro II/Transbrasiliano e Café-Ípueiras) e que ocorrem intercalados e/ou intrudidos nas rochas do Grupo Jaibaras.

Segundo estes autores, a Suíte Parapuí engloba apenas os membros vulcânicos a subvulcânicos, constituídos por rochas basálticas, riolíticas e vulcanoclásticas. Os basaltos predominam por toda a Bacia Jaibaras e são constituídos por derrames basálticos, sucessivos e intercalados, de lava maciça e amigdaloidal (Gorayeb *et al.*, 1988). Na porção central da bacia ocorrem derrames maciços a porfiríticos de riolitos que gradam verticalmente para rochas vulcanoclásticas ácidas, com fragmentos de arenitos e riolitos, envolvidos por uma matriz vulcânica e/ou vulcanoclástica, por vezes cimentada e/ou intercaladas por derrames andesíticos, maciços, amigdaloidais e/ou porfiríticos (Gorayeb *et al.*, 1988).

Este vulcanismo de caráter intracontinental teve início no final do Neoproterozoico e esteve intimamente relacionado a instalação e evolução da Bacia/Gráben Jaibaras, durante a fase rifte em um regime transtensional (Gorayeb *et al.*, 1988; Nascimento & Gorayeb, 2004;

Gorayeb *et al.* 2011). Esse vulcanismo teve caráter efusivo e explosivo, com múltiplos e sucessivos derrames, que geraram camadas intercaladas de rochas extrusivas maciças e amigdaloidais, e geração de depósitos piroclásticos mais restritos, com bombas, lapilis e cinzas vulcânicas (Gorayeb *et al.*, 1988; Almeida & Andrade Filho, 1999; Nascimento & Gorayeb, 2004). Em relação a idade dos derrames, estudos recentes efetuados por Garcia *et al.* (2010), em zircões presentes em riolitos na Suíte Parapuí e intercalados com arenitos da Formação Pacujá, mostram idades de $535,6 \pm 8$ M.a. (método U-Pb). De acordo com Garcia *et al.* (2010) e (2018), essa também é a idade mais provável do início da deposição dos sedimentos Pacujá.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MINERAL E QUÍMICA DA SUÍTE PARAPUÍ

Como já mencionado, a Suíte Parapuí é composta por rochas extrusivas de composição basáltica e/ou riolítica, assim como por depósitos de rochas vulcanoclásticas. Dentre os trabalhos petrográficos, mineralógicos e químicos mais importantes sobre a Suíte Parapuí, destacam-se os estudos de Gorayeb *et al.* (1988), Almeida & Andrade Filho (1999) e Nascimento & Gorayeb (2004), cujos resultados serão sumarizados a seguir.

Para os derrames basálticos, Nascimento & Gorayeb (2004) identificaram 4 grupos de rochas, os quais classificaram como 1) Labradorita/Andesina Basalto; 2) Olivina Basalto; 3) Magnetita/Ilmenita Basalto; e 4) Traquibasalto. Segundo estes autores, a composição mineralógica das rochas basálticas é muito semelhante entrei, variando em relação a porcentagem dos minerais principais e a presença de quantidades significativas de olivina, magnetita/ilmenita e/ou álcali-feldspatos.

Em geral, os basaltos exibem coloração preta a cinza, predominantemente afaníticos e mais subordinadamente porfiríticos, holocristalinos a hipovítreos, com texturas microporfiríticas intergraluar e/ou intersental e composição dominada por plagioclásios, clinopiroxênios (augita e titanoaugita), além de titanita, ilmenita, pirita, apatita, além de olivina e álcali-feldspatos mais restritos (Nascimento & Gorayeb, 2004). Esses basaltos apresentam com frequência estruturas acamadadas e feições indicativas de alteração hidrotermal. Os basaltos amigdaloidais ocorrem intercalados com derrames maciços e suas amígdalas encontram-se preenchidas por clorita, zeólitas, epídoto, quartzo, prehnita e carbonatos, podendo apresentar ou não zoneamento composicional e formas alongadas e orientadas. Em relação a alteração hidrotermal, esta é marcada pela presença de plagioclásios saussuritizados e pela alteração de clinopiroxênios em clorita e tremolita-actinolita. Nascimento & Gorayeb (2004) ressaltam ainda que a presença de epídoto e prehnita nas amígdalas dos basaltos constituem

fortes indicativos de uma exposição dessas rochas a um fraco metamorfismo regional, na fácies xisto verde. Em relação ao riolito, este apresenta uma coloração marrom avermelhada, afaníticos a porfiríticos, com texturas maciça, fluidal, microporfirítica predominantes, além de texturas felsíticas, traquíticas e pertíticas localmente (Almeida & Andrade Filho, 1999). Sua composição é dada por fenocristais de quartzo, plagioclásio e sanidina e uma matriz de quartzo e álcali-feldspato, com cristais aciculares de minerais opacos subordinados (Almeida & Andrade Filho, 1999). Os depósitos vulcanoclásticos são constituídos por bombas e lópillis de basaltos e cinzas vulcânicas misturados com arenitos arcoseanos, ambos envoltos ora por uma matriz vulcânica ou vulcanoclástica ora por uma matriz arenosa (sedimentos inconsolidados) do Grupo Jaibaras (Gorayeb *et al.*, 1988; Almeida & Andrade Filho, 1999; Nascimento & Gorayeb, 2004).

Quanto a composição química dos basaltos, eles foram classificados como basaltos intermediários (série transicional), caracterizados por basaltos das séries toleíticas, alcalinas e traquibasaltos (Fig. 03a), predominantemente subalcalinos, com teores de SiO_2 variando em torno de 46 a 51 % e com teores relativamente elevados de álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$), entre 4 e 7%, de CaO (5 a 8%), de FeO_t (10 a 14%) e de TiO_2 (2 e 4%), além de teores relativamente baixos de P_2O_5 , entre 0,5 e 2% (Nascimento & Gorayeb, 2004). Em relação aos elementos menores e traços, os basaltos da Suíte Parapuí são caracterizados por um enriquecimento em Rb, Sr, Ba e Zr (Fig. 03b), assim como por um enriquecimento em elementos terras raras leves, em relação aos pesados, e com a presença de uma marcante anomalia negativa no európio (Almeida & Andrade Filho, 1999; Nascimento & Gorayeb, 2004).

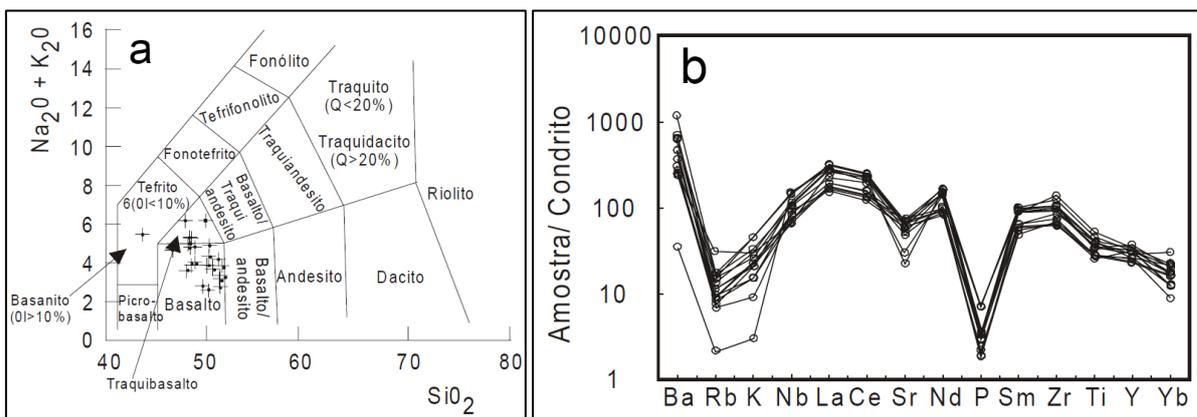


Figura 3: Características químicas dos basaltos da Suíte Parapuí, em relação à (a) classificação química e os teores dos elementos traços normalizados em relação aos valores de condritos. Fonte: Modificado de Nascimento & Gorayeb (2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa consistiu na pesquisa sobre a geologia regional do local de estudo, assim como de conceitos importantes relacionados a remineralização, rochagem, nutrição de plantas e aplicação de rochas máficas e ultramáficas como fertilizantes. Para isso, foram consultadas monografias, dissertações e teses, além de revistas especializadas, por meio do site Science Direct e do portal de periódicos da CAPES.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A IMPORTÂNCIA DA FERTILIZAÇÃO

O bom desenvolvimento de uma plantação é controlado por diversos fatores, sendo o solo um dos mais importantes. No solo estão os principais componentes necessários para a nutrição, crescimento e sustentação das plantas. O solo pode ser dividido em duas partes, em relação aos seus constituintes, inorgânica e orgânica. A porção inorgânica de um solo é constituída por uma parte mineral, uma aquosa e uma gasosa, sendo a parte mineral a fonte primária dos nutrientes disponíveis no solo (Brady & Weil, 2013). Por sua vez, a parte orgânica é composta por matéria orgânica morta e por inúmeros seres vivos, como bactérias, fungos e diversos outros microorganismos, responsáveis pela reciclagem dos nutrientes nesse sistema (Brady & Weil, 2013).

Nesse contexto, os fertilizantes tem a função de complementar os nutrientes presente no solo e que será disponibilizado para as plantas. Em diversas culturas, a demanda nutricional de uma planta ultrapassa a quantidade presente no solo e é necessário realizar a adubação/fertilização para que haja um bom desenvolvimento de cada planta.

Quanto a classificação, esses nutrientes podem ser divididos em macronutrientes, cuja demanda para as plantas é relativamente alta, e micronutrientes, em que a planta necessita de poucas quantidades. Os nutrientes podem ser elementos e/ou compostos químicos diversos, sendo os elementos mais importantes o fósforo, potássio, nitrogênio, magnésio, cálcio, enxofre, cobre, ferro, manganês, níquel, zinco, boro, cloro e molibdênio (Brady & Weil, 2013). Em geral, os macronutrientes principais são o fósforo, o potássio e o nitrogênio, enquanto o cálcio, magnésio e enxofre são tidos como macronutrientes secundários e o cobre, ferro, manganês, níquel, zinco, boro, cloro e molibdênio como micronutrientes (Epstein & Bloom, 2005).

De acordo com Epstein & Bloom (2005), os macronutrientes principais são considerados como fundamentais devido a sua presença nos componentes estruturais e celulares

das plantas. O nitrogênio constitui os aminoácidos que compõem as proteínas das plantas, auxiliando no crescimento e no processo de fotossíntese; o fósforo é um dos principais componentes das células, auxiliando no desenvolvimento das plantas e no processo de frutificação, e, por último, o potássio regula os processos bioquímicos dentro das células e auxilia tanto no crescimento quanto na fotossíntese (Epstein & Bloom, 2005).

Conforme as plantas retiram os nutrientes que precisam do solo elas tornam este cada vez mais empobrecido tornando necessário a reposição dos nutrientes, por meio da fertilização, a cada ciclo de produção (Camargo, 2012). A aplicação de fertilizantes, além de fornecer esses nutrientes essenciais para a planta, pode influenciar na qualidade do solo a partir do desenvolvimento do sistema radicular das plantas, melhorando a agregação, aeração, infiltração e percolação de fluidos no substrato (Camargo, 2012). Diante disso, em países com prática agrícolas a aplicação de fertilizantes se tornou crucial para o aumento da produção. O avanço tecnológico atrelado a evolução dos métodos de cultivo e o aumento da produtividade em áreas cada vez menores proporcionou uma demanda muito grande por fertilizantes, com um aumento expressivo a cada ano. Desses, destacam-se disparadamente os compostos de nitrogênio, fósforo e potássio (conhecidos por NPK).

4.2 O CENÁRIO DOS FERTILIZANTES

A maior parte dos fertilizantes comercializados no mundo são extraídos de rochas, minerais ou compostos inorgânicos e produzidos diversos países como a Rússia, China, Estados Unidos, Canadá, Chile, Marrocos Israel, Catar e etc (Oliveira, 2009; Souza & Fonseca, 2009; ANM, 2021). A produção brasileira de fertilizantes NPK ainda é muito singela e não consegue suprir nem a necessidade interna. Em 2020, essa produção foi de aproximadamente 6,4 milhões de toneladas, o que representou apenas 16% da demanda interna no mesmo ano, onde o restante foi guarnecido pelas importações (Bezzon, 2021).

Em relação a produção por estado, a Bahia, Sergipe e São Paulo dominam a fabricação de compostos de nitrogênio no país. Segundo Malavolta & Moraes (2006), a produção dos compostos nitrogenados é feita a partir de compostos orgânicos, de origem animal e/ou vegetal, ou a partir de compostos inorgânicos, como o gás N_2 presente na atmosfera.

Já a produção de fosfato no país é realizada em grande parte pelos estados da Bahia, Minas Gerais, Tocantins, Alagoas, Sergipe, Goiás, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul (Souza & Fonseca, 2009; ANM, 2021). Os fosfatos são extraídos de rochas fosfáticas, como foscoritos e fosforitos constituídos predominantemente por apatitas, e a partir delas são

produzidos o ácido fosfórico e compostos fosfatados de alta solubilidade, como superfosfatos simples e triplo (Abram *et al.* 2016).

De todos os três, a produção brasileira de potássio é a mais crítica, produzida apenas pelo estado de Sergipe, a partir de depósitos evaporíticos ricos em minerais potássicos, como a Silvita e a Carnalita (Oliveira, 2009; ANM, 2021). É importante ressaltar que mais de 95% do potássio consumido no país é oriundo de importações (ANM, 2021; Brasil, 2021).

4.2.1 A Demanda Mundial de Fertilizantes

A agricultura brasileira apresenta alta dependência da importação de insumos, principalmente de fertilizantes. Segundo dados da ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos - 2005) as importações de fertilizantes em 2015 se aproximaram a 21 milhões de toneladas. No ranking mundial de consumo, o Brasil ocupou o quarto lugar, cuja representação gira em torno de 7,4% de todo fertilizante comercializado globalmente. China (29,2%), Índia (13,5%) e Estados Unidos (11,2%) ocuparam as três primeiras posições, respectivamente. Em consideração aos principais fornecedores de fertilizantes para o Brasil destacam-se: Rússia (25,8%), Estados Unidos (12,2%), Canadá (11,4%) e Marrocos (11,0%). Adicionalmente existe grande concentração de empresas produtoras de matérias-primas fertilizantes e de produtos intermediários no Brasil.

O consumo global de fertilizantes vem crescendo bastante nos últimos 50 anos, proporcionado pelas evoluções tecnológicas junto o aumento da produtividade em áreas cada vez menores (Fig. 4), tendo como motor de impulsão o crescimento acelerado da população mundial e a demanda mais frequente por alimentos. A demanda por macronutrientes, como o NPK, tem se tornado um fator importante para os países com grande produção agrícola, como o Brasil, China, Índia e Estados Unidos, onde estes países centralizaram quase 60% do consumo mundial destes fertilizantes apenas no segundo semestre de 2020 (Globalfert, 2020).

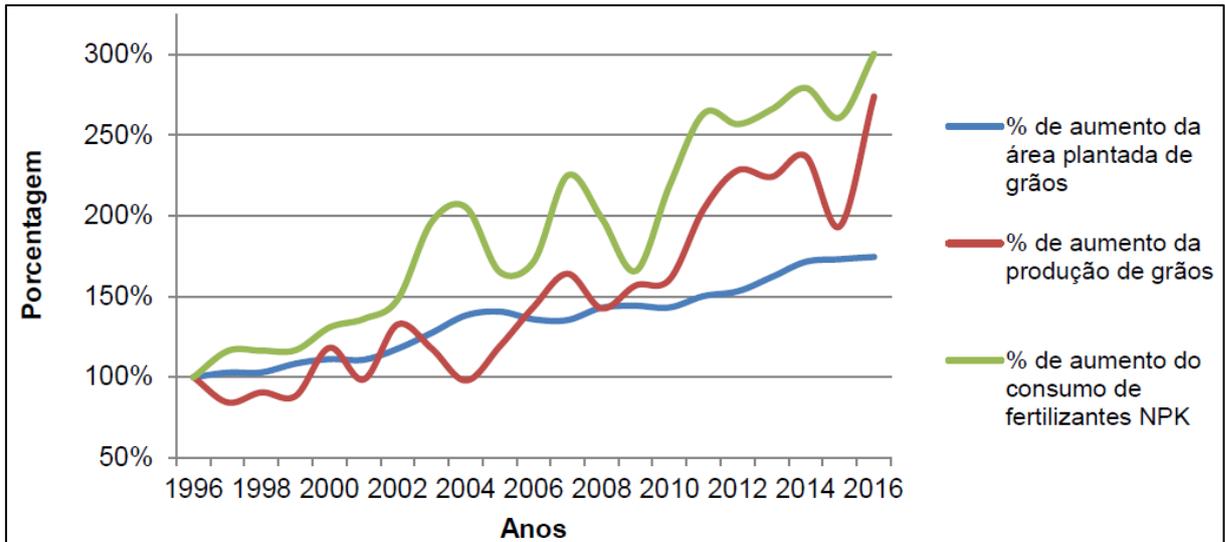


Figura 4: Gráfico de linhas exibindo a relação, ao longo de 20 anos, entre o aumento da utilização de fertilizantes NPK e o incremento na produção de grãos, sem a necessidade do aumento da área para plantação. Fonte: Modificado de Trage (2019).

As projeções feitas pela Associação Internacional de Fertilizantes (COOPERCAM, 2017) é que haja um aumento na demanda por fertilizantes em todo o planeta, especialmente em regiões com maiores áreas agriculturáveis como a América Latina, Caribe, Sul e Leste Asiático e na África. Segundo Abram *et al.* (2016), a crescente demanda de produtos agrícolas por países asiáticos fará com que até 2030 um terço destes produtos comercializados sejam provenientes do Brasil e que este país, junto dos Estados Unidos, se tornará nos próximos anos o maior produtor e exportador de alimentos do mundo.

4.2.2 A Demanda Nacional de Fertilizantes

Em relação a demanda de fertilizantes do Brasil, o país se configura como maior importador de fertilizantes do mundo, à frente de países como Estados Unidos e Índia (Silva e Fernandes, 2017). No primeiro semestre de 2021, o país teve um grande aumento na importação de fertilizantes, predominantemente cloreto de potássio e subordinadamente uréia e fosfatos, em comparação ao segundo semestre de 2020 (Globalfert, 2021). Nesse contexto, as produções de soja, café, milho e cana de açúcar, efetuadas principalmente pelos estados de Mato Grosso, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná e Goiás, são os destinos predominantes.

A produção brasileira de fertilizantes é muito pequena quando comparada com a sua demanda, necessitando com frequência a importação desses insumos para uma boa produtividade (Oliveira *et al.* 2019). O mercado nacional possui um triste um histórico de não conseguir suprir a necessidade de fertilizantes apenas com a produção interna (Abram *et al.* 2016), o que acaba gerando uma dependência arriscada do mercado internacional. Isso fez com que o governo adotasse políticas de isenção de impostos para importação de fertilizantes,

facilitando o acesso aos produtores, com o intuito de tornar a produção agrícola brasileira competitiva no cenário mundial.

Entretanto, políticas públicas, efetuadas pelo governo federal nas últimas décadas, buscam maneiras de contornar essa situação e aumentar a produção interna de fertilizantes e desde então tem-se investido em procura de novos insumos (Séries Insumos Minerais para a Agricultura, da CPRM) e/ou em tecnologias que viabilizem o aproveitamento de materiais alternativos, como é o caso dos estudos sobre remineralização.

4.3 REMINERALIZAÇÃO

A remineralização (conhecida também por rochagem ou petrofertilização) é uma técnica agrícola usada para melhorar a fertilidade de um solo por meio da aplicação de rochas ou minerais moídos e/ou pulverizados diretamente sobre um solo (Brito *et al.* 2019; Theodoro, 2020). Essa técnica se baseia no processo natural de pedogênese, a partir do intemperismo dos componentes superficiais da crosta terrestre, e envolve fatores geológicos importantes como clima, material de origem, atividade biológica e o tempo (Toledo *et al.* 2009). Exemplos desse tipo de técnica são bastante conhecidos em todo o planeta, como a calagem (aplicação de calcários para correção da acidez do solo) e fosfatagem (aplicação de rochas fosfáticas para aumento da disponibilidade de fósforo no solo). Entretanto, a remineralização e a aplicação desta técnica vem ganhando maior destaque apenas nas últimas décadas como fonte alternativa e sustentável de nutrientes para as plantas em contraponto aos fertilizantes químicos (nitrogênio, fósforo e potássio - NPK) já conhecidos (Leonardos *et al.* 2000; Brito *et al.* 2019; Theodoro, 2020; Theodoro *et al.*, 2021). O principal argumento utilizado por estes autores é a lenta taxa de liberação dos nutrientes da técnica de remineralização em relação a formulação altamente solúvel dos compostos de NPK.

Segundo Brito *et al.* (2019) e Theodoro *et al.* (2021), a remineralização auxilia no rejuvenescimento de um solo, sem alterar o equilíbrio ambiental e com pouco efeito residual, atuando como fonte de nutrientes de liberação lenta e gradual, controlada por fatores naturais (intemperismo, composição do material fonte e o próprio desenvolvimento da atividade biológica e de plantas), aumentando a fertilidade de solos quimicamente empobrecidos pelo desgaste natural ou pelo manejo inadequado.

4.3.1 Histórico

A adição de compostos, substâncias e materiais inorgânicos no solo visando aumentar a fertilidade é uma prática muito antiga e frequentemente utilizada pelos nossos ancestrais. Há indícios de uso dessa prática por diversos povos e culturas antigas, em regiões da Ásia, no Egito antigo, na Amazônia, na região dos Andes, dentre outros (Cunha *et al.*, 2009; Pérez *et al.* 2016).

Não há dados certos sobre o início da utilização de sedimentos e /ou pó de rocha para o aumento da fertilidade, no entanto, estima-se que sedimentos transportados por rios tenham sido um dos primeiros materiais utilizados pelo homem primitivo para o manejo do solo (Flannery, 1973; Macedo *et al.* 2019).

Na Grécia antiga já havia registros da utilização de fragmentos de rochas, como o calcário, para a correção do pH e aumento da fertilidade (Brito *et al.* 2019).

Os poucos registros de estudos sobre remineralização do solo são datados a partir do século XVIII, onde James Hutton, Benjamin Franklin, Hensel, dentre outros, já prenunciavam a aplicação de misturas de sedimentos com rochas e/ou minerais pulverizadas para o aumento da fertilidade dos solos (Leonardos *et al.* 2000; Ramos, 2014; Brito *et al.* 2019).

No século XIX e no início do século XX, os estudos sobre remineralização ainda eram escassos, mas observava-se um crescente interesse pelo tema, com destaque para os trabalhos de Lacroix (1922), Graham (1941) e Vulliers (1947).

A segunda metade do século XX foi o momento em que houve a intensificação dos estudos sobre remineralização perante as consequências da então chamada Revolução Verde, o qual teve como foco a busca por novas formas de manejo do solo e aumento da produção de alimentos visando evitar uma possível escassez de comida e crise alimentar nas décadas seguintes (Ramos, 2014).

Nesse contexto, na década de 1950, houve os primeiros estudos sobre remineralização no Brasil, no estado de Minas Gerais (Brito *et al.* 2019). Nos anos seguintes, houveram inúmeros estudos e projetos voltados para o estudo sobre remineralização/rochagem, em que o foco principal era a busca por novas fontes de potássio, nutriente de alta demanda e pouca produção no país. Desses projetos e iniciativas, Brito *et al.* (2019) destacam a parceria entre a Embrapa e a Universidade de Brasília, para o estudo de remineralização/rochagem como fonte alternativa de K, Ca, Mg e P, a criação da Rede AgriRocha e a elaboração do Congresso Brasileiro de Rochagem.

A alta demanda por nutrientes NPK, especialmente o potássio, torna o Brasil um país muito dependente de importações, deixando-o sujeito a variações nos preços internacionais

desses fertilizantes. A criação de novos projetos e o avanço nos estudos sobre remineralização é uma forma de tentar remover essa forte dependência do país. Além disso, esta prática tem sido estimulada como uma forma sustentável de nutrição e recuperação de um solo degradado, em virtude da liberação lenta e progressiva dos nutrientes, em contraponto aos fertilizantes químicos de alta solubilidade, seguindo o tempo de dissolução mineral a partir do intemperismo (Leonardos *et al.*, 2000).

4.3.2 Aplicação de Rochas Vulcânicas como Remineralizadores

Diversos experimentos tem sido desenvolvidos no Brasil ao longo das últimas décadas, utilizando diferente tipos de rochas como base para os estudos de remineralização, dentre elas basaltos, serpentinitos, kamafugitos, fonolitos, tufos vulcânicos, pegmatitos, granodioritos, granitos, xistos, filitos, margas, sedimentos e etc, como mostra a figura 05.

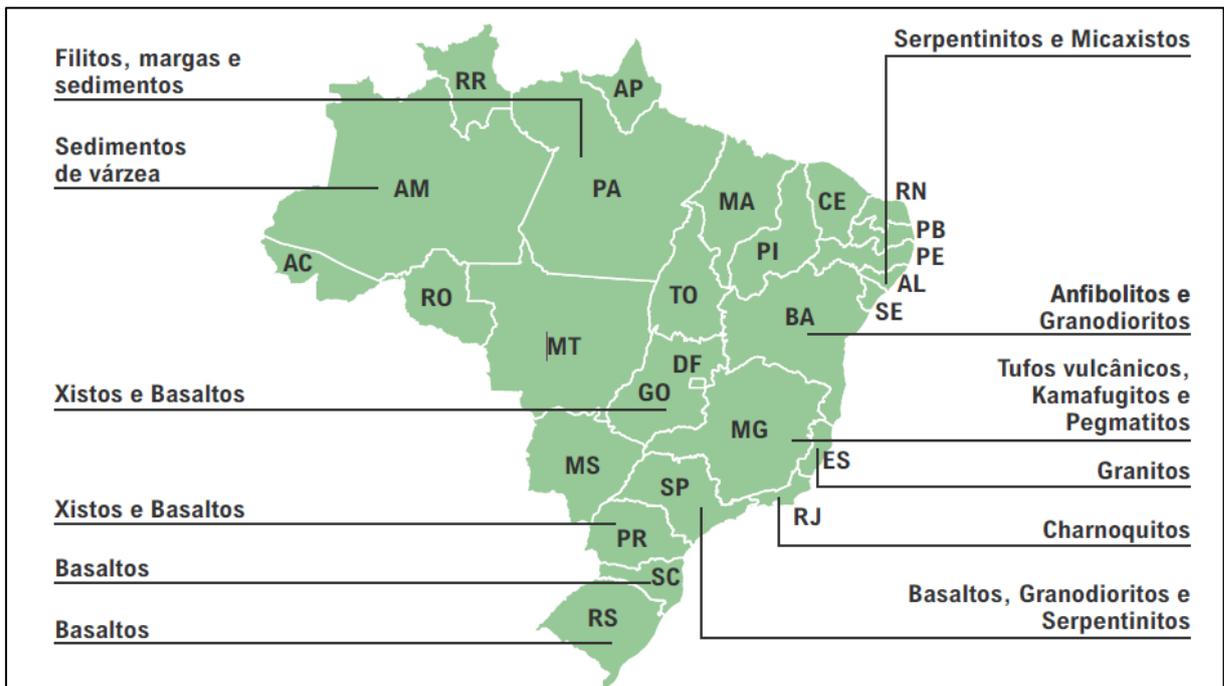


Figura 5: Distribuição por estado das principais rochas utilizadas em estudos sobre remineralização no Brasil. Fonte: Modificado de Theodoro (2020).

Com o crescente interesse pela remineralização, o avanço nos conhecimentos sobre o tema e a necessidade de padronizar e regulamentar o uso dos remineralizadores no país foi criada a Instrução Normativa (IN) nº 5, do dia 10 de março de 2016.

Essa IN rege as definições, classificações e restrições do uso comercial de remineralizadores no país, fornecendo um direcionamento para o uso do termo ‘remineralizador’ e para as características fundamentais que uma rocha precisa apresentar para ser classificada como remineralizador (MAPA, 2016).

Na Instrução Normativa (IN) nº 5/2016 são listados os valores mínimos e máximos permitidos para os elementos considerados como macro e micronutrientes e para os elementos potencialmente tóxicos que uma rocha com potencial remineralizador pode conter, além de regulamentar as características físicas-químicas (como granulometria, condutividade elétrica, potencial Hidrogeniônico, umidade máxima, etc.) que o pó de rocha deve apresentar para poder se enquadrar como remineralizante.

De todas as rochas até então estudadas no Brasil, as rochas vulcânicas basálticas são as que apresentam o melhor potencial para o uso como remineralizador em virtude de sua textura (afanítica, por vezes vítrea), composição mineralógica (dominada por minerais relativamente instáveis ao intemperismo como olivinas, piroxênios e plagioclásios), e química, como fonte de macro e micronutrientes, à exemplo do K, P, Mg, Ca, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn e Ni (Theodoro *et al.* 2013; Toscan *et al.* 2007; Theodoro, 2020).

Entretanto, a possibilidade da presença de teores relativamente elevados de Arsênio, Cádmio Mercúrio e Chumbo, classificados como elementos potencialmente tóxicos, induz a necessidade de estudos mais aprofundados visando esclarecer sua quantidade, sua mineralogia associada e suas taxas de liberação no ambiente.

Theodoro (2020), no entanto, ressalta a importância dos estudos de detalhe desses tipos de rocha, visto a possibilidade de contaminação pela presença de elementos potencialmente tóxicos e/ou manejo errado de certos componentes químicos. Devido a isso, deve-se conhecer bem a composição química e as propriedades físicas e nutricionais de uma rocha, buscando entender os tipos de nutrientes e os elementos que podem ser liberados para o solo durante o intemperismo (Theodoro, 2020).

As principais metodologias empregadas nesse tipo de estudo são caracterização das propriedades físico-químicas e mineralógicas, como petrografia, difração de raios x, microscopia eletrônica de varredura, granulometria, análise e quantificação de elementos maiores e traços, pH de decomposição, condutividade elétrica, etc., além ensaios de lixiviação, eficiência agrônômica e estudos geoquímicos (Ramos, 2019; Silva, 2021).

5 SUÍTE PARAPUI

Os estudos petrográficos já realizados em mais de 100 lâminas delgadas provenientes de acervo da Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da UFPA de pesquisas cartográficas da região do NW do Ceará, revelaram três grupos principais de rochas vulcânicas, classificadas como labradorita/andesina basaltos, traquibasaltos, olivina basalto, magnetita/ilmenita basalto, riolitos e vulcanoclásticas. Os basaltos, mais abundantes. Considerando os aspectos texturais pode-se ainda ampliar os tipos petrográficos, como basalto do tipo: microporfirítico, afírico, seriado, vitrofírico e amigdaloidal (Fig.6). O preenchimento de amígdalas e poros compreendem clorita, zeólitas, carbonato, epidoto e raramente quartzo e prehnita. Em geral basaltos microporfirítico são de cor preta, com variações para cinza escuro e castanho devido a alteração, com matriz intergranular ou intersertal formada por plagioclásio e titanoaugita, além de titanita, ilmenita, pirita e apatita.



Figura 6 Fotomicrografia de basalto amigdaloidal da Suíte Parapuí com amígdalas preenchidas por epidoto e zeólita (Nascimento & Gorayeb 2004).

6 CONCLUSÃO

Nesse contexto geral, uma análise aprofundada da literatura sobre as rochas extrusivas da Suíte Parapuí, no estado do Ceará, demonstrou uma compatibilidade da composição química, petrográfica e mineralógica com os limites estabelecidos pela IN de n 5/2016 e com outras rochas vulcânicas, objeto de estudos sobre remineralização, sugerindo uma potencialidade dos basaltos da Suíte Parapuí como remineralizador, em especial o tipo petrográfico basalto amigdaloidal com amígdalas de zeólita, mineral de interesse de especial, pois tem demonstrado ser importante condicionador na melhoria de solos em determinados cultivos.

REFERÊNCIAS

- Abram, M.B.; Cunha, I.A.; Almeida, R.C. (org). 2016. Projeto Fosfato Brasil – Parte II. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, *Informe de Recursos Minerais*. Série Insumos Minerais para Agricultura, n. 17, 1346 p.
- Agência Nacional de Mineração - ANM. 2021. *Informe Mineral 01TRI2021*. Brasília-DF, 17 p.
- Almeida, A.R., Andrade Filho, J.F., 1999. A Suíte Magmática Aroeiras e Sobral-CE: Petrologia, Mecanismo de Ascensão e Posição Estratigráfica. *Revista de Geologia*, Fortaleza **12**, 53-68.
- Bezzon, L. 2021. Produção nacional de fertilizantes perdeu ainda mais participação no mercado doméstico em 2020. *Notícias*. Disponível em: <<https://www.mercadosagricolas.com.br/fertilizantes/producao-nacional-de-fertilizantes-perdeu-ainda-mais-participacao-no-mercado-domestico-em-2020/>>. Acesso em 15 de julho de 2021.
- Brady, N.C.; Weil, R.R. 2013. *Elementos da natureza e propriedades do solo*. Tradução: Lepsch, I.F., Bookman, 3 ed. Porto Alegre, 686 p.
- Brito, R.S.; Batista, J.F.; Moreira, J.G.V.; Moraes, K.N.O.; Silva, S.O. 2019. Rochagem na Agricultura: Importância e Vantagens para Adubação Suplementar. *SAJEBTT*, UFAC, Rio Branco, **6** (1): 528-540.
- Camargo, M.S. 2012. A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. *Pesquisa & Tecnologia*, **9** (2): p. 1-4.
- Cerri, R.I., Warren, L.V., Varejão, F.G., Marconato, A., Luvizotto, G.L., Assine, M.L., 2020. Unraveling the origin of the Parnaíba Basin: Testing the rift to sag hypothesis using a multi-proxy provenance analysis. *Journal of South American Earth Sciences* **101**, 102625, 24 p. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102625>.
- Cooperativa dos Cafeicultores de Campos Gerais e Campo do Meio - COOPERCAM. 2017. Demanda por fertilizantes no mundo deve chegar a 200 milhões de toneladas em 2021/2022. *Notícias*. Disponível em: <http://coopercam.com.br/noticias/selecionada/demanda_cresce_fertilizantes>. Acesso em 19 de julho de 2021.
- Costa, M. J.; França, J. B.; Bacciegga, I.F.; Habekost, C.R. & Cruz, W.B. 1973. *Geologia da Bacia Jaibaras; Ceará, Piauí e Maranhão*. Projeto Jaibaras. DNPM/CPRM. Recife. Relatório final, vol. 5, 255p.
- Cunha, T.J.F.; Madari, B.E.; Canellas, L.P.; Ribeiro, L.P.; Benites, V.N.; Santos, G.A. 2009. Soil organic matter and fertility of Anthropogenic Dark Earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon Basin. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **33**: 85-93.
- Epstein, E.; Bloom, A.J. 2005. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. Sinauer Associates, 2 ed. Sunderland, 404 p.
- Flannery, K.V. 1973. The Origins of Agriculture. *Annual Review of Anthropology*, **2** (1), 271–310
- Garcia, M.D.G.M., Parente, C.V., da Silva Filho, W.F., de Almeida, A.R., 2018. Age of magmatic events in the Eopaleozoic Jaibaras Basin, NE Brazil: constraints from U-Pb zircon geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*. **84**: 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.03.009>.
- Garcia, M.G.M., Parente, C.V., Silva Filho, W.F., Almeida, A.R., 2010. Idade do vulcanismo ácido da Formação Parapuí: implicações na estratigrafia da Bacia Eopaleozóica Jaibaras-CE. *Anais. In: SBG, 45 Congresso Brasileiro de Geologia*.
- Globalfert, 2020. China, Índia, Estados Unidos e Brasil concentram 58% da demanda global de macronutrientes. *Boletins*. Disponível em: <

- <https://www.globalfert.com.br/boletins/china-india-estados-unidos-e-brasil-concentram-58-da-demanda-global-de-fertilizantes/>. Acesso em 20 de julho de 2021.
- Globalfert, 2021. Brasil bate recorde de importações de fertilizantes no primeiro semestre. *Boletins*. Disponível em: <<https://www.globalfert.com.br/analises/brasil-bate-recorde-de-importacoes-de-fertilizantes-no-primeiro-semester/>>. Acesso em 20 de julho de 2021.
- Gorayeb, P.S.S., Abreu, F.A.M., Correa, J.A.M., Moura, C.A.V., 1988. Relações estratigráficas entre o Granito Merouca e a Sequência Ubajara-Jaibaras. Belém, *Anais 6. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, **35**: 2678-2688.
- Gorayeb, P.S.S.; Barbosa, R.C.O.; Moura, C.A.V.; Lemos, R.L. 2011. Petrografia, geocronologia e significado tectônico do Nefelina Sienito Brejinho: extremo noroeste da Província Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, **41**(3): 390-407.
- Governo do Brasil. 2021. Governo descobre novos depósitos de potássio para uso na agricultura. Portal de Notícias do Governo Federal. *Notícias*. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/01/governo-descobre-novos-depositos-de-potassio-para-uso-na-agricultura>>. Acesso em 19 de julho de 2021.
- Graham, R. R. 1941. Colloidal organic acids as factors in the weathering of anorthite. *Soil Science*, **52**: 291-295.
- Lacroix, A. 1922. *Mineralogie de Madagascar. Tomei-Geologie, Mineralogie Descriptive*. 624 p.
- Leonardos, O. H.; Theodoro, S. C. H.; Assad, M. L. 2000. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in agroecosystems*, **56**.
- Macedo, R.S. Teixeira, W.G.; Lima, F.N. Souza, A.G.C.; Silva, F.W.R. Encinas, O.C. Neves, E.G. 2019. Amazonian dark earths in the fertile floodplains of the Amazon River, Brazil: an example of non-intentional formation of anthropic soils in the Central Amazon region. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, **14** (1).
- Malavolta, E.; Moraes, M.F. 2006. *O nitrogênio na agricultura brasileira*. Série Estudos e Documentos, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT. 72 p.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. 2016. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 10 DE MARÇO DE 2016. Brasília, 8 p.
- Nascimento, R.S., Gorayeb, P.S.S., 2004. Basaltos da suíte Parapuí, gráben Jaibaras, Noroeste do Ceará: caracterização, petrografia, geoquímica e química mineral. *Revista Brasileira de Geociências*, **34** (4): 459-468.
- Oliveira, D.C. & Mohriak, W.U., 2003. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*. **20** (3): 351–383.
- Oliveira, L.A.M. 2009. *Capítulo 7: Mineração para o agronegócio. 7.3. Potássio*. In: Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. Economia Mineral do Brasil. Brasília-DF, p. 569 - 576.
- Oliveira, M.P.; Malagolli, G.A.; Cella, D. 2019. Mercado de fertilizantes: dependência de importações do Brasil. *Revista Interface Tecnológica*, **16** (1): 489-498.
- Parente, C.V., Silva Filho, W.F., Almeida, A.R., 2004. Bacias do Estágio da Transição do Domínio Setentrional da Província Borborema. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, São Paulo, p. 525–536.
- Pedrosa Júnior, N.C., Vidotti, R.M., Fuck, R.A., Oliveira, K.M.L., Castelo Branco R.M.G., 2014. Structural framework of the Jaibaras Rift, Brazil, based on geophysical data.

- Journal of South American Earth Sciences*.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2014.07.005>.
- Pérez, D.V. Brefin, M.L.M. Polidoro, J.C. 2016. Solo, da origem da vida ao alicerce das civilizações: uso, manejo e gestão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **51** (9).
- Ramos, C.G. 2019. Potencial de rochas vulcânicas silicáticas para remineralização de solos. *Tese de doutorado*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 113 p.
- Ramos, C.G. 2014. Avaliação preliminar do pó de rocha vulcânica ácida de Nova Prata-RS, Brasil, visando aplicação na agricultura como remineralizador de solos. *Dissertação de Mestrado*. Centro Universitário La Salle, Canoas-RS. 56 p.
- Santos, T.J.S., Fetter, A.H., Hackspacher, P.C., Van Schums, W.R., Nogueira Neto, J.A., 2008. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**: 271–284. [jsames.2018.03.009](http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2018.03.009).
- Silva, L.A.; Fernandes, N.M. 2017. A cadeia produtiva de adubos e fertilizantes, *ENCIGESP*, Praia Grande, p. 1-15.
- Silva, T.L.S. 2021. Remineralizadores de solos: Conceitos e Especificações. *Minicurso*. Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará-UNIFESSPA.
- Souza, A.E. & Fonseca, D.S. 2009. *Capítulo 7: Mineração para o agronegócio. 7.2. Fosfato*. In: Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. Economia Mineral do Brasil. Brasília-DF, p. 546-568.
- Theodoro, S.H. 2020. *Cartilha da Rochagem*. 2ª edição revisada (online). Gráfica e Editora Ideal. Brasília, 32 p.
- Theodoro, S.H., Leonardos, O.H., Rocha, E.L., Macedo, I., Rego, K., 2013. Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the Tucuruí degraded land for agroforest reclamation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **85** (1): 23–34.
- Theodoro, S.H.; Medeiros, F.P.; Ianniruberto, M.; Jacobson, T.K.B. 2021. Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. *Journal of South American Earth Sciences*, 103014. **107**: 1-10.
- Toledo, M.C.M.; Oliveira, S.M.B.; Melfi, A.J. 2009. Da Rocha ao Solo-Intemperismo e Pedogênese. In: Teixeira, W.; Fairchild, T.R.; Toledo, M.C.M.; Taioli, F. *Decifrando a Terra*. 2ª ed. São Paulo, p. 128-239.
- Toscan, L.; Kautzmann, R.M.; Sabedot, S. 2007. O rejeito da mineração de basalto no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul: diagnóstico do problema. *Revista da Escola de Minas*, **60** (4): 657-662.
- Trage, D.R. 2019. Estudo do mercado de fertilizantes no brasil por meio de previsões estatísticas. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 135 p.
- Vulliers, O.D. 1947. Sur des resultants d'études relatives a la rejuvenation de nos sols épuies dès region humides par incorporation de poussière basaltique. *Revve Agricole de l'île de Maurice*, 26 p.